

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р



РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ
«НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДВЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

доктор биол. наук *Л. Я. Бляхер*,
доктор физ.-мат. наук *А. Т. Григорьян*,
доктор физ.-мат. наук *Я. Г. Дорфман*, академик *Б. М. Кедров*,
доктор экон. наук *Б. Г. Кузнецов*, доктор хим. наук *В. И. Кузнецов*,
доктор биол. наук *А. И. Купцов*, канд. истор. наук *Б. В. Левшин*
чл.-корр. АН СССР *С. Р. Микулинский*,
доктор истор. наук *Д. В. Ознобишин*,
доктор физ.-мат. наук *И. Б. Погребысский*,
канд. техн. наук *З. К. Соколовская* (ученый секретарь),
канд. техн. наук *В. Н. Сокольский*,
доктор хим. наук *Ю. И. Соловьев*,
канд. техн. наук *А. С. Федоров* (зам. председателя),
канд. техн. наук *И. А. Федосеев*,
доктор хим. наук *Н. А. Фигуровский* (зам. председателя),
доктор техн. наук *А. А. Чеканов*, доктор техн. наук *С. В. Шухардин*,
доктор физ.-мат. наук *А. П. Юшкевич*,
академик *А. Л. Яншин* (председатель),
доктор пед. наук *М. Г. Ярошевский*.

Д. Д. Гуло

**Николай Алексеевич
УМОВ**

1846—1914



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1971

Книга посвящена жизни и деятельности Н. А. Умова (1846—1914), крупнейшего ученого-физика дореволюционной России, выдающегося педагога и научно-общественного деятеля.

Н. А. Умов вошел в историю мировой науки как основатель учения о движении энергии. Важные результаты были получены им в работах по земному магнетизму, теории термомеханических явлений в твердых телах, теории относительности, оптике мутных сред и др. Анализируя научные труды ученого, давая оценку их роли и места в мировой науке, автор показывает нам и Умова-мыслителя, чьи педагогические, научно-естественные и философские воззрения представляют значительный интерес для современного читателя.

Книга предназначена для широкого круга читателей, интересующихся вопросами истории науки.

Ответственный редактор

чл.-корр. АН СССР

А. С. П Р Е Д В О Д И Т Е Л Е В

Введение

Среди выдающихся ученых и научно-общественных деятелей России второй половины XIX — начала XX в. одно из видных мест принадлежит замечательному русскому физику Николаю Алексеевичу Умову.

Многочисленные научные исследования Н. А. Умова в самых различных областях теоретической и экспериментальной физики еще при жизни ученого принесли ему широкую известность как в России, так и за ее пределами.

Важнейшим результатом научного творчества Умова было создание в 70-х годах прошлого века учения о локализации и движении энергии. Заложив основы этого учения, играющего важную роль в современной физике, Умов сумел опередить уровень мировой науки того времени, существенно обогатил представления об энергии и законе сохранения и превращения энергии. Умову принадлежат также важные теоретические исследования в области теории колебаний в упругих телах, электродинамики, термодинамики твердых упругих тел и термоупругости, земного магнетизма, теории относительности и др.

Будучи крупнейшим теоретиком, Умов в то же время не чуждался эксперимента: ученый сделал ряд первоклассных экспериментальных работ, из которых наиболее замечательными были многолетние исследования явлений поляризации и деполяризации при рассеянии света в мутных средах и на шероховатых поверхностях.

Отличительная черта творчества Умова — стремление к широким теоретическим обобщениям, к постановке и решению тех или иных физических проблем в наиболее общем виде. Для ученого характерен глубокий интерес к вопросам философии естествознания. Он правильно оценивал исключительное философское значение физической науки, ее роль в формировании научного миропо-

нимания, ее органическую связь с теорией познания природы. Философии естествознания, вопросам теории познания Умов уделял большое внимание в статьях, публичных речах, лекционных курсах и учебниках. Он был, по выражению одного из его современников, «первейшим русским физиком-философом».

Н. А. Умов, несмотря на отдельные колебания и непоследовательность в решении некоторых вопросов философии, был философом-материалистом. В годы, когда развертывалась решительная борьба между материализмом и идеализмом в естествознании, научные труды Умова, его публичные речи и статьи философско-научного содержания способствовали распространению материалистических взглядов, укреплению той материалистической традиции, которая издавна характеризует русскую философию и русское естествознание.

Н. А. Умов не был кабинетным ученым, не желающим выходить за пределы узких, специально научных интересов. Он являлся выдающимся общественным деятелем на поприще культуры и просвещения, одним из организаторов физической науки в России, учредителем и руководителем ряда научных обществ, деятельным участником и организатором научно-естественных съездов, выдающимся педагогом, замечательным популяризатором научных знаний.

Умов неустанно боролся за свободу науки, против реакционных попыток царского правительства ввести полицейскую опеку над высшей школой. Выдающийся гражданин и патриот, он отдал свой талант и свои силы расцвету отечественной науки, в чем справедливо видел условие могущества и независимости страны. Своей многолетней плодотворной научной, педагогической и научно-общественной деятельностью Н. А. Умов оставил неизгладимый след в истории русской культуры.

В настоящей книге автор стремился воссоздать для современного читателя образ большого человека, ученого, гражданина.

Автор выражает глубокую признательность профессорам Московского университета Д. Д. Иваненко, А. С. Предводителеву, Б. И. Спасскому, а также профессору Томского политехнического института В. Н. Кессениху за ценные советы и пожелания, способствовавшие улучшению книги.

Жизненный путь Н. А. Умова

Обыкновенно люди только живут; высшая культура состоит в том, что люди не только живут, но и оправдывают свою жизнь.

Н. Умов

Условия развития науки в России во второй половине XIX — начале XX в.

Вторая половина XIX в. характеризуется расцветом естествознания в России. Этот расцвет был тесно связан с интенсивным развитием капитализма в стране, начавшимся после реформы 1861 г. Гигантская страна словно пробудилась от длительной спячки и семимильными шагами стала догонять далеко ушедшую вперед Западную Европу. По словам В. И. Ленина, в России «в несколько десятилетий совершались превращения, занявшие в некоторых старых странах Европы целые века»¹.

Рост производительных сил, технический прогресс предъявили особые требования к естественным наукам, поставили перед учеными множество практических задач, выдвинули перед высшей школой задачу подготовки научно-технической интеллигенции.

Развитие естествознания в России проходило в тесной связи с общим ростом идейно-политического сознания широких слоев русского общества, с подъемом революционно-освободительного движения в стране. Русское естествознание в лице его крупнейших представителей испытало на себе могучее благотворное влияние идей революционных демократов. Герцен, Чернышевский, Белинский, Добролюбов, Писарев придавали огромное значение естественнонаучной пропаганде, считая ее неотъемлемой частью общей борьбы за революционно-демокра-

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 20, стр. 174.

тическое мировоззрение и его теоретическую основу — философский материализм. Со всей четкостью они ставили вопрос о связи философского материализма с естествознанием.

Именно в этот период формируются такие выдающиеся представители русской и мировой науки, как И. М. Сеченов, К. А. Тимирязев, Д. И. Менделеев, В. О. Ковалевский, А. О. Ковалевский, Н. И. Пирогов, И. И. Мечников, А. Г. Столетов, Н. А. Умов, А. М. Бутлеров и др. Тесная связь с освободительным движением, идейное влияние материалистической философии определили характер и направленность русского естествознания.

Показателен тот несомненный факт, что передовые прогрессивные идеи, теории и учения мировой науки находили в России наиболее благоприятную почву и наиболее ревностных пропагандистов и последователей. Русские естествоиспытатели, критически воспринимая и развивая то лучшее, что было создано мировой наукой, в то же время создавали свои оригинальные направления в науке, новые учения, новые методы научного исследования, продолжая славные традиции, заложенные еще великим Ломоносовым. Это в особенности относится к таким областям науки, как биология, химия, математика.

Нельзя забывать, что развитие отечественной науки до Великой Октябрьской революции проходило в исключительно тяжелых условиях. Царское правительство почти не оказывало материальной поддержки развитию науки, сплошь и рядом тормозило это развитие, а временами открыто становилось на путь ее подавления. В огромной стране насчитывались лишь единицы научно-исследовательских институтов или лабораторий, да и существующие были оборудованы крайне бедно. Крупнейшие ученые не имели сколько-нибудь сносных условий для исследовательской работы. Тяжелые материальные условия дополнялись гнетущей духовной атмосферой. Царские власти делали все, чтобы вытравить материалистические убеждения, дух свободолюбия, сочувствия бедственному положению народных масс, оппозиции самодержавию, свойственные русской интеллигенции, и привить ей консервативные взгляды, реакционную идеалистическую идеологию. Наука и просвещение были поставлены под полицейскую опеку: передовые профессора и студенты рассматривались царским правительством как «внутренние

враги». Лучшие люди подвергались репрессиям, изгонялись из высших учебных заведений, лишались возможности заниматься научным творчеством. «Нет ни одного сколько-нибудь прогрессивного деятеля высшей школы, который в той или иной форме не вступил бы в конфликт с самодержавным режимом и в той или иной мере не пострадал бы от репрессий царского правительства», — писал об этом периоде советский ученый А. А. Максимов ².

Русской науке приходилось вести непрерывную борьбу за свое существование. В этой борьбе передовые деятели науки и просвещения пользовались сочувствием и поддержкой прогрессивных слоев общества. Эта поддержка, в частности, выразилась в попытках создания, помимо официальной науки, общественной науки, не зависящей от правительственных субсидий и опеки. На первых порах возникает большое число частных высших школ в крупнейших городах России. В Москве, например, функционировали так называемые Высшие женские курсы (по существу, частный женский университет) и ряд других курсов. Получили распространение «народные университеты», где читались публичные лекции по самым разнообразным разделам знания. В 1911 г. на Миусской площади в Москве строится специальное здание для народного университета (Университет им. А. Л. Шанявского).

После известных событий 1911 г., вошедших в историю под названием «разгром Московского университета», когда в ответ на реакционную политику царского министра просвещения Кассо большинство передовых профессоров и преподавателей университета подали в отставку и университет на долгие годы был научно обескровлен, передовая русская общественность, с негодованием и возмущением встретившая действия царского правительства, сумела оказать поддержку многим из ученых, покинувших университет. Им была предоставлена возможность продолжать преподавательскую, а в ряде случаев и научную работу в различных частных высших учебных заведениях и главным образом в Народном университете им. А. Л. Шанявского. Например, для работы знаменитого русского физика П. Н. Лебедева и его школы была создана лаборатория в частной квартире, в подвале дома № 20 по Мертво-

² А. А. Максимов. Очерки по истории борьбы за материализм в русском естествознании. М., Госполитиздат, 1947, стр. 159.

му переулку (в основном на средства Общества им. Х. С. Леденцова). Позднее на частные средства были выстроены Физический институт и Институт экспериментальной медицины на Воронцовом поле.

Различные научные общества явились одной из отдушин в гнетущей атмосфере полицейского надзора. Так, в Петербурге эффективно работало Русское физико-химическое общество; в Москве — Московское общество испытателей природы, Математическое общество, Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии, Общество содействия успехам опытных наук и их практическим применениям им. Х. С. Леденцова и др. Интенсивно работали научные общества в ряде других городов — Киеве, Одессе, Казани, Нижнем Новгороде.

Огромное значение для консолидации сил русской науки и просвещения имели различные естественнонаучные съезды, такие, например, как Всероссийские съезды естествоиспытателей и врачей, Менделеевские съезды и др.

Таким образом, русская наука развивалась не только вглубь, но и, если можно так сказать, вширь: подъем научной мысли захватил многие университетские центры и города России.

Остановимся теперь на состоянии собственно физической науки. Отсутствие сколько-нибудь существенной материальной поддержки со стороны правительства при явно недостаточной частной инициативе капиталистических кругов России, не сумевших осознать значения развития физической науки прикладных целей, особенно болезненно должно было отразиться на состоянии этой области знаний. А ведь именно физика, пожалуй, в большей мере, чем другие науки, нуждалась в хорошо оборудованных лабораториях и институтах, строительство которых было немислимо без солидных денежных затрат. Может быть, в этом обстоятельстве, усугублявшемся общей технико-экономической отсталостью страны, следует искать причину того, что дореволюционная русская физика, несмотря на ряд блестящих достижений, все же в целом уступала таким наукам, как математика, механика, химия, биология, медицина и некоторые другие.

Физических лабораторий в стране было мало, да и те, по словам академика П. П. Лазарева, «размещались в непригодных помещениях, потолки которых иногда бывали столь низки, что приходилось отказываться от

тем, требовавших обширных помещений. Даже в Москве физическая лаборатория помещалась до конца 90-х годов в небольшом двухэтажном жилом доме и не имела самых необходимых приспособлений, например аккумуляторной батареи»³.

На заседании Физического отделения Общества любителей естествознания А. Г. Столетов говорил: «...Физический кабинет и некое покушение на лабораторию гнездятся в каком-либо углу старого дома, не удовлетворяющие самым элементарным требованиям: тут нет солнечного света, там магнетометр пришелся вблизи чугунной лестницы, здесь не проведена вода, и везде тряска, теснота и безденежье...»⁴

Строительство физических институтов при университетах и других высших учебных заведениях страны началось лишь в конце XIX — начале XX в. Возникают институты при Петербургском, Московском, Новороссийском (Одесском) университетах, Московском техническом училище, Политехнических училищах Петербурга и Киева. Специальных физических научно-исследовательских институтов в дореволюционной России вообще не было. Первым таким институтом стал Физический институт, созданный накануне Октябрьской революции на частные средства Обществом Московского научного института.

Отсутствие сколько-нибудь оборудованных институтов, более или менее крупных лабораторий, несомненно, тормозило создание научных школ и коллективов физиков, этого необходимого условия для полнокровного развития современной науки. Мы можем назвать, по-видимому, лишь четыре крупные школы физиков, действовавших в дореволюционной России в разные периоды: школа Э. Х. Ленца (А. С. Савельев, М. И. Талызин, М. И. Пчельников, Р. Э. Ленц, Ф. Ф. Петрушевский и др.); московская школа физиков А. Г. Столетова (В. А. Михельсон, Д. А. Гольдгаммер, Н. Н. Шиллер, П. А. Зиллов, А. П. Соколов, Р. А. Колли, В. С. Щегляев и др.); киевская школа, созданная М. П. Авенариусом (В. И. Зайончевский, О. Э. Страус, А. И. Надеждин, К. Н. Жук, Б. П. Павлевский и др.) и, наконец, замечательная школа;

³ П. П. Лазарев. Очерки истории русской науки. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1950, стр. 39.

⁴ А. Г. Столетов. Собр. соч., т. 2. М.— Л., 1944, стр. 209.

созданная П. Н. Лебедевым в Москве на базе столетовской лаборатории. Две последние школы — Авенариуса и в особенности Лебедева — являлись научными школами в современном понимании этого слова.

Несмотря на исключительно неблагоприятные условия развития, отечественная физика второй половины XIX — начала XX в. обогатила мировую науку трудами и открытиями фундаментального значения. К ним относятся исследования М. П. Авенариуса (термо-электрические явления, изучение критического состояния вещества), А. Г. Столетова (получение кривой намагничивания мягкого железа, работы по фотоэффекту, новый способ определения отношения электростатических единиц к электромагнитным), Н. Н. Шиллера (термодинамика, электромагнетизм), А. А. Эйхенвальда (электродинамика), А. И. Садовского (эффект вращательного пондеромоторного действия света); Н. Н. Пирогова (теоретические работы по кинетической теории материи), В. А. Михельсона (распределение энергии в спектре черного тела, физика горения, обобщение принципа Доплера), Б. Б. Голицына (законы излучения, сейсмометрия), П. Н. Лебедева (получение коротких электромагнитных волн и двойное лучепреломление их в кристаллах, открытие и измерение давления света на твердые тела и газы), Д. А. Гольдгаммера (электромагнетизм), Ю. В. Вульфа (кристаллофизика); В. А. Ульянина (изучение внутреннего фотоэффекта), А. С. Попова (изобретение радио) и др.

К числу замечательных достижений отечественной физики этого периода относятся и ряд научных результатов Н. А. Умова, которые будут рассмотрены в последующих главах настоящей книги.

* * *

Деятельность Н. А. Умова была связана с двумя университетами — Московским и Новороссийским (Одесским). Роль университетов, в особенности Московского, в развитии русской духовной культуры огромна. Университетская жизнь отнюдь не была изолирована от всей социально-политической жизни страны, как того добивались царские чиновники. Напротив, по меткому выражению Пирогова, университеты были «лучшим барометром общества».

Неудачная Крымская война (1853—1856), обнажившая гнилость самодержавно-крепостнического режима и вопиющую отсталость царской России, революционный подъем, приведший к половинчатой реформе 1864 г., стремительный рост капитализма и подъем общественной активности 60-х годов, покушение на Александра II в апреле 1866 г. и усиление реакции, революционный подъем 1879—1880 гг. и последовавшая за ним эпоха реакции, выход на политическую арену русского пролетариата и возникновение первых социал-демократических кружков, японская война и первая русская революция 1905 г. — все эти моменты так или иначе находили отражение в жизни русских университетов.

Уже сами университетские уставы, с помощью которых правительство регламентировало весь строй университетской жизни, отражали политическую атмосферу. Так, в середине XIX в. действовал университетский устав 1835 г., весьма полно отразивший в себе казарменно-бюрократический дух режима Николая I. Ему на смену пришел устав 1863 г., более либеральный, основанный на идее самоуправления, отразивший некоторое ослабление духовного гнета в стране в начале 60-х годов. Наконец, в 1884 г. Александр III утвердил новый университетский устав — худший вариант устава 1835 г., похоронивший автономию профессорской коллегии и остатки либеральных тенденций во взаимоотношениях между университетами и царской администрацией.

Наиболее революционным элементом в высшей школе было студенчество, которое активно боролось за свои академические, а затем и политические права. Студенческие волнения время от времени потрясали размеренную жизнь университетов. В своей борьбе студенчество пользовалось сочувствием и поддержкой передовой университетской профессуры, которая, однако, за редким исключением, не выходила за рамки требований академических свобод, университетской автономии, отмены прямого полицейского надзора и вмешательства царских чиновников в вопросы внутренней жизни университета.

Тем не менее активная борьба прогрессивной профессуры за свободу науки, свободу преподавания и научного творчества, за распространение знаний в широких народных массах объективно способствовала расшатыванию прогнившей государственной колесницы царской Рос-

сии. В то же время именно эта прогрессивная часть профессуры, к которой наряду с другими выдающимися представителями русской науки принадлежал и Н. А. Умов, обеспечила мощный расцвет естествознания в России. характерный для второй половины XIX в.

Детство и юность

Николай Алексеевич Умов родился 23 января 1846 г. в Симбирске (ныне Ульяновск). Небезынтересно происхождение фамилии Умовых.

Дед Н. А. Умова со стороны отца, Павел Михайлович, офицер и крупный помещик Казанской губернии, принадлежал к дворянскому роду Наумовых. Он состоял в неофициальном браке со своей крепостной крестьянкой Матреной Тихоновной, не пожелавшей, как пишет в автобиографическом очерке Н. А. Умов, выйти за него замуж, чтобы не рассорить его с родными. Павел Михайлович и Матрена Тихоновна имели несколько сыновей и дочерей. По высочайшему повелению старшему сыну Ивану было присвоено дворянское звание и всем «незаконнорожденным» детям дана фамилия Умовых.

Один из них, Алексей Павлович, будущий отец Николая Алексеевича, учился на медицинском факультете Казанского университета, окончив который получил звание врача. В университете он под влиянием известного натуралиста профессора Э. А. Эверсмана приобрел страсть к собиранию чешуекрылых и сохранил ее до конца своих дней.

Обширность и глубина его знаний в области систематики и биологии чешуекрылых вызвали уважение всех близко его знавших. Будучи военным врачом, А. П. Умов много странствовал по России и собрал уникальную коллекцию бабочек, включавшую несколько десятков тысяч экземпляров⁵. Он открыл новый очень редкий вид, названный в честь его «*Bryophilia Umovi*».

А. П. Умов был также большим любителем и собирателем книг. Он скупал их у антиквариев, в распродавав-

⁵ После его смерти коллекция в соответствии с волей покойного была поделена между двумя университетами — Одесским и Московским, где состояли профессорами его сыновья Николай и Владимир.

шихся помещичьих библиотеках и собрал внушительную библиотеку. В ней имелись произведения классиков русской и иностранной литературы, книги по философии, естественной истории и др.

Оставив службу по военному ведомству, А. П. Умов занял место старшего врача городской больницы в Симбирске, а впоследствии, перебравшись в Москву, — место директора сиротского дома.

Алексей Павлович проявлял большую заботу об образовании сыновей — Николая и Владимира. Соответствующее влияние на детей оказывала и их мать — женщина весьма религиозная, воспитанная в купеческой семье.

Николай и Владимир вначале воспитывались гувернантками, которые выписывались из столицы. Затем для обучения детей стали приглашать учителей. Николай Алексеевич сохранил добрую память об учителе Симбирского уездного училища Федоре Афанасьевиче Иванове, сумевшем привить мальчику любовь к математике и очень живо преподававшего историю и словесность.

Большое внимание при домашнем образовании уделялось изучению иностранных языков. Это позволило Умову впоследствии, в студенческие годы, основательно изучить некоторые основные иностранные руководства по физике и математике (в то время учебная и научная литература на русском языке — отечественная и переводная — была крайне бедна).

Стремясь внушить детям любовь к естественным наукам, развить их инициативу, Алексей Павлович организовал детское естественноисторическое общество, в котором участвовали его сыновья и их сверстники. На «заседаниях» общества дети выступали с сообщениями. Страстный любитель природы, он прививал любовь к природе и детям, привлекая их к работам в саду, совершая вместе с ними ботанические экскурсии, уча их собирать коллекции бабочек и других чешуекрылых. Кроме обычных детских игр, в часы досуга Николай Умов занимался приготовлением мазей и пилюль, пользуясь небольшим аптечным шкафчиком, подаренным отцом, строил картонные часы, безуспешно пытался получить из глины алюминий и ломал голову над машинами вечного движения.

Но не только эти светлые воспоминания детства сохранил в своей памяти Николай. В его автобиографическом

очерке есть следующие строки: «Просветительные стремления того времени находились в резком противоречии с его отрицательными сторонами, значение которых до некоторой степени не ускользало от пытливого детского ума»⁶. И главной «отрицательной стороной» того времени являлось крепостное право, доживавшее свои последние дни.

В частности, Николай Алексеевич описывает случай, произведший на него тяжелое впечатление. Это произошло в доме старшего брата Алексея Павловича, куда иногда приезжало семейство Умова. Во время одного из таких приездов дядя Николая решил отдать в солдаты за пьянство своего крепостного лакея. Лакею дали письмо, которое он должен был вручить воинскому начальнику. В письме предлагалось «забрить лоб» подателю. Николая особенно поразило то, что человек, сам того не зная, нес в своих руках собственную судьбу.

Иногда по пути к старшему брату Алексей Павлович со всей семьей заезжал в имение одного из Наумовых. Николай смутно догадывался об унижениях, которыми сопровождалась эта поездка. Он впервые услышал здесь слово «*batard*»⁷, смысл которого уяснил лишь спустя несколько лет. В барский дом Наумовых допускался только отец, остальные члены его семьи принимались во флигеле управляющего, куда им и присылался обед.

Еще одно событие оставило неизгладимый след в душе мальчика. Вот как вспоминал об этом позднее Николай Алексеевич: «Из отдаленных картин моего детства одна особенно ярко рисуется в моем воспоминании. Я стою перед окном, выходящим в поле. Вдали виднеется кольцо солдат, окруженное толпою: в середине движутся какие-то фигуры; меня уводят и запрещают смотреть в поле. Через несколько времени к отцу, старшему врачу больницы провинциального города, приходит фельдшер со словами «привезли»; отец уходит. Так повторялось не раз, и меня заинтересовала таинственность, которой домашние окружали происходившее. Рассказ добродушного фельдшера объяснил все дело: наказывали шпицрутенами. Осужденного, привязанного к ружью, водили вдоль рядов солдат, бивших палками [...] Я был поражен

⁶ Н. А. Умов. Избр. соч. М.—Л., Гостехиздат, 1950, стр. 11.

⁷ Незаконнорожденный.

рассказом, мне стали ясны все подробности жестокого наказания [...] Если бы соответственное начальство проникло в мою возмущенную душу, я, без сомнения, попал бы в разряд политических»⁸.

Николай Алексеевич вспоминает о юродивом, который ходил в лохмотьях с посохом, украшенным пучком разноцветных лент. В домах его сажали на почетное место и объяснялись с ним знаками: юродивый наложил на себя обет молчания. Он заговорил только после освобождения крестьян.

Уже в эти ранние годы Умов задумывается о судьбе простого народа. Свое горячее сочувствие к нему юноша выразил в бесхитростных стихах о пахаре, который

*...идет за сохой,
Утоляя голод коркой сухой,
Запеваёт песню,
Утоляя жажду водой с плесенью.*

Шла Крымская война. Дети видели сборы ополченцев, слышали разговоры о неудачах войны, об ожидавшемся освобождении крестьян, слышали слова «Колокол» и «Герцен». Когда подошло время поступать в гимназию, семья переехала в Москву: на семейном совете было решено дать Николаю и Владимиру «московское образование».

Путешествие в Москву оказалось длительным, ехали на перекладных, заезжая в монастыри. В 1858 г. Николай и Владимир Умовы были приняты в третий класс Первой московской гимназии.

В ту пору в гимназии работали превосходные педагоги. Среди них особенно выделялся преподаватель физики и математики Яков Игнатьевич Вейнберг, впоследствии почетный член Московского университета и почетный член и вице-президент Общества любителей естествознания. В свое время он пешком с обозом дошел из Одессы в Москву с одной мечтой — учиться в университете. До конца своих дней сохранил Вейнберг трогательную любовь к университету. «Каждый раз, когда мне приходилось проезжать мимо университета, — писал он, — я с благодарным воспоминанием гляжу на его стены — немые свидетели чистых юношеских увлечений»⁹.

⁸ Цит. по кн.: А. И. Компанеец. Борьба Н. А. Умова за материализм в физике. М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 7.

⁹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3. М., 1916, стр. 76.

Именно Я. И. Вейнбергу обязан Н. А. Умов своим пристрастием к физике. «Яков Игнатьевич был учитель! — вспоминал впоследствии Н. А. Умов. — Он вселял любовь и веру в науку; простые, ясные и увлекательные беседы из области естествознания неотразимо влияли на слушавших его с напряженным вниманием детей и юношей. Я был учеником 3-го класса, когда Яков Игнатьевич преподавал нам математику, а затем в высших классах — физику. Я не помню урока, к которому он отнесся бы только формально, не помню скучного урока. Вот здесь, окруженный молодежью, с удивлением и жадно слушавшей его рассказы, Яков Игнатьевич был в своей среде, он должен был чувствовать, что здесь он является тем камешком, который закладывает основу научному зданию...»¹⁰

Большое влияние на гимназиста Умова и его сверстников оказывал и преподаватель русской словесности Михаил Иванович Студеников. Ученики с увлечением писали сочинения, для составления которых рекомендовалась определенная литература, с последующим чтением и разбором их перед классом. Они выпускали рукописный журнал, в котором обсуждались вопросы литературы и школьной жизни. Кроме уроков, Студеников время от времени устраивал беседы с учениками, посвященные русским классикам, в том числе Белинскому. Естественно, подобные беседы не прошли мимо внимания начальства, так как на этих беседах отсутствовал надзиратель.

Любовь к литературе и «словесности» осталась у Н. А. Умова на всю жизнь. Известно, что он сам пробовал силы в жанре стихотворной драмы, да и многие его публичные речи и популярные статьи написаны как художественные произведения.

С благодарностью вспоминал Николай Алексеевич также географа Ф. Ф. Миллера и историка В. Н. Собчакова.

Однако главным увлечением гимназиста Умова являлось естествознание. Оно поддерживалось возобновившимися летними экскурсиями с отцом по ловле чешуекрылых, «особенно интересными ночью с фонарем, в камышах подмосковных болот», участием в ботанических экскурсиях известного ботаника Н. Н. Кауфмана и в

¹⁰ Н. А. Умов, Собр. соч., т. 3, стр. 75.

геологических экскурсиях преподавателя Константиновского межевого института Ауэрбаха.

Занимался Умов и астрономией. С помощью подаренной отцом зрительной трубы он по ночам через слуховое окно на чердаке изучал звездное небо; причем увеличение трубы юноша усиливал, пользуясь окулярами микроскопа, также подаренного отцом.

Братья Умовы изучали в гимназии латинский язык, который преподавал известный в то время латинист Я. В. Смирнов. Николай Умов был равнодушен к латыни и часто при приготовлении уроков прибегал к помощи брата, который в свою очередь пользовался математическими познаниями Николая. Не удивительно, что при присуждении гимназическим советом Николаю Умову золотой медали старик Смирнов протестовал против этого присуждения.

Запомнились гимназисту Умову и отвратительные сцены экзекуций, которые производились каждую субботу, когда в класс являлся инспектор и вызывал неуспевающих или в чем-либо провинившихся учеников. Их выводили из класса и секли.

Учился Умов блестяще. В 1863 г. он окончил гимназию с золотой медалью. В том же году братья Умовы поступили в Московский университет: Николай — на физико-математический факультет, Владимир — на юридический.

В ту пору математическое отделение физико-математического факультета славилось блестящим составом профессоров. Среди них были математики А. Ю. Давидов, В. Я. Цингер и Н. В. Бугаев, астроном Ф. А. Бредихин, механик Ф. А. Слудский и др.

Лекции по физике читал профессор Н. А. Любимов, посредственный ученый¹¹, но талантливый педагог. Впоследствии Умов писал о Любимове: «Он поднял сразу преподавание физики в Московском университете своим талантливым изложением, популяризацией науки и стремлением довести это преподавание до уровня, с которым он ознакомился в своей заграничной поездке»¹². Хотя Любимов, несомненно, и сделал шаг вперед в постановке пре-

¹¹ Оценка Любимова Столетовым (см. А. Г. Столетов. Собр. соч., т. 2. М.—Л., 1941).

¹² Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 124. А. Г. Столетов резко отрицательно оценивал и педагогические способности Любимова.

подавания физики, все же его чтение было поверхностным и элементарным, рассчитанным более на внешний эффект, достигавшийся обильными и блестяще поставленными демонстрациями.

В 1866 г. к чтению курсов по кафедре математической физики и физической географии в университете приступил только что вернувшийся после трехгодичного пребывания за границей молодой А. Г. Столетов. С приходом Столетова в Московский университет работа физических кафедр оказалась поднятой на большую научную высоту. Столетов, будучи выдающимся физиком-исследователем, превосходным педагогом и учителем молодых физиков, за время своей многолетней деятельности в университете оказал огромное влияние на весь ход развития отечественной физики. Он воспитал целую плеяду крупных отечественных физиков и по праву считается основателем московской школы физиков¹³.

Студенту Умову удалось лишь на последнем году обучения прослушать у Столетова небольшой курс по математической физике (электростатике). Впоследствии, уже будучи магистрантом, Умов являлся одним из участников известного столетовского кружка физиков. Один из участников кружка, Н. Е. Жуковский, писал: «Я живо вспоминаю квартиру [...] на Тверской улице, в которую в первый раз я пришел на заседание физического кружка, устроенного Столетовым. Докладчиками были Умов и я. Александр Григорьевич вместе с Преображенским и Фишером, составившими компанию, сидел около маленькой доски. Александр Григорьевич принимал живое участие в беседе и посмеивался со свойственным ему живым юмором над необычайно длинным маятником о котором говорил я»¹⁴.

Именно из этого кружка и выросла потом знаменитая столетовская школа физиков.

Умов относился к А. Г. Столетову с огромным уважением. Академик П. П. Лазарев в очерке об Умове, в частности, отмечал: «По-видимому, влияние Столетова на Умо-

¹³ О деятельности Столетова имеется обширная литература. Наиболее интересны книги: В. Болховитинов. А. Г. Столетов. М., «Молодая гвардия», 1953; Г. М. Тепляков, П. С. Кудряцев. Александр Григорьевич Столетов. М., «Просвещение», 1966.

¹⁴ См. В. Болховитинов. А. Г. Столетов. М., «Молодая гвардия», 1953, стр. 140.

ва было очень велико. Об этом свидетельствует ряд лиц, знавших Умова в этот период его жизни»¹⁵. По словам В. Ф. Кагана, Умов «слушал Столетова только один год. Но я слышал от него, что этот год имел на него решающее влияние»¹⁶.

В бумагах Умова сохранилась черновая запись его выступления на заседании секции физики XII съезда естествоиспытателей и врачей, происходившем в здании нового Физического института при Московском университете. Николай Алексеевич, в частности, сказал: «С глубочайшей скорбью отмечаем мы отсутствие гостеприимного хозяина московской физики на IX съезде. Я разумею выдающегося ученого, высококультурного и высокоталантливого Александра Григорьевича Столетова. Мы, его преемники, опечалены тем, что идея создания Физического института, удовлетворяющего всем современным требованиям точного научного изыскания, им лелеянная, не осуществилась при его жизни. Нам не удалось быть свидетелями радости и высокого нравственного удовлетворения, которое он испытал бы по праву, встречая вас в этом здании. Еще в 73-м году прошлого века с большим трудом и настойчивостью в небольшой жилой квартире, во флигеле, рядом с этим зданием, А. Г. устроил физическую лабораторию. Не красна была углами эта ячейка нашего института, но та плодотворная идея, которая была в нее заложена, талант ее руководителя оставили незагасающий след в истории физического знания в России, отозвались далеко за пределами Москвы»¹⁷.

К сожалению, о студенческих годах Умова сохранилось довольно мало сведений. По-видимому, он учился весьма успешно. В делах Совета университета, хранящихся в Областном архиве, имеется следующее представление физико-математического факультета в Совет университета: «Физико-математический факультет имеет честь довести, что студент 2-го курса Умов, выдержавший с отличным успехом переходный экзамен со 2-го курса на 3-й, представил весьма хорошее сочинение об основных законах преломления света. Это сочинение свидетельствует

¹⁵ П. П. Лазарев. Очерки истории русской науки, стр. 195.

¹⁶ В. Ф. Каган. Памяти Николая Алексеевича Умова — «Вестн. оп. физ. и элем. математики», 1915, № 4-5, стр. 75.

¹⁷ См. А. И. Компанец. Борьба Н. А. Умова за материализм в физике, стр. 12.

как о прилежании, так равно и об успехах ученых занятий студента Умова, и потому физико-математический факультет имеет честь ходатайствовать на основании № 1 правил о назначении стипендий, медалей и т. д. о награждении студента Умова в 100 руб.

Декан (А. Давидов)

4-го июня 1865 г.»¹⁸

Очевидно, именно это сочинение имел в виду Н. А. Умов, когда в автобиографическом очерке писал: «На 2-м курсе он (Н. А. Умов. — Д. Г.) подал Любимову довольно объемистое сочинение по оптике кристаллов, которое впоследствии было зачтено за кандидатское».

В годы студенчества Умова на факультете отсутствовала физическая лаборатория и практических занятий по физике для студентов не велось — лаборатория и практикум были организованы усилиями А. Г. Столетова лишь в 1873 г. Студенту Умову «оставалось изучать физику по книгам и журналам самому, изыскивая литературу, пользуясь только указаниями проф. Н. В. Бугаева...»¹⁹

Уже в студенческие годы у Николая Умова проявился ярко выраженный интерес к математической физике. Он углубленно изучал труды Г. Ламе, А. Клебша, Р. Клаузиуса и др. Особое внимание начинающего физика привлек известный труд Ламе²⁰, в котором французский ученый развил свой метод криволинейных координат (впоследствии Умов широко использовал этот метод в ряде своих физико-математических исследований). Вместе со своими товарищами студентами-математиками Умов организовал математический кружок. Члены кружка усердно посещали заседания Московского математического общества.

Умов регулярно знакомился с издававшимся обществом «Математическим сборником». Однажды, просматривая статью известного отечественного математика, он установил, что она представляет собой плагиат. После обсуждения вопроса в математическом кружке была составлена специальная записка. Отправленная в Матема-

¹⁸ Московский государственный областной исторический архив. Отдел культуры и быта, оп. 418 /131, д. 217, л. 1.

¹⁹ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 28.

²⁰ G. Lamé. Leçons sur les coordonnées curvilignes et leurs divers applications. Paris, 1859.

тическое общество, она была прочитана на одном из заседаний и произвела сенсацию.

В годы студенчества Умов принимал деятельное участие в работе студенческого клуба самообразования. Одним из главных организаторов клуба являлся студент юридического факультета Александр Иванович Чупров, впоследствии известный профессор политической экономии Московского университета. В клубе, куда допускались студенты всех факультетов, обсуждался широкий круг естественнонаучных, философских и общественных вопросов. Студенты выступали с сообщениями, реферировали новые книги. В частности, Умов однажды выступил с рефератом об утилитаризме — это было его первое публичное выступление. Совместная деятельность в студенческом клубе положила начало дружеской связи Умова и Чупрова, продолжавшейся долгие годы.

Помимо целей самообразования, руководители клуба наметили широкую программу распространения знаний в народе. Чупров даже составил обстоятельную записку, в которой доказывал насущную необходимость народного образования. Отлитографированная записка распространялась среди студентов и преподавателей университета.

Умов пропагандировал идеи Чупрова среди студентов математического отделения. Он же взялся передать записку и профессорам этого отделения, однако сочувственное отношение Николай встретил лишь у профессора Н. В. Бугаева. Правда, это обстоятельство послужило первопричиной для последующего сближения между Умовым и Бугаевым: добрые отношения между ними сохранились до кончины Бугаева, последовавшей в 1903 г.

Записка Чупрова не встретила поддержки среди профессоров других факультетов. Но это не остановило студентов. Чупров организовал кружок лекторов, который начал читать лекции по естественным наукам и истории артельщикам Кокоревского подворья. Лекции продолжались недолго. Покушение на Александра II привело к усилению реакции, и деятельность кружка лекторов была запрещена, а его члены взяты под полицейский надзор. Был закрыт также и студенческий клуб самообразования.

Необходимо отметить, что в студенческом клубе обсуждались и идеи русских революционных демократов. Об этом, в частности, свидетельствует Умов: «Здесь (в студенческом клубе.— Д. Г.) дебатировались обще-

ственные, научные и философские вопросы, Чернышевский, Бокль, Милль и т. д.»²¹ Небезынтересно также воспоминание Умова о прекрасно владевшем речью студенте, товарище его брата — человека консервативных убеждений (по оценке Умова). «Между ним (Владимиром.— Д. Г.) и блестящим студентом, — отмечал Умов, — происходили споры; между прочим, последний защищал от нападок и превозносил роман Чернышевского „Что делать?“»²².

Как уже говорилось, еще в детстве (в Симбирске) Умову приходилось слышать о «Колоколе» и Герцене. В автобиографическом очерке он вспоминал и занятия «преподавателя русской словесности М. И. Студеникова с учениками гимназии, посвященные чтению русских классиков, в том числе Белинского»²³. Итак, имена Герцена, Белинского, Чернышевского сопутствовали детским и юношеским годам Умова. Свидетельства Умова чрезвычайно ценны, поскольку они прямо говорят о том, что молодежь его поколения знала и изучала в кружках, клубах произведения великих русских мыслителей. Это знакомство с идеями основоположников русской классической материалистической философии и идеологов революционного демократического движения не проходило бесследно для молодежи, оно играло большую роль в формировании ее взглядов и мировоззрения.

В 1867 г. братья Умовы закончили курс обучения в университете, получив степень кандидатов. Они были оставлены при университете для «приготовления к профессорскому званию», причем в отношении Николая это решение было принято не сразу.

Лето 1867 г. Умов провел в качестве практиканта на вагоностроительном заводе Вильямса и Бухтеева в Петербурге, решив, очевидно, стать инженером. Одновременно он в качестве вольнослушателя поступил в Технологический институт. Однако, когда 9 сентября 1867 г. Совет Московского университета решил оставить его при университете на два года «для усовершенствования в науках», Умов возвратился в Москву и стал усиленно готовиться к магистерским экзаменам.

²¹ «Научное наследство», т. II. М., Изд-во АН СССР, 1951, стр. 373.

²² *Н. А. Умов*. Избр. соч., стр. 19.

²³ Там же, стр. 15.

К этому времени относится и начало его преподавательской деятельности. В апреле 1868 г. он стал преподавать физику во 2-й женской гимназии, а спустя некоторое время начались его лекции на Лубяньских женских курсах. Одновременно Умов преподавал арифметику в женской народной школе, открытой А. С. Семичевой²⁴.

Выбор учебных заведений, как справедливо отмечает П. П. Лазарев, не был случайным. На протяжении всей жизни Умов был горячим поборником женского образования. Уже будучи профессором, он принимал живое участие в деятельности ряда высших женских учебных заведений и привлекал женщин к работе в физической лаборатории.

В конце 60-х годов отец Умова приобрел небольшое имение в Дмитровском уезде Московской губернии, близ деревни Селиваново, где семья проводила лето. Именно здесь, в сельской местности, широко проявился талант Н. Умова как общественного деятеля. Он энергично обучал крестьянских подростков грамоте, помогал трудоустройству местных женщин. Последнее заслуживает особого рассказа.

Девушки ближайших деревень занимались кустарным промыслом — шитьем лайковых перчаток для одной Московской фабрики. Посредником выступал один сельский дьякон, нещадно эксплуатировавший девушек. Умов собрал сельских мастериц в доме отца и организовал кооператив — перчаточную артель. Было выбрано новое доверенное лицо для сношения с фабрикантом, а Николай Алексеевич из своих небольших сбережений внес фабриканту залог за отпущенный товар.

Описание деятельности артели легло в основу первой печатной статьи Н. Умова «Еще новое применение артельных начал», помещенной в газете «Русская летопись» в 1870 г. В ней Умов, в частности, писал: «Существует множество отраслей труда (например, ткацкая), для которых применение подобных начал настоятельно ввиду увеличения народного благосостояния и уничтожения эксплуатации промышленников, которые совершенно задаром заставляют трудиться сотни тысяч рук»²⁵.

²⁴ Жена генерала В. С. Семичева, руководившего постройкой Московско-Курской железной дороги.

²⁵ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 3.

Умов являлся одним из организаторов первого потребительского общества в Москве. Много сил вложил он совместно с Б. Б. Фишер и А. И. Чупровым в создание Общества распространения технических знаний, деятельность которого началась в ноябре 1869 г. В разных частях Москвы были открыты десять бесплатных воскресных школ, классов технического рисования и черчения. Работу Общества субсидировали частные лица. Так, А. С. Семичева передала Обществу свою школу. Она была преобразована в женскую ремесленную школу, заведование которой принял на себя Умов.

Общество организовало техническую библиотеку и т. д. Ученый отдел общества устраивал заседания, на которых зачитывались доклады, посвященные различным исследованиям и изобретениям, организовывал публичные лекции. При ученом отделе было открыто справочное техническое бюро. Н. А. Умов принимал в деятельности общества самое живое участие.

Несмотря на интенсивную преподавательскую и общественную деятельность, Умов в 1870 г. успешно сдал магистерские экзамены. Для этого ему пришлось прогнудировать большое число специальных курсов и ознакомиться с обширной журнальной литературой на английском, немецком и французском языках. И вновь Умову помогло его отличное владение иностранными языками.

Начало собственно научной деятельности Умова относится к 1869 г. В одном из протоколов (от 20 декабря 1869 г.) заседаний Московского математического общества отмечалось: «От Н. А. Умова поступили статьи: а) Законы колебаний в неограниченной среде постоянной упругости и б) Прибавление к этой статье». 31 марта 1870 г. Умов докладывал об этой работе на заседании Общества. Вскоре она была опубликована в «Математическом сборнике».

Уже в этой первой работе нетрудно отметить характерные черты, свойственные научному творчеству Умова: стремление к широкой постановке проблем и великолепное математическое чутье, позволяющее всякий раз избирать наиболее выигрышные математические приемы решения той или иной проблемы. Так, в своей работе он использовал метод криволинейных координат Ламе, позволивший сразу упростить решение проблемы: общая задача разделялась на случай продольных и поперечных

колебаний (см. стр. 249). Работа сразу обратила на себя внимание выдающихся московских математиков.

В ноябре 1871 г. Умов представил в качестве магистерской диссертации фундаментальное теоретическое исследование «Теория термомеханических явлений в твердых упругих телах». 7 декабря того же года состоялась публичная защита диссертации. Она проходила на заседании Ученого совета физико-математического факультета. Председательствовал декан профессор Давидов, официальными оппонентами были профессора Н. А. Любимов и А. Г. Столетов²⁶. Защита прошла блестяще. 15 января 1872 г. Умов был утвержден в звании магистра.

Незадолго до защиты профессор Ф. Н. Шведов пригласил Н. А. Умова на работу в Новороссийский университет. В ноябре 1871 г. Умова избрали доцентом Новороссийского университета по кафедре математической физики. Шведов читал в университете курсы опытной физики и физической географии. Кроме того, он вел большую административную работу. Естественно, что Шведов не имел возможности вести и курс математической физики, да и по своим наклонностям этот ученый был далек от данной дисциплины. По свидетельству В. Ф. Кагана, Шведов «обратился к А. Г. Столетову с просьбой рекомендовать ему преподавателя. Столетов, естественно, рекомендовал своего первенца Н. А. Умова. Умов прислал Ф. Н. (Шведову. — *Д. Г.*) подробный план своей магистерской диссертации и изложил выводы, к которым он пришел. В своем представлении факультету Шведов пишет, что эта работа, несомненно, обнаруживает в авторе ученого, способного к весьма серьезным самостоятельным исследованиям»²⁷.

Несколько ранее, в сентябре 1871 г., последовал «высочайший приказ» о командировании Н. А. Умова за границу. Однако в связи с избранием в доцентуру Новороссийского университета он отказался от поездки и в начале 1872 г. переехал в Одессу²⁸.

²⁶ Подробнее о диссертации Н. А. Умова см. стр. 76—105.

²⁷ В. Ф. Каган. Памяти Николая Алексеевича Умова. — «Вестн. оп. физ. и элем. математики», 1915, № 4-5, стр. 75.

²⁸ Факультет возбудил ходатайство о командировании Умова за границу еще в октябре 1870 г. В одном из дел Совета физико-математического факультета сохранилась инструкция для «направляемого за границу Н. А. Умова», в которой записано:

В Одессе

Одесский период жизни и деятельности Николая Алексеевича Умова продолжался без малого 22 года.

Новороссийский (Одесский) университет был создан в 1865 г. на базе Ришельевского лицея с целью «даровать Новороссийскому краю способы к высшему образованию юношества»²⁹. В начале 70-х годов в университете уже преподавали многие выдающиеся ученые того времени (И. М. Сеченов, И. И. Мечников, А. О. Ковалевский и др.). Университетская профессура делилась на два враждебных лагеря: прогрессивный и реакционный³⁰. Первый возглавлялся И. И. Мечниковым и И. М. Сеченовым, второй — профессором П. П. Цитовичем.

Лучшие научные силы университета принадлежали к прогрессивному лагерю. К ним сразу же примкнул и Умов. Вскоре молодой ученый установил дружеские связи с Мечниковым, Сеченовым, Ковалевским, химиком А. А. Вериго, профессором-юристом Н. Л. Дювернуа, экономистом А. С. Посниковым и некоторыми другими. Умов стал деятельным участником знаменитого Сеченовского кружка. Вот как охарактеризовал дружескую атмосферу, царившую среди единомышленников — членов кружка, сам И. М. Сеченов: «В следующем 1872 г. начал формироваться этот настоящий дружеский кружок, из-за которого я люблю Одессу и по сие время. Вернулся из-за границы Мечников, приехал из Москвы на кафедру математической физики совсем еще молодой человек Н. А. Умов, произведший большое впечатление своей вступительной лекцией («Исторический очерк теории света». — Д. Г.). Поступил на кафедру римского права другой москвич —

«Умов — по математической физике: Гейдельберг (Кирхгоф) и Париж (Бертран Серре); кроме того, ему предоставляется посетить Геттинген (Вебер, Клебш), Кенигсберг (Нейман-ст.), Бонн (Клаузиус)».

²⁹ Власти весьма долго и упорно препятствовали открытию университета. Известно, что еще в 1857 г. Н. И. Пирогов, назначенный незадолго до того попечителем Одесского учебного округа, подал в министерство просвещения докладную записку о ходе просвещения в Новороссийском крае, в которой, между прочим, указывал: «Чтобы не привести просвещение целого края в совершенный упадок, есть средство радикальное и верное — преобразование лицея в университет» (см. «Одесский университет за 75 лет». Одесса, 1940, стр. 1).

³⁰ Сб.: «Одесский университет за 75 лет», стр. 24.



Н. А. Умов в 1872 г.

Дювернуа — и прочел очаровательную вступительную лекцию, а еще через год привез в Одессу Н. А. Умов свою молоденькую жену, мою будущую милую, дорогую куму, и кружок был в комплекте — составилось ядро, к которому примкнули позднее Кондаков с женой.

Елена Леонардовна Умова имела вид молоденькой девушки с двумя самыми привлекательными чертами неисторченной юности — искренностью и порывистостью. В новом для нее положении она то плакала по покинутой Москве, то сияла и радовалась настоящему. Да и в мужья ей дал бог доброго, деликатного и любящего человека, умевшего утешать свою Леночку в ее наивных горестях. Для дружеского кружка трудящихся семейный дом столь же необходим, как теплый уютный угол для усталого. Только в семейном доме, с приветливой улыбкой и ласковым словом хозяйки, собрание приятелей отдыхает душевно и принимает тот характер порядочности и сердечности, который немцы выражают словом *Gemütlichkeit*.

Таким соединительным звеном-салонем кружка стала квартира Умовых. Хозяин, кроме утонченной любезно-

сти, оказался завзятым хлебосолом, хозяйка представляла элемент сердечности; я имел значение еще не совсем состарившегося дядюшки, а душою кружка был И. И. Мечников [...]

Жили мы тихо — утро за делом в лаборатории, а вечером большею частью в нашем салоне, за дружеской беседой»³¹.

В своих воспоминаниях о Сеченове И. И. Мечников, в частности, писал: «Вскоре по переезде в Одессу он сделался тем центром кружка, в котором на первом плане был доцент физики Умов с молодой женой, которых Сеченов очень любил»³².

Елена Леонардовна Новицкая и Н. А. Умов обвенчались в Москве в июне 1872 г. Дочь известных в Москве педагогов, она сама служила классной дамой во 2-й женской гимназии, где преподавал Н. А. Умов.

Брак оказался счастливым. Елена Леонардовна стала для Николая Алексеевича не только любящей и заботливой женой, но преданным другом и помощником во всех его делах. Большинство работ Н. А. Умова переписано ее рукой. Она самоотверженно берегла его силы и время для творческой работы, ограждая мужа от повседневных житейских забот³³.

В первые годы жизни в Одессе материальное положение Умовых было далеко не блестящим. Университет предоставил им казенную квартиру из двух комнат, но при условии не заводить кухни и не держать прислуги. «И вот ежедневно, — пишет биограф Умова, его ученик А. И. Бачинский, — Н. А. с женой, в сопровождении И. М. Сеченова, отправляются в итальянскую кухмистерскую; заказывают два блюда, обычно одни и те же, преимущество которых заключается в их дешевизне; и так как известно, что Н. А. по всегдашней своей деликатности имеет обыкновение выбирать на свою долю худший кусок, то И. М. выбирает с блюда, наоборот, лучший кусок и

³¹ И. М. Сеченов. Автобиографические записки. М., «Научное слово», 1907, стр. 148.

³² И. И. Мечников. Страницы воспоминаний. М., Изд-во АН СССР, 1946, стр. 57

³³ Елена Леонардовна скончалась в августе 1926 г. В газете «Известия» был помещен по этому поводу некролог, подписанный наркомом здравоохранения Н. А. Семашко.



Иван Михайлович Сеченов

торжественно кладет его на тарелку Н. А., говоря при этом своей отчетливой манерой: «пожалуйста-с,»³⁴.

Прогрессивно настроенные профессора университета привлекали пристальное внимание полицейских чиновников. В полиции на многих выдающихся ученых, прославивших русскую науку, заводили особые характеристики. Так, о Мечникове в делах царской охраны имелась следующая запись: «Мечников — профессор зоологии, человек крайних убеждений, невозможный ни в каком учебном заведении»³⁵. Столь же выразительной была характеристика Н. А. Умова — «человека крайних воззрений», с насмешкой отнесшегося к панихиде по почившем государе³⁶.

В течение долгих лет сохранил Умов самые тесные дружеские отношения с Сеченовым и Мечниковым. Об

³⁴ А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова. М., 1916, стр. 22.

³⁵ Цит. по сб.: «Одесский университет за 75 лет». Одесса, 1940, стр. 24.

³⁶ Там же, стр. 25.

этом свидетельствуют автобиографические записки всех трех друзей, а также их многочисленные письма друг другу. Войнствующие материалисты в естествознании, Сеченов и Мечников оказали благотворное влияние на мировоззрение Умова, всю жизнь интересовавшегося вопросами биологии и живой природы вообще, убежденного сторонника и пропагандиста дарвинизма.

Как известно, в 1882 г. И. И. Мечников в результате интриг реакционеров был вынужден оставить университет и уехать за границу. Во время своих неоднократных приездов в Россию он всегда останавливался в доме Умовых. В своих воспоминаниях Мечников называл Умова «закадычным другом». Умов, по словам Мечникова, «представляет собой во всех отношениях тип высокоблагородной личности [...] Не могло быть и речи о том, чтобы ради какой-нибудь практической цели эта чистая личность отступила от своих убеждений. Вот почему очень скоро Н. А. завоевал любовь ближайших товарищей и уважение даже со стороны своих противников [...] Я находился с ним в самой близкой дружбе [...] Я уверен, что, помимо его научных заслуг, память о нем сохранится у всех, кому дорога наука и свобода преподавания ее»³⁷.

Известно, что, когда Мечников задумал издать книгу воспоминаний, он решил посвятить ее памяти умершего к тому времени Умова. В бумагах Мечникова сохранился присланный ему издателем Г. К. Рахмановым проект предисловия к книге. Оно начиналось словами: «От издателя. Предлагаемая читателям книга воспоминаний нашего всемирно известного биолога И. И. Мечникова посвящается автором памяти светлой личности своего близкого друга покойного профессора Московского университета Н. А. Умова»³⁸.

В первые годы пребывания в Одессе Умов не только занимался преподавательской деятельностью, но вел плодотворные научные исследования. В 1873—1874 гг. он опубликовал ряд работ (на русском и немецком языках), посвященных вопросам локализации и движения энергии. Центральной работой этого цикла были «Уравнения движения энергии в телах». В дальнейшем эта статья вместе

³⁷ *И. И. Мечников. Страницы воспоминаний*, стр. 68.

³⁸ Идея издания книги осталась неосуществленной (см. сб. «Борьба за науку в царской России». М., Соцэкгиз, 1931, стр. 184).



Илья Ильич Мечников

с «прибавлением» послужила Умову докторской диссертацией.

Правда, Умов уже первую работу этого цикла «Теория простых сред» представлял в качестве докторской диссертации. Однако в результате весьма отрицательного отзыва реакционного профессора Новороссийского университета, механика К. И. Карастелева, а также кого-то из московских консервативных профессоров работа не была допущена к защите. Вот что писал об этом Карастелев в письме академику И. И. Сомову: «В прошедшем академическом году Умов подал рассуждение «Теория простых сред» (Вам известное, его Вам сообщил Л. О. Беркевич) для получения степени доктора физики. В частных разговорах Шведов, которому нужно было рассмотреть и написать рецензию, т. е. отзыв, объявил, что докторская диссертация Умова по достоинству выше средней (подлинные слова). Я отозвался о ней так: «Эта диссертация представляет прекрасный образец физико-математической бессмыслицы». Таким образом, одобрение теории заколебалось у нас; впрочем, я ошибаюсь, она была бы одобрена. По поводу моего отзыва у Умова и его покровителей

опять явилась мысль уличить меня в невежестве. Послана была диссертация в Москву на рассмотрение, но и там не была одобрена. Этим путем «Теория простых сред», где, между прочим, на основании умозрений доказывался закон равенства действия и противодействия и исправлялась ошибка Гельмгольца и еще выводилась справедливость закона Ньютона, рухнула»³⁹.

Интересно отметить, что в этом письме Карастелев, принадлежавший к правому консервативному крылу университетской профессуры, возмущался горячей поддержкой Умова его друзьями — Сеченовым и Мечниковым. «В нашем факультете, — отмечал он, — есть партия довольно крикливая (Сеченов, Мечников и др.), поддерживающая авторитет его (Н. А. Умова. — Д. Г.)»⁴⁰.

Одиозная фигура Карастелева, посредственного ученого и ярого реакционера, не брезгавшего в своей борьбе с передовой профессурой никакими средствами, получила должную оценку Сеченова и Мечникова. Так, Сеченов в одном из писем Мечникову (1871 г.) пишет о «богопротивном Карастелеве». Мечников же в письмах к А. О. Ковалевскому подчеркивал: «Как в Вашем, так и во всех других хороших делах Карастелев и Сабинин⁴¹ являются лицами, руководящими подлой партией, в которой они — главные инициаторы. Эти два друга, имеющие сравнительно большую власть, так как один из них декан, а другой — исправляющий должность декана как старший по службе, употребляют в дело все нечестные и законные способы...»⁴²

В своем письме Карастелев указывал, что и на новую работу Умова «Уравнения движения энергии в телах» он дал отзыв столь же отрицательный, считая ее «бессмыслицей», как и «Теорию сред». Учитывая судьбу «Теории простых сред», Умов, по-видимому, колебался в выборе университета для представления «Уравнений движения энергии» в качестве докторской диссертации. Об этом говорит и одно из писем Сеченова Умову: «8 января 1874 г. Не тотчас ответил Вам, дорогой Николай Алек-

³⁹ Архив АН СССР, ф. 256, оп. 1, д. 9, л. 2—3.

⁴⁰ Там же, л. 1.

⁴¹ Е. Ф. Сабинин — профессор чистой математики, один из руководителей реакционной группы профессоров Новороссийского университета. — *Прим. ред.*

⁴² См. сб. «Борьба за науку в царской России», стр. 78 и 211.

сеевич, потому что только вчера приехал из Харькова Бекетов, с которым я должен был вступить в переговоры по поводу Вашей диссертации. Сказать правду, к кому она попадет в руки, он не может, поэтому я и не был у Окатова. Тем не менее Ваше желание, чтобы она была сначала частным образом просмотрена, будет исполнено, если Вы пошлете рукопись в здешний (Петербургский. — Д. Г.) университет на имя Андрея Николаевича Бекетова [...] и чем скорее, тем лучше. Так как через несколько дней я буду в Одессе, то подробности расскажу при свидании...

Ваш И. Сеченов»⁴³.

27 сентября 1874 г. в Московском университете на заседании Совета физико-математического факультета, проходившем под председательством известного астронома Бредихина, состоялась защита диссертации Умова. Официальными оппонентами выступали профессора А. Г. Столетов и Ф. А. Слудский, в качестве неофициального оппонента — профессор В. Я. Цингер. Все они резко возражали против основных идей диссертации, но признавали богатство в ней мыслей и превосходное владение автором математической стороной дела⁴⁴. Диспут продолжался шесть часов и, по словам А. И. Бачинского, оставил у Н. А. Умова «на всю жизнь неприятное воспоминание».

Во время каникул 1874—1876 гг. Умов побывал в Германии, Франции и Англии. Он с интересом прослушал лекции Кирхгофа и Гельмгольца, участвовал в практических занятиях в лаборатории Кирхгофа в Гейдельберге. Посещение лаборатории Кирхгофа натолкнуло Умова на мысль о необходимости проведения практических занятий со студентами Новороссийского университета.

В 1876 г. Умов был командирован в Лондон на выставку научных приборов, организованную в Южно-Кенгсингтонском музее.

В 1875 г. в семье Умовых родилась дочь Ольга. Ее

⁴³ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 126, л. 1. А. Н. Бекетов — ботаник, профессор Петербургского университета, впоследствии академик; М. Ф. Окатов — петербургский физик, автор первого курса термодинамики, изданного на русском языке (1871 г.). — *Прим. ред.*

⁴⁴ Отдельные выдержки из отзыва приведены на стр. 144.

крестным отцом стал И. М. Сеченов. В этом же году 29-летний Умов был утвержден в должности экстраординарного профессора. Сразу же улучшилось материальное положение Умовых — они не только смогли устроить свои жилищные дела, но и в 1887 г. приобрели небольшой участок на Южном берегу Крыма, недалеко от Алушты. Это место впоследствии получило название «профессорского уголка».

«Путешествуя в настоящее время в этой части Крыма, — пишет академик П. П. Лазарев, — мы не можем себе представить, чем был «профессорский уголок» в 1876 г. Мне пришлось видеть эту часть Крыма в 1899 г., т. е. через 20 с лишним лет после того, как там впервые поселился Умов. В 1899 г. это место было мало устроено, мало приспособлено для культурного житья. Можно представить себе, в каком положении получил свой участок Умов за 20 лет до того, как мне удалось видеть впервые „профессорский уголок“»⁴⁵. Но идея борьбы человека с природой, излюбленная мысль о том, что человек должен вносить стройность в природный хаос, получили здесь для Умова возможность конкретного воплощения: благодаря его непреклонной воле и энергии дикое, неустроенное место, без воды, без дорог постепенно превращалось в цветущий, благоухающий уголок, ярко выделяющийся среди нагроможденных друг на друга скал и выжженных солнцем обрывов. Этот уголок и стал местом летнего отдыха маленькой дружной семьи Умовых. Это было счастливое время. О нем красочно вспоминает дочь Умова Ольга Николаевна Красуская: «Самый томительный жар свалил, из лесистой балки потянуло холодком. Для семейства Умовых наступает час работы. По крутой тропинке, которая прихотливо вьется над морским обрывом, впереди всех, прыгая как мячик, бегу я [...] За мной бодро, а иногда и почти бегом, легкой молодой походкой, идет он сам — «папка», «папочка» в незатейливом парусиновом костюме или русской рубаше с расстегнутым воротом, весь загорелый, веселый, с ярким блеском голубых чистых, младенчески ясных глаз, в сиянии белокурых пушистых кудрей. За ним сдержанно и аккуратно, но стремительно — вся беспокойство и нетерпение — в большом фартуке верная спутница его до смерти — моя мать.

⁴⁵ П. П. Лазарев. Николай Алексеевич Умов. М., 1940, стр. 16.

Мы все вооружены лопатами и корзинками, потому что вышли на тропинку собирать удобрение для нашего крохотного горячо любимого садика...»⁴⁶

Во время редких дождей семейство употребляло все средства, чтобы собрать и сохранить побольше влаги для поливки растений. Особенно хлопотал Николай Алексеевич — мокрый, взволнованный и счастливый, он с лопатой в руках делал канавки для бегущей воды, направляя ее к одним растениям и отводя от других, не любящих влаги, а за ним, не спеша, вразвалочку двигался работник — грек Панатион — под зонтиком, в непромокаемом пальто хозяина и, тыкая тросточкой в разные места, снисходительно советовал: «Вот сюда бы, барин, еще воды».

Иногда отец с Олечкой ходили вместе рисовать. Вооружившись этюдными ящичками с масляными красками, они забирались куда-нибудь в дикое место, где их не мог увидеть никто из посторонних. Во время работы Николай Алексеевич читал Оле целые лекции на тему о взаимоотношении света и тени. А какие сказки, какие увлекательные истории про старушку Инерцию, про солнечный луч, рассыпающийся яркими красками, про страшные силы огня, kloкочущего в недрах земли, рассказывал отец своей маленькой дочурке! «Его сказки, его рассказы в простых словах и образах рисовали перед детскими, едва открывшимися глазами величавые картины жизни вселенной, которые проникали в детскую душу благодаря увлекательной простоте и тому подъему чувства, с которыми он рассказывал их»⁴⁷.

Вот отец и дочь играют в «археологию»: они — дикие скифы, Олины куклы изображали князей и вообще знатных лиц. В битвах их «убивали», и начиналось торжественное захоронение: выкапывались глубокие могилы, причем кукол хоронили, соблюдая весь ритуал древности, — в сидячем положении с различной утварью, кукольной посудой, бусами и т. д. Над могилами насыпали холмы и справляли тризну — Оленька съедала бублик или конфету.

На другой день «мы уже были европейцами — археологами; мы блуждали по безводным степям, мы чуть не умирали с голода, нас чуть не съедали шакалы. И, нако-

⁴⁶ О. Н. Красуская. Воспоминания об Н. А. Умове. — «Физическое обозрение», 1916, т. 16, № 3, стр. 150.

⁴⁷ Там же, стр. 152.



Рис. 1. Картина Н. А. Умова, выполненная масляными красками и изображающая берег его крымского «владения»

нец, мы находили курганы. Папа начинал мечтать о том, что мы найдем в них, и только после долгих разговоров начинались раскопки. Бурный восторг вызывала какая-нибудь фарфоровая чашка от кукольной посуды с отбитой ручкой. «Несомненно, Олечка, — говорил папа, поднимая чашку, — эта медная чаша была круговой чашей, из которой пили скифы во время погребального пира [...] ты видишь на ней барельефы, изображающие скифов и их животных...»⁴⁸.

⁴⁸ О. Н. Красуская. Воспоминания об Н. А. Умове. — «Физическое обозрение», 1916, т. 16, № 3, стр. 153.

Поначалу научные исследования Умова — ряд работ по механике, оптике, термодинамике и электричеству и т. д., относящиеся к одесскому периоду, носили главным образом теоретический характер. Однако начиная с 1886 г. ученый стал обращаться к экспериментам. Его первая экспериментальная работа не требовала значительных технических средств — это было исследование диффузии водных растворов. Результаты исследований, продолжавшихся до 1891 г., Умов обобщил в двух статьях. Речь о них пойдет ниже, в главе, посвященной творческому пути ученого.

Деятельность Умова в Одессе не ограничилась университетом. Он также читал лекции на публичных курсах по естествознанию, являлся вице-президентом Новороссийского общества естествоиспытателей и часто выступал с докладами на заседаниях общества. Тематика его докладов была разнообразной: «О существующих теориях аномальной дисперсии», «О вихревых кольцах и современных теориях взаимодействий на конечных расстояниях», «О соотношении между электрическими и термическими процессами в гальванических элементах» и др. Кроме того, по словам Г. Г. Де-Метц, в ту пору Умов «выступал с очень интересными и злободневными докладами в Техническом обществе: таковы вопросы об электрическом освещении г. Одессы, о значении трансформаторов в питании сети переменного тока и некоторые другие»⁴⁹.

Как известно, уже в годы студенчества Умов по мере сил заботился об улучшении жизни простого народа. В одесский период жизни ученый значительно активизировал эту сторону своей деятельности. Так, он в течение ряда лет состоял членом комитета, а затем и делопроизводителем так называемых Когановских учреждений, предоставлявших дешевые квартиры «лицам и семействам, посвятившим себя труду, но по независящим от них обстоятельствам впавшим в бедность». Деятельность комитета имела большой размах; достаточно сказать, что он ведал 800 десятинами земли и 580 комнатами, в которых проживало около 1200 человек. Кроме того, Умов состоял членом Общества покровительства отбывшим

⁴⁹ Г. Г. Де-Метц. Памяти Н. А. Умова. — «Физическое обозрение», 1916, т. 16, № 3, стр. 131.

наказание и бесприютным, а в 1891 г. заведовал имеющимся при Обществе «убежищем», где бесприютные дети получали воспитание и ремесленные навыки. В том же году в газете «Одесский листок» была опубликована статья Умова «'Αγάπη» («Любовь» — греч. — Д. Г.). В ней содержался призыв помочь Обществу в его стремлении нравственно оздоровить, перевоспитать человека. «Кто же, читатель, — спрашивал Умов, — всего более нуждается в детальной, сердечной любви, как не те несчастные и отверженные дети, которые без крова и хлеба бродят по улицам или ютятся по окраинам городов [...] полюбите несчастных детей, полюбите те учреждения, на обязанности которых лежит забота об этих детях»⁵⁰.

Передовая часть университетской профессуры сочувственно относилась к студенческому движению. Когда в 1881 г. был арестован по обвинению в революционной деятельности студент физико-математического факультета, французский гражданин Э. А. Рубанович, профессора Умов, Шведов, Лигин и Преображенский передали французскому консулу письмо, содержащее весьма лестную характеристику Рубановича как студента с выдающимися способностями.

Еще до того профессора Вериги и Умов посетили одесского генерал-губернатора Стрельникова и просили о выдаче им на поруки Рубановича, но получили отказ «ввиду политического характера дела». Генерал-губернатор не замедлил сообщить о заступничестве ученых министру народного просвещения. Министр в письме попечителю учебного округа П. А. Лавровскому писал: «Признавая таковой поступок 4-х профессоров в высшей степени неуместным, я считаю необходимым безотлагательно потребовать через ректора от означенных профессоров объяснений, по какому поводу, по чьей просьбе, для какой цели и по чьему полномочию, состоя на государственной службе в одном из русских университетов, сочли себя вправе вступить в непосредственные формальные сношения с агентом иностранного государства для выдачи подобного удостоверения лицу, арестованному русским правительством по подозрению в государственном преступлении»⁵¹.

⁵⁰ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 57.

⁵¹ С. Т. Сватиков. Опальная профессура 80-х годов. — «Голос минувшего», 1917, № 2, стр. 11.

ве составлено и коллективное письмо и передано консулу»⁵².

Спустя некоторое время Умов все же добился своего. 30 апреля 1882 г. департамент государственной полиции сообщил министру народного просвещения, что Рубанович, согласно ходатайству профессора Умова, отдан «сему последнему» на поручительство с денежной ответственностью в 2000 рублей» и «ныне скрывшийся из места жительства, неизвестно где находится».

Министр потребовал у попечителя «ближайшее его заключение о нравственных качествах вообще и о политической благонадежности в особенности профессора Умова».

Этот эпизод не был для Умова случайным — на протяжении всей своей жизни он оказывал поддержку и выступал в защиту студентов, борющихся за свои права, был непререкаемым участником различных петиций (например, известного письма 42-х профессоров), направленных против полицейских расправ над студентами.

Один из его учеников впоследствии вспоминал: «Всего больше величие души его сказалось в отношении к самому наболевшему вопросу студенческой жизни — к студенческим беспорядкам. Когда волна забастовочного движения в 1899 г. охватила университеты и начались аресты, допросы и высылки, он помогал нам чем мог [...] Хлопотал за нас, а тем, перед кем закрылись университетские двери, помог своей рекомендацией поступить в заграничные университеты. При этом он волновался и беспокоился за нас, как за своих родных детей»⁵³.

Умов провел в Одессе 22 года. Казалось, он был вполне удовлетворен своим положением и жизнью в этом городе. Однако воспитанник старейшего русского университета, Московского, не оставлял мысли о переезде в Москву. Умов мечтал о создании своей школы физиков, а в Одессе он не находил необходимых для выполнения этой благородной задачи условий. Поэтому, когда в 1893 г. А. Г. Столетов по выслуге лет «вышел за штат» и на кафедре опытной физики Московского университета освободилось место ординарного профессора, Умов с радостью принял приглашение на эту должность.

По-видимому, решение о переходе пришло не сразу.

⁵² С. Т. Сватиков. Опальная профессура 80-х годов.— «Голос минувшего», 1917, № 2, стр. 12.

⁵³ А. Титов. Памяти учителя.— «Русские ведомости», 1915, № 3.

На вакантное место претендовали также Н. Н. Шиллер и О. Д. Хвольсон. О горячем желании Умова работать в Московском университете свидетельствовали и его письма к И. В. Помяловскому, которого он просил оказать содействие в деле нового назначения. Так, в одном из них Умов писал: «29-го августа текущего года мне исполняется 25 лет службы, из коих с лишком 21 год были отданы Новороссийскому университету.

Бедный слушателями, наш университет не мог дать достаточного материала для создания школы и значительно числа учеников; тем не менее те из наших воспитанников, которые в настоящее время занимают кафедры или приват-доцентствуют как в нашем, так и в других университетах, прошли через мои руки, пользуясь советами не по одной только моей специальности. Фамилии этих лиц я могу указать: Де-Метц, Зейлигер, Спешинский, Тимченко, Занчевский, Циммерман, Руссьян и мн[огие] др[угие].

Приближаясь уже к концу моего служения, имея за собою 25 лет опыта, я желал бы иметь под руками материал, более богатый способностями и интересами к науке: этой русской науке я хотел бы послужить не только личной научной работой, но, пользуясь приобретенными мною знаниями и опытом, найти и подготовить будущих работников науки.

Я сам воспитанник Московской 1-й гимназии и Московского университета, после А. Г. Столетова старший из всех московских физиков; в Москве мои родные; затем хотелось бы, чтобы моя дочь, окончившая в нынешнем году гимназию, получила бы тоже московское крещение.

Запрос московских профессоров несколько опоздал, так как почему-то сложилось мнение, что я сжился с Одессой и ее не покину. Уже с весны хлопочут о переводе в Москву два претендента, более молодые, именно киевский профессор Н. Н. Шиллер и петербургский — Хвольсон»⁵⁴.

Письмо датировано 26 июля 1893 г. К этому времени в Одессе уже не было ни Мечникова, ни Сеченова, переехавшего в 1888 г. в Москву. Теперь туда отправлялся Н. А. Умов.

⁵⁴ Гос. Публ. б-ка им. М. Е. Салтыкова-Щедрина, Отд. рукописей. Фонд-архив Н. А. Помяловского. Письма И. В. Помяловскому.

Снова в Москве

Н. А. Умов возвратился в Москву осенью 1893 г. Здесь он был тепло встречен Сеченовым. В одном из писем к Мечникову Сеченов писал: «В моей жизни две приятные новости. У нас выстроена новая прекрасная лаборатория, в которой я уже начал работать, и на днях сюда в Москву переехала вся семья Умовых — Николай Алексеевич переведен сюда профессором физики [...] Теперь я встречаюсь с ними мельком, потому что они в больших хлопотах по поводу устройства гнезда; но в будущем ожидаю от их переселения в Москву много для себя приятного»⁵⁵. «Обрадовался я им донельзя, потому что в Москве ни с кем не сблизился и жил по сие время совершенно одиноким...»⁵⁶ — отмечал он в другом письме.

В ту пору на физико-математическом факультете Московского университета, кроме А. Г. Столетова, работал еще один профессор физики — Алексей Петрович Соколов. Они попеременно читали курс экспериментальной физики студентам физико-математического факультета (математики и естественники слушали единый курс). Помимо этого, Столетов читал опытную физику медикам, а Соколов вел курс математической физики у студентов-математиков. В физической лаборатории работал в качестве лаборанта (ассистента) Петр Николаевич Лебедев, будущий знаменитый физик⁵⁷. Он был приглашен сюда в 1891 г. Столетовым. Возвратившемуся в Московский университет Умову поручили на первых порах чтение курса математической физики студентам физико-математического факультета и курса опытной физики — студентам медицинского факультета.

Радость переезда в Москву и работы в дорогом сердцу университете омрачилась непредвиденными обстоятельствами. Как выяснилось, сам перевод Умова был обставлен министерскими чиновниками так, чтобы осложнить его отношения со Столетовым, который в ту пору подвер-

⁵⁵ «Борьба за науку в царской России», стр. 117.

⁵⁶ М. Яновская. Сеченов. М., «Молодая гвардия», 1959, стр. 350.

⁵⁷ В 1898 г. П. Н. Лебедев защитил диссертацию на тему «Экспериментальное исследование пондермоторного действия волн на резонаторы». Ему была присвоена степень доктора, минуя магистерскую. В 1900 г. Лебедев стал экстраординарным профессором.

гался гнусной травле со стороны реакционных кругов. Вопрос о назначении Умова на кафедру и его нагрузке решался за спиной Столетова. Естественно, это не способствовало установлению дружеских отношений между бывшим учителем и его учеником. В одном из писем В. А. Михельсону Столетов писал:

«На освободившуюся с выходом меня «за штат» кафедру назначен новый профессор, причем о выборе лица меня не спрашивали. Назначен Умов из Одессы, человек даровитый и приятный, к сожалению, не экспериментатор [...] В самые первые дни по приезде моем новый декан (Бугаев) сообщил мне, что Умову (который тогда еще не приезжал) желательно бы передать медицинские лекции физики, так как-де без гонорарных лекций ему трудно. Я и добровольно бы это сделал, так как мои медицинские обязанности (особенно экзамены) меня тяготили: но иное дело — добровольно, иное дело — под давлением. Между тем было ясно видно, что если не соглашусь, то прикажут [...] Далее было деканом закинуто слово, не поделить ли нам с Умовым заведование Физ[ическим] институтом. На это я ответил, что делить нечего и неудобно, а передать заведование целиком — во власти начальства...»^{57а}

Напомним также, что Умов оказался в какой-то мере втянутым в известную дискуссию о диссертации князя Б. Б. Голицына — молодого физика, впоследствии крупного ученого. Как известно, Столетов и Соколов дали на нее отрицательный отзыв.

Умов, будучи еще в Одессе, полагал, что Столетов с пристрастием отнесся к работе Голицына. Однако позднее, уже в Москве, он детально ознакомился с диссертацией и также признал ее недостаточно обоснованной. «Ваша диссертация должна быть вооружена сильнее... — писал он Голицыну. — Вам следовало взглянуть на дело глубже [...] Ввиду всего этого — мой совет, если Вы желаете продолжения дела, то обставьте его оружием, достаточным для ослабления приведенных возражений, которые во многом справедливы»⁵⁸.

^{57а} См. В. Болховитинов. А. Г. Столетов, стр. 446.

⁵⁸ Как показало дальнейшее развитие науки, Столетов оказался неправ в оценке работы Голицына: диссертация наряду с существенными недостатками содержала глубокие мысли, намного опередившие то время, в частности идею о температуре излучения. Но трудно судить Столетова: крупнейшие западноевропейские

Эпизод с «голицынской диссертацией» разворачивался на фоне неприглядной истории, связанной с несостоявшимся — благодаря интригам реакции избранием Столетова в Российскую академию наук.

Президент Академии, великий князь из дома Романовых, своей властью снял кандидатуру Столетова. Вместо него был выдвинут Б. Б. Голицын. Однако в ту пору он еще не имел русской степени магистра и, конечно, не обладал и малой долей заслуг Столетова. Выдвигая его кандидатуру, реакция бросила открытый вызов передовой научной общественности России.

В Московском университете против Столетова непрерывно плелись интриги. Реакционная профессура и администрация делали все возможное, чтобы выжить ученого из университета. Осенью 1893 г. у них появился благовидный предлог: летом 1893 г., находясь на отдыхе за границей, куда он ездил поправить пошатнувшееся в результате «весенней истории» здоровье, Столетов получил письмо попечителя учебного округа. Ученого извещали о том, что в связи с истечением 30-летнего срока службы его место объявлялось вакантным. Столетов, правда, оставался в университете в качестве заслуженного профессора, но ему было отказано в прибавке (1200 руб.), которая обыкновенно полагалась в таких случаях.

Нетрудно понять состояние Столетова. «С самого приезда был в подавленном состоянии, — писал он Михельсону в сентябре 1893 г., — вместо «спасибо» за 30-летнюю службу, срок которой вышел 4 августа, испытываю некую начальственную месть»⁵⁹.

К. А. Тимирязев впоследствии вспоминал: «Какая-то печать гнетущего, затаенного нравственного страдания легла на все последние годы его (Столетова. — Д. Г.) жизни...»⁶⁰

Столетов, несмотря на притеснения, продолжал активно работать на кафедре. Он сохранил за собой чтение кур-

физики (Л. Больцман, В. Томсон, Г. Гельмгольц), к которым он обращался, также не смогли по достоинству оценить диссертацию Голицына (см. Г. М. Тепляков, П. С. Кудрявцев. Александр Григорьевич Столетов. М., «Просвещение», 1966, стр. 113).

⁵⁹ См. Там же, стр. 114.

⁶⁰ Там же.



Александр Григорьевич Столетов

са опытной физики студентам физико-математического факультета и остался заведующим Физическим институтом (физическим кабинетом и лабораторией).

Чтение курса медикам, как уже говорилось, было передано Умову. Спустя некоторое время Столетов выделил Умову небольшое помещение в лаборатории для экспериментальной работы. До этого Умов совместно с физиологом А. Ф. Самойловым проводил в Физиологическом институте университета опыты по изучению недавно открытых рентгеновых лучей⁶¹.

После смерти Столетова, которая последовала в мае 1896 г., Умов стал читать его часть курса опытной физики студентам физико-математического отделения. К нему

⁶¹ А. Ф. Самойлов — впоследствии выдающийся советский ученый, один из основоположников электрофизиологии. Х. С. Коштоянц в книге «Очерки по истории физиологии в России» (М.— Л., Изд. во АН СССР, 1946, стр. 388) писал: «В Московском университете Самойлов вскоре устанавливает тесную деловую связь с физиками, и в первую очередь с выдающимся физиком Н. А. Умовым, совместно с которым выполняет и публикует интересное и для физики, и для физиологии исследование». Результаты исследования были изложены в 1896 г. в статье «Электрические образы в поле трубки Гитторфа».

перешло также заведование физическим кабинетом. Физической лабораторией для научных исследований и практических занятий студентов стал руководить профессор А. П. Соколов. Эта лаборатория размещалась на втором этаже старого ректорского домика, где Умов добился разрешения оборудовать под лабораторию часть нижнего этажа.

Помещение, отведенное Умову под лабораторию, оказалось крайне неудобным — тесным, низким и темным. Общими усилиями Умова и его студентов лабораторию кое-как удалось оборудовать, и она начала функционировать. Удобств было очень мало. Зато в отношениях между сотрудниками отсутствовала «официальная чопорность». В лаборатории Умова царил дух труда и воодушевления. Все работавшие в «лаборатории при физическом кабинете» (как называлась эта лаборатория официально), наверное, сохранили теплое воспоминание о часах, здесь проведенных, — писал А. И. Бачинский, который сам начинал работу в лаборатории в качестве студента-практиканта, а в дальнейшем помогал Умову руководить практическими занятиями учащихся.

Наряду с работой со студентами в лаборатории Умов приступил к научным исследованиям. В частности, он совместно с А. Ф. Самойловым предпринял исследование по акустике, имеющее целью решить некоторые спорные вопросы относительно состава гласных звуков человеческой речи. В работе участвовали два студента — В. Н. Габричевский (позднее профессор физики в Донском политехническом институте) и А. И. Бачинский. К сожалению, работа осталась незавершенной. «Было затрачено много труда, создано много интересного материала в виде фотографических кривых, соответствующих гласным звукам, напеваемым на различные ноты, но окончательной обработке материал не подвергся [...] Н. А. собирался продолжать исследование голоса, но другие дела и интересы отвлекли его»⁶².

В тесной связи с этим незавершенным исследованием находится теоретическая работа Умова «*Sur l'application de la méthode de M. L. Hermann à l'analyse des courbes périodiques*» (1898 г.). Она содержит критику вычисли-

⁶² А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова, стр. 50.



Рис. 3. Старый ректорский домик, в котором помещались физические лаборатории и физический кабинет Московского университета до 1903 г. В правой половине нижнего этажа находилась лаборатория, которой заведовал Н. А. Умов

тельного метода, использованного для анализа голосовых кривых немецким физиологом Германом.

Во второй половине 90-х годов Умов неоднократно бывал в заграничных командировках, где, в частности, ознакомился с устройством ряда первоклассных физических институтов. При этом Умов имел в виду идею создания в России нового физического института. Об этом думал еще Столетов.

В 1896 г. Н. А. Умов представлял Московский университет и Московское общество испытателей природы на юбилейных торжествах по случаю 50-летия научной деятельности знаменитого английского физика В. Томсона. В Глазго, где происходило чествование юбиляра, Умов от имени Общества испытателей природы преподнес Томсону адрес, в котором подчеркивались научные заслуги великого английского ученого.

В конце юбилейных торжеств состоялась церемония присуждения ряду делегатов за особые научные заслуги

28, CHESTER SQUARE,

S. W.

July 9. 1876

Dear Prof. Anninoff

I thank you for your paper which I have received today. I have forwarded it to St. Francis for the Philosophical Magazine and I feel sure that he will be pleased to publish it. It is certainly very interesting and I believe will be quite new to the readers of the magazine.

Lady Kelvin thanks you for your kind message and joins me.

Рис. 4. Письмо В. Томсона Н. А. Умову

почетной степени доктора прав Глазговского университета. Среди них был и Н. А. Умов. В качестве одного из мотивов присуждения ему почетного звания послужили работы Умова по движению энергии. В. Томсон рекомендовал работу Умова и Самойлова о трубке Крукса к изданию в «Philosophical Magazine». Он писал в связи с этим Н. А. Умову:

in kind regards to yourself.

Yours very truly,

Kelvin

P.S. I have sent
you expressions of my
gratitude, addressed
to Moscow, for your
kindness in coming
to Glasgow and bringing
to me Addresses on
the occasion of the
Jubilee of my
Professorship.

«9 июля 1896 года

Дорогой профессор Умов

Благодарю Вас за Вашу статью, полученную мною сегодня. Я направил ее д-ру Фрэнсису в Philosophical Magazine и уверен, что он с удовольствием ее опубликует. Она, безусловно, очень интересна и, по моему мнению, будет совершенно новой для читателей журнала.

Леди Кельвин благодарит Вас за Ваше любезное послание и вместе со мной шлет Вам сердечный привет.

Искренне Ваш

Кельвин.

Р. С. Я выслал Вам по московскому адресу выражение моей благодарности за Ваш любезный приезд в Глазго и вручение мне адресов по случаю юбилея моей профессорской деятельности»⁶³.

Во время этой заграничной командировки Умов выступил и на съезде естествоиспытателей в Цюрихе. Посетил он и Париж. 18 июня 1896 г. Умов прочитал три доклада на заседаниях Французского физического общества: а) Геометрическое значение интегралов Френеля (первый доклад); б) Антитермы изоэлектрических изотермических процессов совершенных газов (второй доклад); в) Образование и истечение капель в магнитном и электрическом поле (третий доклад). Позднее в своей автобиографии Умов отмечал, что особое впечатление на французских физиков произвел первый доклад.

В результате ознакомления с устройством и работой западноевропейских физических институтов Умов совместно с профессором А. П. Соколовым, ассистентом П. Н. Лебедевым и архитектором К. М. Быковским составил проект организации нового физического института при Московском университете⁶⁴. Больше того, Умов, принял ведущее участие в постройке института и его оборудовании. Об этом свидетельствуют многочисленные бумаги и документы, хранящиеся в личном архиве Н. А. Умова. В частности, в своем автобиографическом очерке Н. А. Умов указывал, что «наблюдения за постройкой и пререкания по ее поводу в учрежденной строительной комиссии брали много времени и сил у Н. А.» Недаром А. С. Предводителев позднее писал: «Перед Московским университетом Н. А. Умов имеет исключительные заслуги и в деле организации и постройки здания нового физического института»⁶⁵.

При составлении проекта института учитывались многие стороны деятельности аналогичных институтов Сорбонны, Страсбурга, Цюриха, Эрлангена и Рима. Больше того, во время заграничной поездки в 1897 г. Умов ознакомился с проектом многих видных иностранных ученых: В. Нернста, Г. Вебера, В. Фойхта, Э. Рике, Э. Видемана.

⁶³ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 560.

⁶⁴ Там же, стр. 579.

⁶⁵ А. С. Предводителев. Николай Алексеевич Умов. Изд. МГУ, 1950, стр. 15.



Петр Николаевич Лебедев

Все они, одобрив проект, сделали ряд частных замечаний, которые были учтены при окончательной работе над проектом.

В докладе «О сооружении физического института при Императорском Московском университете» Умов следующим образом определил цели и задачи нового учреждения. «Кроме обучения студентов, физический институт должен способствовать и развитию физической науки, — писал ученый, — он должен дать место и поставить в удовлетворительные условия как занятия профессоров, так и начинающих молодых ученых, а также ученых и других русских университетов [...] Наконец, физический институт должен быть в состоянии воспроизвести всякое новое открытие и исследование»⁶⁶. Указав, что молодые русские физики «для утилизации своих способностей и познаний должны большей частью обращаться к учреждениям Запада», Умов восклицал: «Такое положение,

⁶⁶ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 579.

несогласное ни с обязанностями, ни с достоинством русской науки, должно окончиться [...]

Учреждение в Москве Физического института, согласно всем требованиям, предъявляемым современной наукой, соответствовало бы и действительно назревшим потребностям, и тому значению, которое имеет в деле просвещения России Московский университет»⁶⁷.

Здание Физического института было заложено в 1898 г. Летом 1903 г. строительство закончилось, и из старого помещения в новое были перевезены инструменты и оборудование. 3 октября 1903 г. в новой физической аудитории была прочитана первая лекция.

Физический институт Московского университета явился первым в России специальным учреждением для подготовки научных исследователей в области физики.

Умов был назначен заведующим физическим кабинетом и состоящей при нем лаборатории нового института. Впоследствии в его ведение отошла и термическая лаборатория В. Ф. Лугинина (после выхода в отставку последнего). За А. П. Соколовым закрепили лабораторию для практических занятий студентов, а П. Н. Лебедев стал руководить лабораторией для научно-исследовательских работ.

В лаборатории Умова развернулась деятельная работа — помимо практических занятий со студентами, проводились серьезные научные исследования. В отчете Московского университета за 1903 г. отмечалось: «В лаборатории при физическом кабинете происходили практические занятия по физике под руководством сверхштатных лаборантов П. К. Мейера и А. В. Цингера, а также оставленного при университете А. И. Бачинского. Кроме студентов, занимались разработкой специальных вопросов В. И. Эсмарх, А. И. Бачинский, В. Н. Габричевский и Н. Н. Лебедеенко»⁶⁸.

Ближайшим помощником Н. А. Умова в работах по оборудованию физического кабинета, большой физической аудитории был замечательный механик, физик-самоучка Иван Филиппович Усагин. Этот удивительно талантливый человек, не имевший никакого физического образования, вошел в историю русской физики как круп-

⁶⁷ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 578.

⁶⁸ См. сб. «Иван Филиппович Усагин». Изд-во МГУ, 1959, стр. 267.

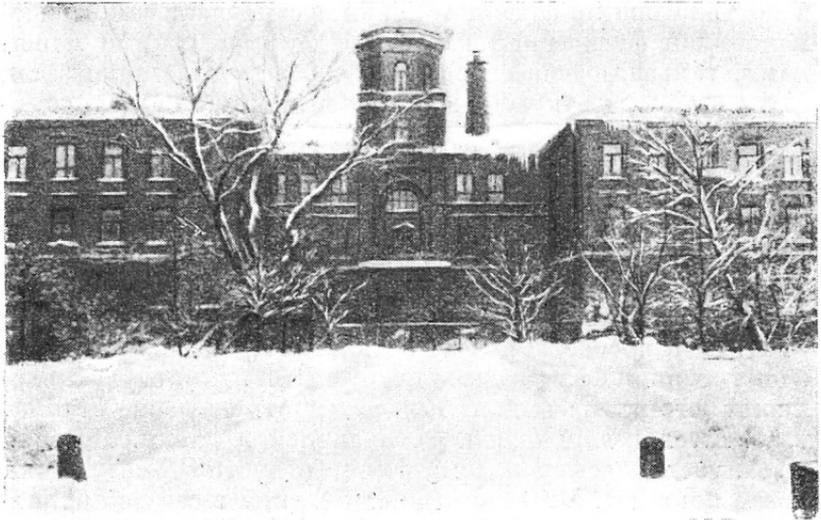


Рис. 5. Здание Физического института Московского университета, построенное в 1899—1903 гг.

ный изобретатель (им, в частности, был изобретен трансформатор), непревзойденный мастер лекционных демонстраций, немало способствовавший успеху лекций по физике (в том числе публичных), которые читали профессора Н. А. Любимов, А. Г. Столетов и Н. А. Умов.

Человек необыкновенной судьбы, И. Ф. Усагин пользовался большим авторитетом среди профессорско-преподавательского состава университета. Н. А. Умов, вспоминая жизненный путь своего помощника, писал: «Осенью 1874 г. сын крестьянина, 19-летний И. Ф. Усагин, умевший только читать и писать, находился в услужении у своего отчима, содержавшего бакалейную лавку в Москве. Усагин, обладая большой любознательностью, тайком от отчима читал книги, которыми таким же образом снабжал его пожилой крестьянин, покупавший их под Сухаревой башней и известный в своем кругу под названием «астронома». Между прочими книгами Усагину попала старая физика Павлова, и с этого времени у него является желание изучать физику. Услыхав как-то, что есть новая физика — Любимова, Усагин приобретает ее на свои скудные средства и в послеобеденные роздыхи,

в подвале под помещением лавки, устраивает самодельно маленький физический кабинет с электрическими машинами, гальваническими элементами и т. д. Однако затем Усагина скоро открылись и повели к крупному столкновению между ним и его отчимом, который считал совершенно лишним стремление Усагина к учению. В декабре 1874 г. Усагин пишет письмо Н. А. Любимову, в котором, изложив свою охоту к изучению физики и встречаемые им к тому препятствия, просит совета. Дня через два Усагин получает ответ, в котором Н. А. назначает ему час для свидания. Н. А. принял горячее участие в судьбе Усагина и посоветовал ему посвятить себя ознакомлению с построением физических инструментов. Для осуществления такого плана нужно было получить согласие отчима, и Н. А., надевши ордена, отправился в лавку. Поездка Н. А. увенчалась успехом: отчим отпустил Усагина на новое поприще. Н. А. помещает Усагина в семью архивариуса Московского университета Ларионова, платит из личных средств по 15 р. в месяц за стол и квартиру Усагина и определяет его учеником в университетскую мастерскую. Но на этом не остановились заботы Н. А. об Усагине. Он должен был ежедневно являться к Н. А., который в продолжение шести месяцев в утренние часы обучал его арифметике, краткой геометрии, алгебре и грамматике. Через год Усагин помогал Н. А. на лекциях физики в лицее Цесаревича Николая, а в 1882 году, после смерти механика Симонова, занял его место в университете»⁶⁹.

Известно, что Умов отстаивал приоритет Усагина в изобретении трансформатора. «Представляется своевременным остановиться на вопросе, кому из многочисленных работников на поприще электротехники принадлежит приоритет такого плодотворного изобретения,— писал он в представлении отделения физических наук Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии.— С чувством большого удовлетворения мы можем утверждать, что приоритет в этом вопросе должен быть признан за одним из наших соотечественников [...] История науки отмечает его имя на своих страницах впереди имен Gaulard'a и Gibbs'a.

Идея трансформатора была осуществлена годом рань-

⁶⁹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 133—134.



Иван Филиппович Усагин

ше Gaulard'a и Gibbs'a на Всероссийской промышленной выставке 1882 г. Иваном Филипповичем Усагиным...»⁷⁰.

На основании этого представления, подписанного Н. Жуковским, Н. Умовым, А. Соколовым, П. Лебедевым, П. Преображенским и В. Щегляевым, Совет Общества присудил И. Ф. Усагину премию Мошнина.

Умов и в своих университетских лекциях подчеркивал приоритет Усагина в изобретении трансформатора. Так, среди бумаг Умова сохранилась записная книжка с заголовком «Порядок лекции». Здесь в разделе «Генераторы и трансформаторы» записано: «Усагин — 1882 г. Gaulard и Gibbs — 1883 г.»⁷¹

Усилиями Умова и Усагина лаборатория при физическом кабинете к 1911 г. выросла в три специальные

⁷⁰ См. сб. «Иван Филиппович Усагин», стр. 78.

⁷¹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 159.

лаборатории — электрохимических измерений, оптических измерений и электрических измерений.

В лаборатории, как уже отмечалось, велась большая научная работа. В частности, здесь были доведены до конца исследования А. Р. Колли по электромагнитным волнам, проводили свои оптические исследования Н. Н. Златовратский и Д. Д. Хмыров, много и плодотворно работал здесь А. И. Бачинский, начал свои исследования студент, впоследствии известный физик В. К. Аркадьев.

Много времени отдавал экспериментальным наблюдениям и сам Н. А. Умов. В частности, он провел большие оптические исследования, названные им спектрополярископическими. Результаты этой фундаментальной работы Умов изложил в ряде публикаций в 1905, 1907 и 1912 гг.

По свидетельству А. И. Бачинского, Умов любил экспериментальную работу, предавался ей «с юношеским увлечением, нередко засиживался в лаборатории далеко за полночь». Сохранившиеся записные книжки Умова полны планов различных экспериментальных исследований. Бачинский отмечает, что иногда после продолжительных исследований в определенном направлении Умов складывал в портфель накопленные заметки и протоколы наблюдений, разбирал налаженную установку, с тем чтобы заняться другим исследованием; и лишь спустя некоторое время он снова возвращался к прежней теме. Примером могут служить его большие оптические исследования. «Такая манера работать, бесспорно, вела к тому, что разрабатываемая идея достигала полной зрелости и всестороннего развития; но зато здесь была и отрицательная сторона: несколько начатых исследований, поглотивших уже много труда, остались незаконченными». Эти незавершенные работы Умова, как видно из бумаг, сохранившихся в его архиве, относились к различным разделам физики: акустике, магнитохимическим явлениям, электрическим колебаниям в катушках, рентгеновым лучам и др.

Наряду с экспериментальными исследованиями, отнимавшими у него много сил и времени, Умов опубликовал в этот период своей деятельности ряд теоретических работ. Важнейшими среди них можно по праву считать серию работ по земному магнетизму (1902—1904 гг.) и две работы по теории относительности (1910—1912 гг.). Эти теоретические изыскания Умова явились фундамен-

тальным вкладом в соответствующие разделы физической науки.

Огромный размах после переезда в Москву приобрела общественно-научная деятельность Умова. В период подготовки и строительства нового физического института ученый опубликовал ряд статей, имеющих целью привлечь внимание общественности к нуждам университета, выступал с публичными лекциями по различным вопросам физики. При этом Умов не только популяризировал эту область знаний, но и стремился пробудить у слушателей интерес к университетскому преподаванию физики. Вот темы некоторых его лекций: «Физические основы механики», «Закон сохранения энергии», «О звуке», «Сжижение газов», «Луч света» и пр. По воспоминанию А. И. Бачинского, эти лекции привлекали «огромное количество слушателей и производили неизгладимое впечатление. Подбором «эффектных» и поучительных опытов, редким умением выдвинуть общие точки зрения и очертить широкие научные перспективы, энтузиазмом естествоиспытателя, непоколебимо верующего в могущество науки, Николай Алексеевич захватывал внимание аудитории»⁷².

Все это время Умов деятельно участвует в работе ряда научных обществ. Он — непреходящий член Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, член Математического общества, действительный член, а с декабря 1897 г. (после смерти Ф. А. Слудского) президент старейшего русского научного общества — Общества испытателей природы. Пожалуй, именно этому обществу Умов отдал больше всего энергии и трудов. В течение 17 лет он оставался его бессменным президентом (переизбираясь каждые три года). С приходом Умова несколько изменился характер деятельности Общества. Раньше среди его членов преобладали представители биолого-геологических наук и на заседаниях редко заслушивались доклады по точным наукам (физике, химии). Умов привлек к работе в Обществе молодых физиков и химиков, в частности выдающегося химика Л. А. Чугаева.

Умов стремился к тому, чтобы сообщения, которые делались на заседаниях Общества, носили не только узкий специфичный характер и представляли интерес лишь

⁷² А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова, стр. 50.

для специалистов одной области. Он выступал за доклады, способные привлечь внимание представителей различных отраслей знаний. В этом Умов видел возможность общения между ними и в первую очередь между представителями естественных наук.

Этой цели как нельзя лучше отвечали доклады и сообщения самого Н. А. Умова на годичных и очередных заседаниях Общества. О разнообразии тематики его выступлений говорят и их названия: «Памяти Гельмгольца», «О жидком воздухе», «Материя по современным физическим учениям», «Приложение математики к теории эволюции и к определению растительных форм», «Эволюция мировоззрений в связи с учением Дарвина» и др. На одном из заседаний Умов сделал сообщение о своих исследованиях в области земного магнетизма. Перед этим он сообщил П. П. Лазареву, что решил во что бы то ни стало упростить изложение, сделать его доступным и понятным всем присутствующим. «Результаты моего исследования, — сказал Умов, — могут понять все члены Общества, но я хотел бы воспользоваться правом докладчика и указать на некоторые интересные математические результаты, которые могут оценить только люди, ближе стоящие к физике: мне так много приходилось слышать деталей из докладов зоологов и ботаников, и я так много от этого получил сам, что, я думаю, биологам и геологам, может быть, будет полезно познакомиться с тем, как ведутся работы в других областях точного естествознания»⁷³.

Н. А. Умов был идеальным руководителем Общества испытателей природы еще и потому, что, будучи представителем точной науки — физики, он всегда интересовался вопросами биологии, живой природы. Как известно, в Одессе его ближайшими друзьями являлись Сеченов, Мечников, А. Ковалевский — выдающиеся представители биологических наук. Умов часто посещал заседания биологического отделения Новороссийского общества естествоиспытателей и прослушал немалое число докладов и сообщений на биологические темы.

В своих публичных речах и популярных статьях он часто затрагивал вопросы живой природы, отстаивал эволюционную теорию Дарвина, выступал против идеалистического виталистического учения. В течение многих

⁷³ П. П. Лазарев. Николай Алексеевич Умов, стр. 22.

лет Умов читал лекционные курсы физики для медиков, в которых, в частности, уделял много внимания физическим моделям живой природы. Этой теме была посвящена и одна из его знаменитых публичных речей «Физико-механическая модель живой материи», с которой он выступил на XI съезде русских естествоиспытателей и врачей. Направленное против виталистических учений выступление Умова вызвало многочисленные отклики в печати и кругах российской интеллигенции.

В начале 900-х годов укрепились связи Общества испытателей природы со многими зарубежными научными обществами. Особенно расширился обмен печатными изданиями. Многие труды Общества, изданные на различных языках, рассылались во многие страны света. При этом своими печатными работами с Обществом испытателей природы обменивались не только крупнейшие зарубежные научные общества и Академии, но и множество мелких обществ, научных объединений самых различных стран. В результате библиотека Общества оказалась обладательницей уникального собрания периодических научных изданий тех лет. Широко открытая для всех желающих, она позволила многим начинающим ученым ознакомиться с редчайшей литературой по многим отраслям знаний. И, конечно, в этом была огромная заслуга руководителя Общества Н. А. Умова. По словам академика П. П. Лазарева, «Умову удалось добиться очень больших результатов, и современная советская культура должна быть благодарна Умову за эти его начинания, позволяющие создать огромную библиотеку по естествознанию»⁷⁴.

По инициативе Умова, Московское общество испытателей природы хлопотало о помиловании приговоренного к смертной казни за участие в революции 1905 г. 60-летнего А. К. Кузнецова — основателя естественноисторических и этнографо-археологических музеев в Нерчинске и Чите, в течение многих лет занимавшегося исследованием Забайкальского края. Кузнецов был арестован вместе с другими революционерами и приговорен Верховным судом к смертной казни через повешение. Благодаря ходатайству казнь была заменена десятью годами каторжных работ.

⁷⁴ Там же, стр. 24.

В течение ряда лет Н. А. Умов был тесно связан еще с одной научной организацией — Обществом содействия успехам опытных наук и их практических применений им. Х. С. Леденцова. И здесь этот замечательный ученый оставил часть своей души. Умов стоял у колыбели этого Общества, ему принадлежали основные идеи о целях и месте этой организации среди множества других действовавших в то время научных обществ.

Еще в 1902 г. к Умову обратился миллионер Х. С. Леденцов. Обладая весьма крупным состоянием (почти 2 млн. рублей, как выяснилось после смерти миллионера в 1907 г.), Леденцов хотел оказать финансовую поддержку реализации различных открытий и изобретений, могущих стать полезными для человечества. Однако он не знал, каким способом осуществить свою заветную цель, и просил Умова помочь советом. Имеются данные, что Леденцов обращался с аналогичной просьбой к Н. В. Бугаеву, М. М. Ковалевскому, Л. Н. Толстому, К. А. Тимирязеву и И. И. Мечникову. Случилось так, что именно Умов нашел форму для реализации идеи Леденцова. Он выдвинул мысль о создании организации, в которой объединялись бы представители естественных наук, техники и общественных кругов и которой покровительствовали два старейших научно-учебных заведения — Московский университет и Московское техническое училище. Умов составил проект устава будущего Общества и через Х. С. Леденцова направил его директору Московского технического училища проф. С. А. Федорову. Последний также принял живое участие в осуществлении задуманных планов.

Общество начало функционировать в 1909 г. Его председателем стал С. А. Федоров, товарищем председателя, а с 1910 г. и редактором издававшегося обществом «Временника» — Н. А. Умов. Благодаря солидному капиталу и энергии его руководителей, в первую очередь Н. А. Умова, Общество в первые же годы своего существования развернуло широкую деятельность и сыграло немалую роль в деле развития естествознания и техники в дореволюционной России.

Как известно, Общество оказало широкую помощь ряду изобретателей и исследователей. В статье «Несколько слов о деятельности Общества имени Леденцова» Умов писал: «Общество оказывает непрерывное крупное содействие аэродинамическим лабораториям Московско-

го университета и Технического училища в их исследованиях летательных аппаратов и предлагаемых усовершенствований [...] Крупная помощь оказывается лабораториям, работающим в области электричества, агрономическим, химическим, исследующим важные для техники процессы, механическим по изучению и усовершенствованию двигателей, изысканиям новых источников сил в природе и т. д.»⁷⁵

По инициативе Умова и Федорова, Общество субсидировало на первых порах деятельность лаборатории знаменитого физиолога И. П. Павлова. На отпущенные Обществом средства был выстроен специальный корпус с звуконепроницаемыми камерами, необходимыми для постановки исследований условных рефлексов у животных. Весной 1911 г. Общество оказало внушительную помощь П. Н. Лебедеву, который, покинув университет, оказался в особо тяжелых условиях — он был не один, вместе с ним университет покинули его многочисленные ученики.

Сам Лебедев, к тому времени ученый с мировым именем, конечно, мог устроить свою дальнейшую личную научную судьбу. Многие институты Запада были бы счастливы заполучить выдающегося исследователя. Так, директор физико-химической лаборатории Нобелевского института знаменитый Сванте Аррениус писал Лебедеву: «Естественно, что для Нобелевского института было бы большой честью, если бы Вы пожелали там устроиться работать [...] Вы, разумеется, получили бы совершенно свободное положение, как это соответствует Вашему рангу в науке»⁷⁶. Однако принятие этого предложения означало бы конец существованию школы Лебедева. И ученый обратился в Общество им. Х. С. Леденцова.

В протоколах заседаний Совета общества за 1911 г. записано: «Заслушано ходатайство проф. П. Н. Лебедева об оказании поддержки в продолжении как его личных научных работ, так и тех 20 человек, которые занимались под его руководством [...] Перерыв в его личных занятиях, последовавший по непредвиденным обстоятельствам, вообще не представляется непоправимым, так как ему открыты заграничные лаборатории, но чрезвычайно тягостно

⁷⁵ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 378.

⁷⁶ См. В. Д. Зернов. Очерк жизни и деятельности П. Н. Лебедева. — «Уч. зап. МГУ», 1940, вып. 52, стр. 147.

нарушение работы всего состава лаборатории, устранение коего и составляет главный мотив его ходатайства. В последовавшем в Совете обмене мнений было высказано пожелание сохранить в России выдающуюся научную силу, представляемую членом Лондонского королевского общества Петром Николаевичем Лебедевым, и обеспечить существование лаборатории как школы научных работников, которыми далеко не так богата Россия. В данном случае поддержка имеет особое значение, так как представляется возможным соединить те научные и творческие силы, которые составляют существо лаборатории и дают ей жизнь. Работы П. Н. Лебедева и его школы, кроме чисто научной ценности, имеют и серьезное практическое значение по своему отношению к задачам беспроволочной телеграфии и к телефонии. По этим мотивам Совет постановил ассигновать 12 000 руб. на оборудование лаборатории и до 3000 руб. — на наем для нее помещения»⁷⁷. На эти средства был создан знаменитый «лебедевский подвал» в Мертвом переулке, в котором Лебедев и его ученики смогли продолжить свои исследования. По воспоминанию академика Лазарева, и после смерти Лебедева (1912 г.) Общество поддерживало работы его учеников, «причем начавшаяся война дала возможность Обществу развить широкую работу по медицинской рентгенологии, для чего Общество, по инициативе Федорова и Умова, ассигновало в мое распоряжение средства, позволившие не только создать ряд образцовых рентгеновских кабинетов для исследования раненных на войне, но и выполнить некоторые текущие, необходимые для развития рентгенологии работы научного и научно-технического характера»⁷⁸.

С целью оказать содействие изобретателям при Обществе создается библиотека с первым в России патентным отделом. «Прежде всего,— отмечал Умов,— было положено начало ее патентному отделу как русскому, так и иностранному, ввиду того, что в России нет такого учреждения, а между тем по характеру деятельности Общества патентный отдел при библиотеке, организованный на самых широких началах, должен явиться едва ли не са-

⁷⁷ См. *Н. А. Умов. Собр. соч.*, т. 3, стр. 634.

⁷⁸ *П. П. Лазарев. Николай Алексеевич Умов*, стр. 25.

мым важным. За границей существуют для этой цели специальные учреждения»⁷⁹.

Общество им. Х. С. Леденцова приобрело биологическую станцию около Карадага (Крым), принадлежавшую приват-доценту Московского университета Т. И. Вяземскому; вместе с научной станцией к Обществу перешла состоящая при ней обширная библиотека. Карадагская станция сыграла большую роль в биологических исследованиях, а также в исследованиях геологического характера. После Октябрьской революции станция отошла в ведение Общества испытателей природы.

Одним из аспектов деятельности Общества им. Х. С. Леденцова стала поддержка талантливых самоучек, вышедших из народа и не имеющих специального образования. Умов относил к ним «катеорию полезных лиц, обладающих ценными техническими умениями, способностями и желанием совершенствовать свое ремесло, при отсутствии знания и понимания элементарных научных истин, необходимых для того, чтобы сознательно выполнять идейную сторону своей профессии и совершенствовать свои изделия в этом направлении. В целях нашего Общества лежит, бесспорно, и содействие наиболее полезному использованию талантов русских самоучек, так как по всему складу нашей жизни среди таких личностей встречается и немало незаурядных талантов»⁸⁰. Очевидно, при этом Умов в первую очередь имел в виду замечательного русского самородка И. Ф. Усагина, выходца из народа, ближайшего своего помощника во многих начинаниях и делах.

К сожалению, многие талантливые самоучки вследствие отсутствия систематических знаний часто направляли свои усилия на осуществление заведомо невозможных замыслов, в частности на изобретение «вечных двигателей». Поэтому важным фактом явилось появление в одном из первых номеров «Временника» статьи «Машины вечного движения. Наиболее интересные идеи бесплодных изобретений этого рода». Инициатором ее написания и автором предисловия был Умов.

Кроме того, Умов выдвинул идею создания общедоступных народных физических лабораторий, в которых

⁷⁹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 379.

⁸⁰ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 231, л. 99.

посетители могли бы сами воспроизводить те или иные явления природы и знакомиться с их законами. «Для всех подобных личностей устройство доступных народных лабораторий физических наук является настоятельной необходимостью и делом, вполне согласным с задачами нашего Общества и осуществимым в его собственном помещении», — писал Умов в отзыве на одну из работ, поступивших в Совет Общества.

Он подчеркивал, что «Совет [...] счел нужным в случаях неудачных заявлений отделять отрицательное отношение к изобретению от отношения к самому изобретателю. В целом ряде проектов, ложных в своем основании благодаря отсутствию знаний у их авторов, обнаруживаются самородный ум, далеко не заурядный талант, настойчивость и умелость в разработке задачи, хотя и неправильно поставленной. [...]

Такие таланты, подмеченные и перемещенные в условия, способствующие их правильному развитию, давали ряд тружеников, вносящих в качестве помощников значительную и оригинальную лепту в труд первостепенных деятелей науки и техники.

Содействуя им, Общество, несомненно, выполняет свою основную задачу»⁸¹.

В 1898 г. при Московском университете было основано Педагогическое общество. Умов стал одним из его учредителей, товарищем председателя Общества и председателем Отделения преподавателей физико-математических наук. Деятельное участие принял он и в организации и работе созданного Обществом в 1899 г. Съезда преподавателей естественных наук Московского учебного округа.

В 1906 г. Педагогическое общество было закрыто. Царские власти усмотрели в его деятельности «нежелательное влияние» на общественность. Правда, спустя шесть лет оно возродилось, но уже под именем «Московского общества изучения и распространения физических наук». Н. А. Умов был единодушно избран его почетным членом и председателем. Впоследствии Общество стало носить его имя.

В эти годы Умов активно участвовал в работе съездов естествоиспытателей и врачей, менделеевских съездов и съездов преподавателей естественных наук. При этом его

⁸¹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 382.

неизменно избирали в президиум, а иногда выбирали председателем того или иного съезда. На некоторых из них Умов выступал с речами. В основном он посвящал их общефилософским проблемам физики и естествознания. Вот некоторые названия его выступлений: «Вопросы познания в области физических наук» (1894 г., IX съезд русских естествоиспытателей и врачей); «Физико-механическая модель живой материи» (1901 г., XI съезд русских естествоиспытателей и врачей); «Характерные черты и задачи современной естественнонаучной мысли» (1911 г., II Менделеевский съезд); «Эволюция физических наук и ее идейное значение» (1913 г., I Всероссийский съезд преподавателей физики, химии и космографии).

Речи Умова, весьма глубокие по содержанию, отличались еще красочностью и блеском изложения. По свидетельству очевидцев, выступления Умова собирали громадную аудиторию.

«Он приобретает здесь, — писал Г. Г. Де-Метц, — не только славу отличного физика, но и оратора, философа, популяризатора труднейших новейших ученых теорий в области физики, делавшей быстрые, головокружительные успехи [...]

Кто слушал его лебединую песню «Эволюция физических наук и ее идейное значение», тот изумлялся не столько эрудиции автора, сколько ширине его замысла, силе его синтеза, красоте фантазии и изяществу языка. Это была чудная симфония, которая то уносила слушателя в заоблачные края, то возвращала его к суровой действительности и заставляла искать закономерности в хаосе переживаемых нами событий и окружающих нас явлений»⁸².

«Эта речь, — писал О. Д. Хвольсон, — которую с великим вниманием слушала многочисленная аудитория, была последней из его речей, посвященных столь общим вопросам. В ней с особой силой и ясностью выразились глубокие мысли, всеохватывающий синтез, классическая форма изложения и обилие оригинальных и в то же время смелых мыслей [...]

В его речах, которые с наслаждением вновь и вновь перечитываешь, удивительно переплеталось ясное популярное изложение итогов научной работы с ее философ-

⁸² «Физическое обозрение», 1915, т. 16, № 3, стр. 134—135.

ской оценкой, дававшей ей новое, часто неожиданное освещение и открывавшей новые горизонты»⁸³.

По мнению писателя А. Белого, «статьи Умова, касающиеся вопросов общей физики, не уступают классическим, цитируемым речам мировых ученых — Томсона, Лоджа, Пуанкаре»⁸⁴.

Ряд блестящих речей Умов произнес по случаю некоторых юбилейных исторических дат. В качестве примера сошлемся на его речи: «Значение Декарта в истории физических наук» (1896 г., заседание Психологического общества); «Научная деятельность лорда Кельвина» (1896 г., годовое заседание Общества испытателей природы).

В 1905 г. по случаю 150-летия Московского университета Умов подготовил речь «Эволюция атома». Однако в связи с революционными событиями торжество не состоялось и ученому не пришлось выступить с этой речью. Нечто подобное произошло с Умовым еще в 1888 г. в Одессе. Тогда он подготовил для торжественного заседания в Новороссийском университете речь «Памяти Кларка Максвелла». Однако она так и осталась на бумаге: торжества были отменены в связи со студенческими волнениями.

Речи Умова вошли в третий том собрания его сочинений. Здесь же напечатаны популярные статьи и очерки ученого, опубликованные в разные годы («Значение опытных наук», «Мысли об естествознании», «Роль человека в познаваемом им мире», «Физические науки в служении человеку» и др.), статьи, посвященные проблемам университетского и технического образования, и др. Современный читатель найдет в них много ценного и поучительного, а высокохудожественная форма изложения, свойственная Умову, доставит ему истинное наслаждение. К сожалению, этот том сочинений Умова давно стал библиографической редкостью.

Говоря об общественно-научной деятельности Н. А. Умова, следует упомянуть о его участии в работе издательства «Научное слово». Являясь редактором издательства, он одновременно редактировал научно-популярный журнал, носящий такое же название. (Издателем журнала «Научное слово» был Г. К. Рахманов, приват-доцент Московского университета.) Несмотря на небольшой срок

⁸³ «Природа», 1915, январь, стр. 153.

⁸⁴ А. Белый. На рубеже двух столетий. М.—Л., 1930, ЗиФ, стр. 54.



*Группа членов редакции журнала «Научное слово» (1905 г.).
В центре сидит Н. А. Умов*

своего существования (с 1903 по 1906 г.), «Научное слово» сыграло важную роль в деле популяризации знаний, пропаганды материалистического мировоззрения. Умов сумел привлечь к участию в «Научном слове» выдающихся прогрессивных ученых: Мечникова, Сеченова, Тимирязева, историка Ключевского, физика Гольдгаммера и др. Так, Мечников опубликовал в журнале ряд статей, вошедших потом в его книги «Этюды оптимизма» и «Этюды о природе человека» (выпущенные также издательством «Научное слово»); И. М. Сеченов напечатал работу «Элементы мысли», К. А. Тимирязев — статью «Космическая роль растений» и т. д. Публикуя работы передовых русских ученых, Умов как редактор проявлял большую изобретательность, умело обходя многочисленные рогатки царской цензуры. По словам Рахманова, «не раз ему (Умову. — Д. Г.) приходилось бывать у цензора и отстаивать неприкосновенность рукописей».

В одном из писем Мечникову Умов писал: «Дорогой Илья Ильич! Получил IV главу Вашей книги⁸⁵. Глава III

⁸⁵ Речь идет о русском издании книги «Этюды о природе человека». — *Прим. ред.*

пропущена цензурой. Для обеспечения пропуска были сделаны некоторые изменения в тексте [...] Так, в заголовке вместо «происхождение человека от обезьяны» поставлено: «гипотеза о происхождении» и т. д., вместо «кровное родство человека и обезьяны» — «родство крови человека и обезьяны». Вместо того, что «происхождение человека указывается религиозным догматом», сказано «древними преданиями» [...] Я покорнейше просил бы Вас разрешить мне делать подобные изменения [...] Сообразно указанным изменениям Вы сами, вероятно, усмотрите, какие обороты речи следует употреблять в критических местах. Русская публика привыкла к эзоповскому языку»⁸⁶.

В ответном письме И. И. Мечников писал: «Дорогой Николай Алексеевич! Благодарю Вас за хлопоты, которые Вы имели по поводу печатания моей книги. Само собой разумеется, что и в следующей главе Вы внесете изменения, какие сочтете нужными...»⁸⁷

Книга Мечникова вышла в свет в 1905 г. с предисловием, написанным Н. А. Умовым.

В 1906 г. в результате финансовых затруднений журнал закрылся. Однако издательство «Научное слово» продолжало свою деятельность, полностью перейдя на издание отдельных книг. Так, в 1907 г. оно выпустило в свет книгу И. М. Сеченова «Автобиографические записки» с предисловием Н. А. Умова. В 1910 г. в издательстве вышел сборник «Памяти Дарвина», в который вошли статьи Умова, Мечникова, Павлова, Тимирязева и др.

Последние годы жизни

Среди многочисленных забот, связанных с педагогической и научно-общественной деятельностью, Н. А. Умов находил время и для научного творчества. Все эти годы он продолжал много работать в лаборатории, публиковал теоретические исследования. По его словам, «к концу 1910 г. в громадном Физическом институте Московского университета [...] кипела научная работа вовсю, не толь-

⁸⁶ «Борьба за науку в царской России», стр. 183.

⁸⁷ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 95, л. 11.



*Группа профессоров, в 1911 г. покинувших Московский университет. Сидят: В. П. Сербский, К. А. Тимирязев, Н. А. Умов, П. А. Минаков, А. А. Мануйлов, М. А. Мензбир, А. Б. Фохт, В. Д. Шервинский, В. К. Цераский, Е. Н. Трубецкой. Стоят: И. П. Алексинский, В. К. Рот, Н. Д. Зелинский, П. Н. Лебедев, А. А. Эйхенвальд, Г. Ф. Шершеневич, Н. М. Хвостов, А. С. Алексеев, Ф. А. Рейн, Д. М. Петрушевский, Б. К. Млодзевский, В. И. Вернадский, С. А. Чаплыгин, Н. В. Давыдов.
Снимок сделан весной 1911 г.*

ко днем, но захватывая иногда время до позднего вечера. Сердце радовалось»⁸⁸.

Так продолжалось до весны 1911 г., когда произошло событие, вошедшее в историю как «разгром Московского университета» царским министром Л. А. Кассо. В связи со студенческими волнениями в университет были введены отряды полиции. В знак протеста выборное руководство университета — ректор А. А. Мануйлов, помощник ректора М. А. Мензбир и проректор П. А. Минаков — подали в отставку. В ответ на это министр народного просвещения Кассо отстранил их от должности профессоров. Протестуя против реакционных действий Кассо, более ста передовых профессоров и преподавателей демонстративно покинули университет. Первым прекратил чтение лекций Н. А. Умов. Вместе с ним университет оставили П. Н. Лебедев, К. А. Тимирязев, В. И. Вернад-

⁸⁸ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 424.

ский, А. А. Эйхенвальд, Н. Д. Зелинский, С. А. Чаплыгин, В. К. Цераский и др.

Умов сложил с себя заведование физическим кабинетом и лабораторией, прекратил опыты с электрическими колебаниями в катушках, которыми в то время занимался, и переехал из университетской квартиры на частную.

События 1911 г. не сломили 65-летнего ученого. После ухода из университета наряду с теоретическими исследованиями Умов продолжал заниматься и экспериментальными работами (спектрополярископические исследования) в лаборатории красильных веществ профессора П. П. Петрова при Московском техническом училище. В мае 1913 г. П. П. Петров писал Умову: «Я и мои сотрудники по лаборатории красильных веществ — В. В. Шаврин, Н. И. Васинова — считали для нашей лаборатории за высокую честь Ваше в ней присутствие. Мы глубоко благодарны Вам, что Вы не отказались воспользоваться нашим предложением поработать в нашей лаборатории, несмотря на очень неблагоприятные условия.

Наше уважение к Вам как к ученому и наши симпатии к Вам как к внимательному, доброму и деликатному человеку делали для нас особенным удовольствием Ваши посещения нашей лаборатории. Мы от души желаем видеть Вас опять и готовы служить Вам по мере возможности»⁸⁹.

В 1912 г. Умов опубликовал последнюю из серии спектрополярископических работ. В том же году вышла в свет его вторая работа по теории относительности, а в 1913 г. — статья «Возможный смысл теории квант».

После ухода из университета Умов с еще большей энергией занялся делами в Обществе испытателей природы, Обществе им. Х. С. Леденцова, Обществе изучения и распространения физических наук.

Царское правительство и в последующие годы продолжало проводить политику изгнания передовой профессуры из стен высших учебных заведений, совершенно не считаясь с ущербом, наносимым отечественной науке и просвещению. Умова глубоко возмущала эта преступная политика правящих кругов. В письме к одному из видных университетских профессоров, вынужденному в 1914 г. покинуть университет, Умов с гневом и болью писал: «Вынужденная разлука Ваша с Университетом и лабора-

⁸⁹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 109, л. 2.

торией вызывает скорбь о судьбах русской высшей школы и о новом пресечении трудов выдающегося деятеля науки и развале созданного Вашими неустанными трудами кружка учеников.

Творится нечто совершенно невероятное. Отрицается ценность русской науки, потому что разрушаются условия непрерывности и охраны работы ученого, уничтожается русская научная самодеятельность, потому что ни во что ставится создание и существование научного направления, научной школы [...] Я утешаю себя мыслью, что непрерывное нарастание уже многочисленной группы лиц, служивших славе и преуспеянию духовной жизни нашей родины, изгнанных и ушедших из высшей школы, послужит к новому подъему волны симпатий к ним в русской общественности и даст им возможность с прежней честью служить русской науке»⁹⁰.

Разгром Московского университета обнажил истинное отношение царского режима к науке и просвещению, его стремление поставить их под полицейский надзор и опеку. В этих условиях передовые ученые России полностью осознали необходимость создания научных учреждений, свободных от опеки правительственных чиновников. Первым, кто публично высказал (в газ. «Русские ведомости») идею создания частных лабораторий и исследовательских учреждений для ученых, не желающих работать в обстановке полицейского гнета, был М. А. Мензбир. Его идею решительно поддержал Умов, выступив со статьей «Насущная потребность» («Русские ведомости», 1911 г.), где развивал мысль о создании «Вольной научной академии».

Весной 1912 г. состоялось открытие Общества московского научного института. Впоследствии на его основе был создан Московский научный институт. Умов принимал деятельное участие в разработке структуры Общества, института и его лабораторий. Сохранилось письмо к Умову И. П. Павлова, к которому, по-видимому, Умов обратился с предложением войти в число учредителей Общества:

«Глубокоуважаемый Николай Алексеевич!

С глубочайшей признательностью принимаю сделанное мне предложение, считая для себя огромной честью сто-

⁹⁰ Там же, оп. 1, д. 197, л. 38—39.

ять среди учредителей Общества, ставящего себе задачей применение на родной почве общепризнанного и могущественного средства для успешного развития научной работы.

Честь Москве, что в ней всегда находится достаточно примеров общественных инициативы и энергии для осуществления великих задач жизни. Только этими инициативой и энергией создаются сила и достоинство истинно активных и исторически важных наций.

Примите уверения в моем совершенном почтении и искренней преданности

И. Павлов»⁹¹.

На средства, собранные в фонд Общества, на Миусской площади в Москве для института было построено здание.

В январе 1917 г. он вступил в строй (ныне здесь размещается Ордена Ленина Институт прикладной математики АН СССР).

Между тем здоровье Умова резко сдало. Сказались возраст, неустанная работа, потрясения 1911 г., переживания, связанные с начавшейся войной. «В последний десяток лет своей жизни, — вспоминал А. И. Бачинский, — Н. А. Умов видимо дряхлел физически; он ясно видел это; он тяготился признаками надвигающейся старости и больно переживал их»⁹². С некоторого времени Умов стал чувствовать недомогания в области желудка. В сентябре 1914 г. боли усилились, врачи определили у него язву желудка. Спустя три месяца Умова не стало.

Его похоронили на Ваганьковском кладбище, невдалеке от могилы его старого друга И. М. Сеченова⁹³.

Смерть Н. А. Умова была воспринята научной общественностью России как великая утрата.

18 апреля 1915 г. в новой большой аудитории Политехнического музея состоялось чрезвычайное соединенное заседание московских научных обществ и учреждений, посвященное памяти Н. А. Умова. В нем приняли участие: Московское общество испытателей природы, Общество им. Х. С. Леденцова, Московское математическое

⁹¹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 102.

⁹² А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова, стр. 75.

⁹³ Позднее прах Сеченова был перенесен на Новодевичье кладбище.

общество, Московское общество любителей естествознания, антропологии и этнографии, Московское физическое общество им. П. Н. Лебедева, Общество Московского научного института и Общество изучения и распространения физических наук.

На заседании было оглашено большое количество телеграмм и соболезнований по поводу кончины старейшего русского физика, поступивших от университетов, институтов, научных обществ и отдельных лиц со всех концов России.

Выступившие на заседании деятели отечественной науки единодушно подчеркнули огромную роль Умова как ученого, педагога и общественного деятеля. Материалы заседания и тексты докладов позднее были опубликованы в протоколах «Бюллетеня Общества испытателей природы за 1915 г.» и в журнале «Временник».

Общество им. Х. С. Леденцова и Общество испытателей природы приняли решение об издании полного собрания трудов Н. А. Умова. Однако это мероприятие было трудно осуществить в условиях военного времени. В свет вышел только третий том (из предполагавшихся семи), в котором, как уже отмечалось, были собраны «речи и статьи общего содержания». Том редактировал и комментировал А. И. Бачинский.

Н. А. Умов прожил большую, насыщенную жизнь — она пришлась на эпоху бурных революционных событий как в естествознании, так и в жизни общества. В сознательную жизнь он вступил в момент, когда капитализм в России после реформы 1861 г. делал первые энергичные шаги, умер, когда русский капитализм, причудливо объединившийся с феодализмом, доживал свои последние дни.

«К сожалению, то время высоких умственных интересов и культурного расцвета, — писал Умов, — когда сын русской земли был вполне достоин стать гражданином свободной страны и с достоинством нести это звание, далеко за нами...»⁹⁴

Выдающийся ученый и гражданин Николай Алексеевич Умов не дождал до этого времени. Оно пришло в октябре 1917 г.

⁹⁴ Н. Умов. Предисловие к кн. «Автобиографические записки Ивана Михайловича Сеченова» (М., 1907, стр. VII).

Творческий путь

Физические науки не знают страха
перед мыслью.

Н. Умов

Магистерская диссертация Н. А. Умова — «Теория термомеханических явлений в твердых упругих телах»

Первыми теоретическими исследованиями, посвященными вопросу температурных напряжений в упругих телах, были известные работы Ж. Дюамеля (1838)¹ и Ф. Неймана (1841)². Дюамель во введении к своему исследованию подчеркивал, что Фурье в «Аналитической теории тепла» разработал вопрос о распределении температур в твердых телах, но не учел деформации, обусловленные изменениями температур.

Если бы элементы тела при увеличении температуры могли расширяться беспрепятственно, то в теле не возникали бы напряжения. Однако частицы тела обычно препятствуют взаимным изменениям объема, вследствие чего в теле возникают напряжения, которые естественно называть температурными напряжениями, в отличие от обычных напряжений, вызываемых в каждой точке тела приложенными извне силами.

Таким образом, в общем случае, когда тело испытывает действие внешних сил и температурное воздействие, возникающие в теле напряжения могут быть рассмотрены как

¹ *J. M. C. Duhamel. Mémoire sur le calcul des actions moléculaires développées par les changements de la température dans les corps solides. — Mém. Acad. sci. savants étrangers, 1838, v. 5, p. 440.*

² *F. Neumann. Die Gesetze der Doppelberechnung des Lichts in comprimierten oder ungleichförmig erwärmten unkristallischen Körpern. Berlin, 1841.*

результат наложения напряжений, вызываемых силами, и температурных напряжений.

Следуя методу Навье, т. е. рассматривая твердое тело как систему материальных точек, связанных центральными силами, Дюамель выводит дифференциальные уравнения равновесия, содержащие члены, учитывающие температурное расширение тела.

Ф. Нейман получает сходные уравнения, не пользуясь молекулярной гипотезой. Он полагает, что полная деформация, которую испытывает упругое тело под действием внешних сил и вследствие изменения температуры, представляет собой результат суперпозиции теплового расширения и деформации, обусловленной действием приложенных сил. В этом случае напряжения и деформации в упругом теле не удовлетворяют закону Гука и связаны между собой соотношениями вида;

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} = E^{-1} [p_{xx} - \sigma (p_{yy} + p_{zz})] + \alpha \tau, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = \mu^{-1} p_{xy} \text{ и т. д.},$$

где E — модуль упругости, σ — коэффициент Пуассона, α — коэффициент линейного расширения, μ — модуль сдвига, u , v , w — перемещения, τ — изменение температуры, p_{xx} , p_{xy} — упругие напряжения.

Решение этих уравнений относительно напряжений дает, вводя вместо величин E и σ их выражения через коэффициенты Ламе λ , μ :

$$E = \frac{\mu\beta}{\lambda + \mu}; \quad \sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)},$$

$$p_{xx} = \lambda\theta + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \alpha\beta\tau; \quad p_{xy} = \mu\varepsilon_{xy} \text{ и т. д.}, \quad (2)$$

где

$$\beta = (3\lambda + 2\mu)\alpha,$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \text{ — кубическое расширение.}$$

Подставив выражения (2) в уравнения равновесия (пренебрегая объемными силами):

$$\begin{aligned}\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} &= 0,\end{aligned}\tag{3}$$

мы получим уравнения, впоследствии названные уравнениями Дюамеля — Неймана:

$$\begin{aligned}(\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \Delta u - \alpha \beta \frac{\partial \tau}{\partial x} &= 0, \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \Delta v - \alpha \beta \frac{\partial \tau}{\partial y} &= 0, \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \mu \Delta w - \alpha \beta \frac{\partial \tau}{\partial z} &= 0.\end{aligned}\tag{4}$$

Здесь

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Из уравнений (4) и соответствующих поверхностных условий следует, что в общем случае смещения будут таковы, как если бы кроме объемных и поверхностных сил, действительно приложенных к телу, на него действовали дополнительные объемные силы $\left(-\alpha\beta \frac{\partial \tau}{\partial x}, -\alpha\beta \frac{\partial \tau}{\partial y}, -\alpha\beta \frac{\partial \tau}{\partial z}\right)$, а внешняя поверхность испытывала равномерное нормальное давление $\alpha\beta\tau$.

Таким образом, температурная задача сводится к обычной задаче теории упругости.

Полученные обобщенные уравнения (4) были применены их авторами к рассмотрению ряда частных примеров, относящихся к однородным, изотропным, главным образом симметрично нагретым телам.

«Построенная таким образом теория не была достаточно разработана», — указывал А. Ляв³. Тем не менее все по-

³ А. Ляв. Математическая теория упругости. М.— Л., ОНТИ, 1935, стр. 119.

следующие попытки рассмотрения проблемы термических напряжений обычно сводилась к применению уравнений Дюамеля — Неймана при решении различных частных задач.

Уравнения Дюамеля — Неймана содержатся в более общих уравнениях термоупругости, полученных Н. А. Умовым⁴. По-видимому, работы Дюамеля и Неймана остались Н. А. Умову неизвестными: он занимался проблемой термоупругих явлений независимо от этих исследователей.

В 1857 г. В. Томсон впервые применил законы термодинамики к изучению термоупругих свойств упругого твердого тела⁵. Этот ученый искал возможность определения напряжений и деформаций в упругом теле в случае изменения температуры исходя из первого и второго начал термодинамики. Однако его теория оказалась недостаточно развитой для решения задачи термоупругости. По словам А. Лява, «результаты Кельвина не позволяют образовать системы дифференциальных уравнений, которые могли бы служить для определения напряженного состояния в упругом теле так, как это можно сделать в случае постоянной температуры»⁶.

Умов в своей магистерской диссертации задался целью наметить пути решения проблемы термоупругих напряжений в наиболее общей постановке вопроса, когда рассматриваемое тело имеет неоднородное поле температур и на его поверхность действуют силы, имеющие не только нормальные, но и тангенциальные составляющие.

Для решения поставленной задачи он прибегнул к термодинамическому рассмотрению (Дюамель и Нейман этого не сделали, Томсон применил его лишь к телам, испытывающим равномерное нормальное давление). Кроме того, ученый использовал теорию теплопроводности (Томсон вообще ее не привлекал, Дюамель и Нейман привлекали явления теплопроводности лишь для получения отдельного уравнения, позволяющего определить изменение температуры τ , входящее в уравнения (4) в случае, если τ неизвестно).

⁴ См. стр. 83 данной книги.

⁵ W. T h o m s o n. On the thermo-elastic and thermo-magnetic properties of matters. — Quart. J. Math., 1857, v. 1, p. 56.

⁶ А. Ляв. Математическая теория упругости, стр. 118.

Умов так формулировал задачу своего исследования (в этой формулировке отчетливо проявляется характерный для него философский склад мышления):

«Разнообразие и сложность совершающихся явлений вынуждают разделение действующих причин на отдельные группы с целью специального изучения. Так начинается наука, но как скоро исчерпывается исследование обособленных явлений, представляется возможность с методами частных учений перейти к теории более общей. Только таким путем можно пополнить неизбежно остающиеся проблемы при специальном изучении [...]»

Теоретические представления, ставящие известную группу явлений особняком от остальной природы, без сомнения, могут искать в опыте только своего приблизительного подтверждения, потому что теоретически построенная схема опыта в этом случае не может предусмотреть всех действительно осуществляющихся явлений.

Нам кажется, что в настоящую минуту теоретическая разработка явлений упругости и теплопроводности подвинулась достаточно, чтобы набросать теорию, которая, исходя из начала сохранения энергии, подвела бы под одно общее учение явления теплопроводности и упругости в твердых телах.

Задача слишком обширна и так мало еще разработана, что в настоящем труде мы могли дать только самые общие очерки. В трудах Томсона, Клаузиуса и Цейнера встречаются приложения механической теории тепла к явлениям в твердых упругих телах. Но эти приложения ограничиваются частным случаем, когда твердое тело имеет одинаковую температуру во всех своих частях и все его частицы испытывают одинаковые нормальные давления. Эти теории, основанные на эмпирических формулах, кроме некоторых результатов, имеющих непосредственное приложение, дают только дифференциальные условия для функций, без знания которых вопросы остаются только намеченными.

Обобщение взглядов, лежавших в основе этих приложений, настолько, чтобы дать возможность построить учение, обнимающее собою разнообразие явлений упругости и теплопроводности, и составило нашу задачу»⁷.

Умов исходит из очевидного факта, что изменения в форме тела, т. е. в расположении частиц твердого упругого

⁷ Н. А. Умов. Избр. соч. М.—Л., Гостехиздат, 1950, стр. 74—75.

тела, могут быть вызваны либо механическими силами и давлениями, либо теплотой. Поэтому он принимает, что взаимодействие между материальными частицами тела состоит из двух частей.

Первая часть не связана с термическим состоянием частиц и представляет собой механическую силу, действующую по линиям, соединяющим частицы, и зависящую только от их взаимного расстояния. Эту силу можно назвать молекулярной силой.

Вторая часть зависит от термического состояния материальных частиц и может быть приписана действию «тепловых сил».

Если, следуя Коши, исходить из определения силы упругости, действующей на бесконечно малую площадку внутри тела, как равнодействующей взаимных сил всех частиц, лежащих по обе стороны площадки линии, действия которых пересекают эту площадку, можно с одинаковым правом говорить как о молекулярных, так и о тепловых силах упругости.

Таким образом, Умов приходит к понятию обобщенных сил упругости⁸, которые складываются из молекулярных и тепловых сил упругости. Если обозначить через p_{ij} и t_{ij} ($i, j = x, y, z$) соответственно молекулярные и тепловые силы упругости, через P_{ij} — обобщенные силы упругости, причем за положительные считать силы, стремящиеся разъединить частицы, то можно записать:

$$P_{ij} = t_{ij} - p_{ij}. \quad (5)$$

Известные теоремы Коши для упругих сил могут быть распространены на обобщенные силы упругости. Согласно одной из этих теорем, имеют место соотношения;

$$P_{ij} = P_{ji}$$

и отсюда, поскольку «молекулярные и тепловые силы представляют независимые группы сил»,

$$t_{ij} = t_{ji}; \quad p_{ij} = p_{ji}.$$

Далее решается обычная задача теории упругости — нахождение связи между силами упругости и деформа-

⁸ Умов не пользуется этим термином, мы заимствуем его из последующей литературы (Ф. Нейман, В. Фойхт).

циями, при этом под силами упругости понимаются обобщенные силы. Сначала отыскиваются математические выражения тепловых сил упругости. Умов принимает, что тепловая сила, действующая между частицами, зависит от расстояния между частицами r и их «температур» и может быть представлена в виде $m'm'' \varphi(r) \psi(t', t'')$.

Расчет тепловых напряжений как равнодействующих парных сил, действующих между частицами, находящимися по обе стороны данного плоского элемента, приводит к достаточно сложным выражениям, которые, однако, значительно упрощаются, если строение среды более или менее симметрично. В случае среды, симметричной относительно любого направления, т. е. изотропной, выражения тепловых сил приобретают следующий простой вид:

$$t_{xx} = \psi(t) (\lambda_1 + k_1 \theta + \kappa_1 \varepsilon_{xx}), \quad (6)$$

$$t_{xy} = \frac{\kappa_1 \cdot \psi(t)}{2} \cdot \varepsilon_{xy} \text{ и т. д.}$$

Здесь ε_{ij} — элементарные деформации, $\theta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$ — объемное расширение, λ_1, k_1, κ_1 — физические постоянные тела, $\psi(t)$ — некоторая функция температуры.

Выражения молекулярных сил упругости подобны равенствам (6), но не содержат функции температуры:

$$p_{xx} = \lambda + k\theta + \kappa \varepsilon_{xx}, \quad (7)$$

$$p_{xy} = \frac{\kappa}{2} \varepsilon_{xy} \text{ и т. д.}$$

Из формул (6) и (7) следует, что тепловые силы можно представить в виде

$$t_{ij} = \psi(t) p'_{ij}. \quad (i, j = x, y, z). \quad (8)$$

Штрих при p_{ij} означает, что постоянные коэффициенты в выражениях (6) и (7) неодинаковы.

Вид функции $\psi(t)$ можно определить из условий равновесия между внешним давлением P и силами упругости, действующими у поверхности тела P_{ij} ;

$$P \cos(Px) = (t_{xx} - p_{xx}) \cos(nx) + (t_{xy} - p_{xy}) \cos(ny) + \\ + (t_{xz} - p_{xz}) \cos(nz) \text{ и т. д.}$$

при учете выражений (6). Оказывается, $\psi(t)$ может быть представлена в форме

$$\psi(t) = N + N_1 t, \quad (9)$$

где N и N_1 — величины, зависящие от P и постоянных $\lambda, \lambda_1, k, k_1, \kappa, \kappa_1$ и весьма мало изменяющиеся с температурой. При этом N_1 одного порядка с коэффициентом линейного расширения α_t . Таким образом, можно говорить о линейной зависимости ψ от t .

Обобщенные силы упругости Умов вводит в уравнения равновесия упругого твердого тела:

$$\frac{\partial P_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial P_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial P_{xz}}{\partial z} + \rho X = 0 \text{ и т. д.} \quad (10)$$

Эти уравнения (в которых P_{ij} — обобщенные силы упругости, ρ — плотность, X — составляющая внешних сил) мы встречаем в последующей литературе под названием обобщенных уравнений равновесия упругого твердого тела.

Выражениям (10) можно придать различный вид. Так, учитывая равенства (5), их можно записать как

$$\frac{\partial t_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial t_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial t_{xz}}{\partial z} - \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} - \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} + \rho X = 0 \text{ и т. д.} \quad (10a)$$

Наконец, раскрывая величины t_{ij} и p_{ij} в соответствии с равенствами (6) и (7) и введя обозначение

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

Умов записывает выражения (10) в виде

$$\begin{aligned} \psi(t) \left[\left(k_1 + \frac{\kappa_1}{2} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{\kappa_1}{2} \Delta u \right] + N_1 \left[p'_{xx} \frac{\partial t}{\partial x} + p'_{xy} \frac{\partial t}{\partial y} + p'_{xz} \frac{\partial t}{\partial z} \right] - \\ - \left(k + \frac{\kappa}{2} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\kappa}{2} \Delta u + \rho X = 0 \text{ и т. д.} \quad (11) \end{aligned}$$

Уравнения (11) содержат связь между деформациями и напряжениями для рассматриваемого случая неравномерного поля температур в теле.

Нетрудно заметить, что эти уравнения являются более общими и содержат в себе уравнения Дюамеля — Неймана (3).

В самом деле, уравнения Умова (11) можно переписать следующим образом:

$$\left[\left(k_1 + \frac{\kappa_1}{2} \right) \psi(t) - \left(k + \frac{\kappa}{2} \right) \right] \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{\kappa_1 \psi(t) - \kappa}{2} \Delta u + \\ + N_1 \left[p'_{xx} \frac{\partial t}{\partial x} + p'_{xy} \frac{\partial t}{\partial y} + p'_{xz} \frac{\partial t}{\partial z} \right] + \rho X = 0 \text{ и т. д. (12)}$$

Эти уравнения подобны уравнениям Дюамеля — Неймана и отличаются от последних более сложной структурой коэффициентов в первых двух членах, обусловленной присутствием температурного члена $\psi(t)$ и наличием в третьем члене выражений, содержащих производные $\partial t/\partial y$ и $\partial t/\partial z$, тогда как в соответствующем уравнении Дюамеля — Неймана имеется лишь член с $\partial t/\partial x$.

Это отличие уравнений Умова от уравнений Дюамеля — Неймана в конечном счете — следствие различия выражений тепловых напряжений⁹, принятых Умовым, с одной стороны, и Дюамелем — Нейманом — с другой.

Формулы Дюамеля — Неймана — результат подстановки в уравнения равновесия выражений напряжений в виде (2). Температурный фактор содержат лишь выражения нормальных напряжений.

Уравнения Умова получаются в результате подстановки в уравнения равновесия выражений обобщенных напряжений, имеющих вид более общий, чем выражения, принятые Дюамелем и Нейманом. Величины этих обобщенных напряжений, согласно равенствам (6) и (7), имеют вид:

$$P_{xx} = t_{xx} - p_{xx} = \psi(t) [\lambda_1 + k_1 \theta + \kappa_1 \varepsilon_{xx}] + \\ + [\lambda + k \theta + \kappa \varepsilon_{xx}]; \quad (13) \\ P_{xy} = t_{xy} - p_{xy} = \frac{\kappa_1 \psi(t)}{2} \varepsilon_{xy} - \frac{\kappa}{2} \varepsilon_{xy}.$$

Таким образом, в работе Умова и тангенциальные напряжения содержат температурный фактор. Иначе говоря, если в уравнениях Дюамеля — Неймана тангенциальные тепловые напряжения отсутствуют, т. е. равняются нулю, то у Н. А. Умова они отличны от нуля и способствуют появлению в выражениях (12) членов, содержащих $\partial t/\partial y$ и $\partial t/\partial z$ и т. д.

⁹ Тепловые силы упругости соответствуют термическим, или тепловым, напряжениям, фигурирующим в современной литературе.

Далее Н. А. Умов переходит к термодинамическому описанию процессов, происходящих в элементе тела при поступлении к нему тепла от соседствующих элементов. Ученый получает «термическое уравнение» в различных записях, в зависимости от выбора независимых переменных, определяющих состояние элемента. Эти уравнения по существу — различные выражения первого закона термодинамики.

Количество теплоты, поступающее к элементу $\delta q dx dy dz$, расходуется на «приращение в элементе живой силы незаметного молекулярного движения», другими словами, — на повышение температуры элемента (эту часть энергии Умов обозначает через $\delta W dx dy dz$) и на механическую работу, совершаемую при расширении элемента против внешних сил и молекулярных сил притяжения, иначе говоря, — на работу «тепловых сил», равную $\sum_{i,j} t_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dx dy dz$. Таким образом, по сокращении на $dx dy dz$ имеем

$$\delta q = \delta W + \sum_{i,j} t_{ij} \delta \varepsilon_{ij} \quad (i, j = x, y, z). \quad (14)$$

Далее вводятся обозначения для работы молекулярных и тепловых сил при варьировании деформаций соответственно:

$$\delta J_m = \sum_{i,j} p_{ij} \delta \varepsilon_{ij}; \quad \psi(t) \delta J_t = \sum_{i,j} t_{ij} \delta \varepsilon_{ij}.$$

Величины J_m и J_t , как следует из выражений (6) и (7), имеют одинаковое строение и отличаются лишь постоянными коэффициентами. В частном случае, когда элемент испытывает со всех сторон равные и нормальные давления, эти величины принимают вид

$$J_m = \lambda \theta + \frac{3k + \kappa}{2 \cdot 9} \theta^2.$$

Тогда уравнение (14) можно выразить как

$$\delta q = \delta W + \psi(t) \delta J_t. \quad (14a)$$

В свою очередь величину δW можно представить в виде $c_p \delta t$ (величину c_p Умов называет «истинной теплоемкостью»

при постоянном объеме») и переписать термическое уравнение в форме

$$\delta q = c_v \delta t + \sum_{i,j} t_{ij} \delta \varepsilon_{ij} \quad (14b)$$

и

$$\delta q = c_v \delta t + \psi(t) \delta J_t. \quad (14c)$$

Величину c_v следовало именовать теплоемкостью не при постоянном объеме, а при постоянных деформациях (ибо именно при равных нулю вариациях деформаций $\delta q = \delta W$). Между тем, как было показано позднее В. Фойхтом, необходимо различать теплоемкость при постоянном объеме и теплоемкость при постоянных деформациях. Фойхт показал, что «у кристаллов мыслимы деформации, которые проходят без изменения объема и, однако, влияют на удельную теплоемкость»¹⁰.

Заметим, что, в отличие от обычной записи первого закона термодинамики, первый член в правой части уравнения (14) не представляет собой изменения внутренней энергии, но лишь часть его, идущую на увеличение «живой силы» частиц, т. е. температуры элемента. Точно так же второй член в правой части выражений (14) не совпадает с работой против внешних сил — тепловые силы частично работают против молекулярных сил притяжения.

Термическое уравнение (14), исходя из прямой записи первого закона термодинамики в применении к элементу тела, может иметь вид

$$\delta q = dU + \sum_{i,j} P_{ij} \delta \varepsilon_{ij} \quad (i, j = x, y, z), \quad (15)$$

где dU — изменение внутренней энергии, $\sum P_{ij} \delta \varepsilon_{ij}$ — работа против внешних давлений, действующих на поверхность элемента и равных обобщенным силам упругости P_{ij} с обратным знаком (при равновесных процессах).

Величина dU есть полный дифференциал и (при выборе в качестве независимых переменных t и ε_{ij}) может быть представлена следующим образом:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial t} dt + \sum_{i,j} \frac{\partial U}{\partial \varepsilon_{ij}} d\varepsilon_{ij}. \quad (16)$$

¹⁰ *W. Voigt. Über adiabatischen Elasticitätskonstanten—Ann., Phys., 1889, Bd. 36, S. 743.*

Тогда выражение (15) можно выразить как

$$\delta q = \frac{\partial U}{\partial t} \delta t + \sum_{i,j} \left(\frac{\partial U}{\partial \varepsilon_{ij}} + P_{ij} \right) \delta \varepsilon_{ij}, \quad (15a)$$

или

$$\delta q = c_v \delta t + \sum_{i,j} \left(\frac{\partial U}{\partial \varepsilon_{ij}} + P_{ij} \right) \delta \varepsilon_{ij}. \quad (15b)$$

Если температура остается неизменной, то изменение внутренней энергии dU связано лишь с работой против молекулярных сил, т. е.

$$dU = \sum_{i,j} \frac{\partial U}{\partial \varepsilon_{ij}} d\varepsilon_{ij} = \sum_{i,j} p_{ij} d\varepsilon_{ij}.$$

Отсюда следуют соотношения

$$p_{ij} = \frac{\partial U}{\partial \varepsilon_{ij}},$$

и уравнение (16) преобразуется в

$$dU = c_v dt + \sum_{i,j} p_{ij} d\varepsilon_{ij}. \quad (16a)$$

Подставляя величину (16a) в выражение (15) и учитывая равенство (5), получаем

$$\delta q = c_v \delta t + \sum_{i,j} t_{ij} \delta \varepsilon_{ij},$$

т. е. уравнение (14b). Выражение (16a) для dU позволяет сделать следующее важное заключение относительно величины c_v : поскольку dU — полный дифференциал, то имеют место соотношения

$$\frac{\partial c_v}{\partial \varepsilon_{ij}} = \frac{\partial p_{ij}}{\partial t}.$$

Так как молекулярные силы упругости p_{ij} не зависят от температуры t , то производные справа обращаются в нуль. Следовательно, по мысли Умова, величина c_v , т. е. «теплоемкость при постоянном объеме, не зависит от удлинений и скольжения, а может быть только функцией температуры».

К этому выводу позднее, правда другим путем, пришел В. Фойхт ¹¹. Он же подтвердил его экспериментально ¹². Учитывая этот результат, Умов вывел из термического уравнения (14с) важное следствие.

Правая часть уравнения не есть точный дифференциал. Разделив обе части уравнения (14с) на функцию $\psi(t) = N + N_1 t$, получаем

$$\frac{\delta q}{\psi(t)} = \frac{c_v t}{\psi(t)} + \delta J_t. \quad (17)$$

Выше доказывалось, что c_v зависит только от температуры. Следовательно, правая часть выражения (17)—точный дифференциал. Таким образом, функция $\psi(t)$, также зависящая только от температуры,—интегрирующий делитель термического уравнения (14с), представляющего первый закон термодинамики.

«В существовании подобного делителя,—пишет Умов,—и заключается, как известно, второй закон механической теории тепла. В нашей теории он является не более как следствием основных предположений и для своего вывода не требует никаких новых допущений» ¹³.

При этом интегрирующий делитель для δq , существование которого утверждает второй закон термодинамики, есть не что иное, как температура в абсолютной шкале Кельвина. Эта последняя связана с температурой Цельсия соотношением $T = a + t$, где $a = 273$.

Функция Умова $\psi(t)$ может быть представлена в виде

$$\psi(t) = N_1 \left(\frac{N}{N_1} + t \right).$$

Если положить, что

$$\frac{N}{N_1} + t = T, \quad (18)$$

то «это выражение,—по мнению Умова,—представило бы также абсолютную температуру, ибо тепловые силы перестали бы существовать при $t = -N/N_1$. Кроме того,

¹¹ *W. Voigt. Über adiabatischen Elasticitätskonstanten.*—Ann. Phys., 1889, Bd. 49, S. 743.

¹² *W. Voigt. Bestimmung der Elasticitätskonstanten für des chloresauere Natron.*—Ann. Phys., 1893, Bd. 49, S. 709.

¹³ *H. A. Умов. Избр. соч., стр. 124.*

мы могли бы положить $N/N_1 = 273$. Однако мы не настаиваем на этих результатах, так как мы изучаем такие процессы, при которых физическое состояние тела не изменяется. К решительным результатам могло бы привести исследование процессов, в которых одновременно участвовали бы упругие твердые и газообразные тела, процессов, к которым можно было бы приложить указанное выше основание второго закона механической теории тела»¹⁴.

Из выражений (5), (6) и (7) с учетом обозначения (18) можно получить

$$t_{ij} = T \frac{\partial P_{ij}}{\partial T}.$$

Подставив эти выражения в (14b), имеем

$$\delta q = c_v \delta T + T \sum_{i,j} \frac{\partial F_{ij}}{\partial T} \delta \varepsilon_{ij}. \quad (19)$$

Аналогичное выражение для случая $\delta T = 0$ было получено Томсоном (1878), а также Шиллером (1879)¹⁵.

Термическое уравнение может принимать различный вид в зависимости от выбора независимых переменных, определяющих состояние элемента тела. Так, избрав в качестве таких переменных температуру и деформации, Умов получил уравнения в виде (14).

Если в качестве независимых переменных избрать величины t и P_{ij} , основное уравнение (14c) может быть приведено к виду

$$\delta q = \left[c_v + \psi(t) \frac{\partial J_t}{\partial t} \right] \delta t + \psi(t) \sum_{i,j} \frac{\partial J_t}{\partial P_{ij}} \delta P_{ij}. \quad (20)$$

Если величины P_{ij} остаются неизменными, то $\delta P_{ij} = 0$ и

$$\delta q = \left[c_v + \psi(t) \frac{\partial J_t}{\partial t} \right] \delta t.$$

Величину, стоящую в скобках,

$$c_p = c_v + \psi(t) \frac{\partial J_t}{\partial t}, \quad (21)$$

¹⁴ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 125.

¹⁵ См. стр. 99 данной книги.

Умов определяет как «теплоемкость при данных постоянных силах, действующих на поверхность элемента», и указывает, что «она представляет величину с более общим значением, чем теплоемкость при постоянном давлении». Позднее аналогичное понятие было введено В. Фойхтом.

Уравнение (20) можно выразить также следующим образом:

$$\delta q = c_p \delta T - T \sum_{i,j} \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T} \delta P_{ij}; \quad (22)$$

если же обозначить коэффициенты при вариациях переменных, не расшифровывая их, через H_{ij} , то оно примет вид

$$\delta q = c_p \delta T + \sum_{i,j} H_{ij} \delta P_{ij}. \quad (23)$$

Приняв за независимые переменные величины θ (кубическое расширение) и силы P_{ij} и обозначив коэффициенты при вариациях переменных через L_θ и L_{ij} , можно представить термическое уравнение в форме

$$\delta q = L_\theta \delta \theta + \sum_{i,j} L_{ij} \delta P_{ij}. \quad (24)$$

Умов находит соотношения между коэффициентами при переменных в уравнениях (23) и (24):

$$\frac{\partial c_p}{\partial P_{ij}} - \frac{\partial H_{ij}}{\partial T} = \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T}, \quad \frac{\partial L_\theta}{\partial P_{ij}} - \frac{\partial L_{ij}}{\partial \theta} = \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial \theta}. \quad (25)$$

Общая теория, развитая в работах Умова, включала (как частные случаи) некоторые результаты, полученные до него, например в работах Клаузиуса и Томсона. На это неоднократно указывает и сам Умов: «Преобразовывая различным образом основное термическое уравнение, мы приходим к результатам, представляющим обобщение найденных Клаузиусом и Томсоном».

Именно работы этих ученых Умов имеет в виду, делая следующее заключение: «До сих пор исследования механической теории тепла касались таких процессов в телах, при которых температура оставалась одинаковой во всех частях тела и поверхность его испытывала во всех своих частях равные нормальные давления».

Этот случай соответствует условиям:

$$P_{xx} = P_{yy} = P_{zz} = P,$$

$$P_{xy} = P_{yz} = P_{zx} = 0.$$

«Мы введем,— пишет Умов,— эти условия в неопределенное термическое уравнение для элемента тела и получим те же самые соотношения между коэффициентами вариаций и виды термического уравнения, которые найдены до сего времени»¹⁶.

В частности, ученый показывает, что уравнения Томсона

$$\delta q = c_v \delta T + T \frac{\partial P}{\partial T} \delta \theta \quad \text{и} \quad (26)$$

$$\delta q = c_p \delta T - T \frac{\partial \theta}{\partial T} \delta P \quad (26a)$$

суть особые случаи уравнений Умова (19) и (22) для рассматриваемых условий.

Исходя из формулы (21), Умов получает соотношение между величинами c_p и c_v для данного частного случая:

$$c_p - c_v = T \frac{\left\{ 3\alpha - 3 \frac{\partial \beta}{\partial T} (P - P_0) \right\}^2}{3\beta},$$

где α — коэффициент линейного расширения, $\beta = -\frac{1}{3} \frac{\partial \theta}{\partial P}$, P_0 — начальное давление.

«Найденное нами соотношение между обеими теплоемкостями,— отмечает далее Умов,— представляет обобщение уже известного в механической теории тепла, в которой до сих пор в приложении к телам твердым принималось $\partial \beta / \partial T = 0$. Но мы получим то же самое выражение для начала процесса, когда разность $P - P_0$ бесконечно мала. Имеем в этом случае

$$c_p - c_v = \frac{T (3\alpha)^2}{3\beta} \quad \text{»} \quad (17)$$

Уравнение (26a) позволяет решить вопрос об изменении температуры с изменением давления при адиабати-

¹⁶ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 134.

¹⁷ Там же, стр. 187.

ческом процессе, например при столь быстром сжатии или растяжении, когда обмена тепла между частицами тела и между телом и окружающей средой не успеет произойти. Приняв $\delta q = 0$, находим

$$\frac{\partial T}{\partial P} = \frac{T}{c_p} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial T}.$$

Это выражение можно преобразовать в следующее:

$$\frac{\partial T}{\partial P} = \frac{T}{c_p} \left[3\alpha + \frac{\partial (3\beta)}{\partial T} (P - P_0) \right]. \quad (27)$$

Пока разность $P - P_0$ ниже известного предела, величина $\partial T/\partial P$ имеет одинаковый знак с коэффициентом кубического расширения 3α . Следовательно, если $3\alpha > 0$, т. е. тело от тепла расширяется, то и $\partial T/\partial P > 0$, т. е. с возрастанием давления растет и температура, и обратно.

«Вообще говоря, — замечает Умов, — существует предельная величина давления или растяжения, для которой выражение (181) [у нас (27). — Д. Г.] обращается в нуль, и при давлениях или растяжениях, больших или меньших предельной величины, изменения температуры будут обратны».

В заключительной части исследования Умов преобразует основное термическое уравнение, вводя в рассмотрение явление теплопроводности.

Если тепло δq подводится к элементу тела путем теплопроводности от смежных элементов, то его можно представить в форме

$$\delta q = q \delta \tau,$$

где $\delta \tau$ — элемент времени,

$$q = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \quad (28)$$

и q_x, q_y, q_z — суть тепловые токи в направлениях x, y, z . Для величин q_x, q_y, q_z Умов получает выражения, сходные по своей структуре с выражением термических сил. По мере увеличения степени симметрии тела эти выражения упрощаются и приходят в случае изотропной среды к виду

$$q_x = \varphi(t) \left[p''_{xx} \frac{\partial t}{\partial x} + p''_{xy} \frac{\partial t}{\partial y} + p''_{xz} \frac{\partial t}{\partial z} \right] \text{ и т. д.}, \quad (29)$$

где величины p_{ij}'' имеют вид молекулярных сил (7) с измененными индексами у коэффициентов. Например,

$$p_{xx}'' = \lambda_2 + (k_2 + \kappa_2) \frac{\partial u}{\partial x} + k_2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right),$$

$\varphi(t)$ — здесь некоторая функция температуры.

В теории теплопроводности зависимость теплопроводности от температуры опускается, причем «все же получаются результаты, близкие к истине». Умов «за неимением опытных данных» представляет $\varphi(t) = n + n_1 t$, где n — величина конечная, а n_1 — величина одного порядка с коэффициентом линейного расширения α .

Если при этом пренебречь произведениями $n_1 \varepsilon_{xx}$ и пр., то получаем

$$q_x = n \left(p_{xx}'' \frac{\partial t}{\partial x} + p_{xy}'' \frac{\partial t}{\partial y} + p_{xz}'' \frac{\partial t}{\partial z} \right) + n_1 \lambda_2 t \frac{\partial t}{\partial x} \text{ и т. д.}$$

В этих выражениях преобладают члены вида $n \lambda_2 \partial t / \partial x$, входящие в $n p_{xx}''$, и т. д. Все другие члены содержат удлинения, скольжения, либо величину n_1 . Полагая, что температура t состоит из двух частей: одной конечной — t и другой переменной — t' , порядка коэффициента линейного расширения α , Умов записывает окончательные выражения для тепловых токов:

$$q_x = n \lambda_2 \frac{\partial t}{\partial x} + n \lambda_2 \frac{\partial t'}{\partial x} + q'_x \text{ и т. д.}$$

Через q'_x он обозначает сумму членов порядка α .

Теперь термическое уравнение (22), учитывая выражение (28), можно записать в форме:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = c_p \frac{\partial t}{\partial \tau} - T \sum_{i,j} \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T} \frac{\partial P_{ij}}{\partial \tau} \quad (30)$$

либо

$$\begin{aligned} n \lambda_2 \Delta t + n \lambda \Delta t' + \frac{\partial q'_x}{\partial x} + \frac{\partial q'_y}{\partial y} + \frac{\partial q'_z}{\partial z} = \\ = c_p \frac{\partial t}{\partial \tau} + c_p \frac{\partial t'}{\partial \tau} - T \sum_{i,j} \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T} \frac{\partial P_{ij}}{\partial \tau}, \end{aligned} \quad (30a)$$

где

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Условимся, чтобы члены разных порядков, входящие в уравнение (30а), удовлетворяли ему независимо друг от друга. В результате получаем

$$n\lambda_2\Delta t = c_p \frac{\partial t}{\partial \tau},$$

$$n\lambda_2\Delta t' = c_p \frac{\partial t'}{\partial \tau} - T \sum_{i,j} \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T} \frac{\partial P_{ij}}{\partial \tau} - \frac{\partial q'_x}{\partial x} - \frac{\partial q'_y}{\partial y} - \frac{\partial q'_z}{\partial z}.$$

Первое из этих уравнений совпадает с обычным уравнением теплопроводности.

Если в качестве отправного брать уравнение (19), то, учитывая выражение (28), можно получить следующую формулу (Умов ее не приводит):

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} + T \sum_{i,j} \frac{\partial P_{ij}}{\partial T} \cdot \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial \tau}. \quad (31)$$

В дальнейшем уравнения типа (30) и (31) получили название улучшенных или обобщенных уравнений теплопроводности.

Уравнение (30) было впоследствии получено В. Фойхтом. Уравнение, подобное (31), но носящее менее общий характер, вывел Ф. Нейман (1895). Оба уравнения, правда в несколько видоизмененной записи, имеются в известном курсе кристаллофизики В. Фойхта (1910 г.).

Свое исследование Умов заканчивает выводом о том, что уравнения типа (30) совместно с термоупругими уравнениями «дают возможность определять приближенно термомеханические процессы в твердых упругих телах при различных условиях».

Таким образом, в своей магистерской диссертации Умов впервые объединил теорию упругости с термодинамикой и теорией теплопроводности. При этом он применил термодинамическое рассмотрение для изучения термоупругих свойств твердого тела с неравномерным полем температуры. Имевшие место до Умова попытки (Томсон, Клаузиус) были частного характера и относились к случаю, когда тело находилось во всех его точках при одной и той же температуре.

Умов первым ввел понятие тепловых (термических) сил или напряжений, которые содержат не только нормальные, но и тангенциальные компоненты, а также понятие обобщенных или полных термоупругих напряжений.

Ученый дал обобщенные уравнения равновесия (в обобщенных напряжениях) для упругих тел. В своей работе он получил термоупругие уравнения типа уравнений Дюамеля — Неймана в более общем виде.

Умов впервые ввел понятия удельных теплоемкостей при постоянных деформациях и при постоянных напряжениях. Вместе с тем он показал, что теплоемкость при постоянных деформациях зависит не от деформаций, а только от температуры. Ученый нашел связь между теплоемкостью при постоянных деформациях и теплоемкостью при постоянных напряжениях, имеющую более общий вид, чем известное соотношение между теплоемкостью при постоянном объеме и теплоемкостью при постоянном давлении.

Умовым были получены «термические уравнения», содержащие семь независимых переменных, т. е. в виде более общем, чем известные из предыдущих исследований.

Кроме того, он установил дифференциальные соотношения между величинами, входящими в термические уравнения, соответственно в формах более общих, чем были ранее известны.

Умов впервые получил обобщенное или улучшенное уравнение теплопроводности.

В работе был указан общий метод исследования термоупругих свойств твердого тела путем совместного решения системы термоупругих уравнений и улучшенного уравнения теплопроводности.

Работа «Теория термомеханических явлений в твердых упругих телах», как уже отмечалось, была представлена Н. А. Умовым в качестве магистерской диссертации. Ее публичная защита состоялась в Московском университете в декабре 1871 г. под председательством тогдашнего декана физико-математического факультета А. Ю. Давидова и прошла весьма успешно.

Развернутую оценку работы Умова дал Ф. Н. Шведов, в то время профессор экспериментальной физики Новороссийского университета. В своем отзыве Шведов, в частности, писал: «Не ограничиваясь исследованием частных случаев одинаковой температуры и одинаковых нормальных давлений и натяжений во всем теле, чем уже занимались Томсон, Клаузиус и Цейнер, г. Умов взглянул на вопрос с возможно общей точки зрения: когда температура неравномерно распространена во всем теле и последнее испыты-

вает различные давления и натяжения в разных частях. В этом случае вопрос особенно усложняется, так как вследствие теплопроводности температура различных точек тела изменяется вместе с временем, и г. Умову пришлось бы иметь дело разом с двумя теориями — упругости и теплопроводности, основанными на различных принципах, если бы он не пришел к счастливой мысли: связать эти теории одним общим принципом.

Для этого ему послужил известный принцип сохранения энергии. Как критерий основательности и общности исследований г. Умова может служить то обстоятельство, что из его уравнений вытекают как частные случаи: 2-й закон механической теории теплоты, уравнения равновесия твердых упругих тел и уравнение теплопроводности¹⁸.

Высоко оценил эту работу Умова и профессор А. С. Предводителев. «Магистерская диссертация Н. А. Умова, — писал он, — интересна не только с точки зрения чисто теоретического исследования; она имеет очень существенное значение и для целей практики. Научиться рассчитывать упругие напряжения, возникающие вследствие неоднородного поля температур в теле, — задача, которая является нерешенной, но практически чрезвычайно существенной и по сей день. Различные попытки, существующие в настоящее время, в основном базируются на уравнениях Дюамеля и имеют частный характер. Постановка задачи, сделанная Н. А. Умовым, интереснее и общее, поэтому она может дать новые ценные результаты для теории и для практики при условии, если только найдет последователя, способного основные идеи этой замечательной работы приблизить к потребностям и условиям настоящего времени»¹⁹.

По мнению Предводителева, в «работе, посвященной термомеханическим явлениям, Н. А. Умов впервые осмелился ввести в науку весьма плодотворное понятие — понятие тепловых напряжений.

Это позволило ему объединить теории упругости и теплопроводности, основанные на различных принципах, в одну теорию, покоящуюся на едином принципе — законе

¹⁸ См. А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова. М., 1916, стр. 40.

¹⁹ См. Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 533.

сохранения энергии. Указанное исследование столь богато содержанием, что может повести и современных ученых на путь новых изысканий»²⁰.

А. А. Померанцев следующим образом отозвался о работе Н. А. Умова: «В своей магистерской диссертации Умов дает обоснование теории термоупругости путем объединения теории упругости и механической теории тепла. Он рассматривает проблему с общей точки зрения, принимая распределения в телах температуры, давления и напряжений неравномерными. Ему пришла счастливая мысль объединить обе теории с помощью одного общего принципа — сохранения энергии — и вывести общие соотношения между упругими и вязкими напряжениями и деформациями и тепловым состоянием тел»²¹.

В предисловии к русскому изданию своей книги «Вопросы теории термоупругости» польский ученый В. Новацкий справедливо отмечает: «В развитии термоупругости сыграла и продолжает играть значительную роль советская наука. Широко известны работы корифеев термоупругости П. Ф. Панковича, Б. Г. Галеркина и Н. И. Мухелишвили. Большой вклад в эту область внес В. М. Майзель, создавший оригинальный метод интегрирования уравнений термоупругости. В Советском Союзе впервые были начаты исследования динамических задач термоупругости и теперь в широком масштабе развиваются работы по термопластичности. Замечается также развитие практически важных работ по исследованию температурных напряжений в машиностроении и строительстве. Вопросы термоупругости вызывают большой интерес исследователей»²².

В связи с этим уместно вспомнить, что около ста лет назад Николай Алексеевич Умов впервые в отечественной физике опубликовал фундаментальное исследование по вопросам теории термоупругости, по широте постановки проблемы и глубине ее разработки превосходящее все известные к тому времени аналогичные работы зарубежных ученых. Оно предвосхитило основное направление последующего развития теории, заключающееся в установлении

²⁰ См. Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 515.

²¹ А. А. Померанцев. Курс лекций по теории тепло-массообмена. М., «Высшая школа», 1965, стр. 73.

²² В. Новацкий. Вопросы теории термоупругости. М., Изд-во АН СССР, 1962, стр. 3.

связи теории упругости с теорией теплопроводности и термодинамикой твердого тела. Таким образом, у советских термоупругистов есть свой предшественник.

К сожалению, замечательная работа Умова оказалась забытой и не сыграла своей роли в развитии теории термоупругости. Во всей достаточно обширной литературе по термоупругости и термодинамике твердого упругого тела как отечественной, так и зарубежной имя Умова не упоминается. Краткое изложение содержания работы Н. А. Умова имеется лишь в диссертации В. И. Даниловской²³. По-видимому, это следует объяснить отчасти тем, что диссертация Умова была опубликована лишь на русском языке в виде отдельной брошюры.

Если судить по литературе, то одной из основоположных работ в области термодинамики упругого твердого тела считается статья Н. Н. Шиллера «Некоторые приложения механической теории тепла к изменению состояния упругого тела», опубликованная в 1879 г. Так, в обстоятельной монографии Н. Н. Лебедева «Температурные напряжения в теории упругости», опубликованной в 1937 г. и содержащей подробный обзор работ по этому вопросу, прямо утверждается, что «из русских ученых Шиллер первый применил законы термодинамики к исследованию состояния упругого тела». Умов же автором даже не упомянут.

Н. Н. Лебедев пишет: «Шиллер рассматривает вопросы, к теории упругости непосредственно не относящиеся. Мы упоминали об этой статье главным образом потому, что применяемый там метод, основанный на законах термодинамики, получил большое развитие и применение при рассмотрении вопросов теории упругости в работах Voigta...»²⁴

Как будет показано ниже, в работах названных исследователей во многом повторяются результаты Н. А. Умова и развиваются его идеи.

Однако вернемся к упомянутой выше работе Н. Н. Шиллера.

²³ В. И. Даниловская. Некоторые задачи о температурных напряжениях в теории упругости и пластичности (канд. дисс.). МГУ, НИИ механики, 1949.

²⁴ Н. Н. Лебедев. Температурные напряжения в теории упругости. М.— Л., ОНТИ, 1937, стр. 32.

По-видимому, Шиллер не знал работы Умова. Он не упоминает его имени, несмотря на то, что большая часть результатов Шиллера уже содержалась в работе Умова.

Шиллер, так же как и Умов, записывает уравнение первого закона термодинамики в применении к элементу упругого тела в форме (15). Приняв в качестве независимых переменных температуру и шесть компонент деформаций, он записывает выражение полного дифференциала внутренней энергии в виде (16) и приходит к уравнению Умова (15а).

Затем Шиллер получает уравнение:

$$dq = c_v dT + T \frac{\partial}{\partial T} \sum_{i,j} P_{ij} d\varepsilon_{ij} \quad (i, j = x, y, z),$$

совпадающее с уравнением Умова (19) (поскольку T и ε_{ij} — независимые переменные, то $\frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T} = 0$, откуда $\frac{\partial}{\partial T} \sum_{i,j} P_{ij} d\varepsilon_{ij} = \sum_{i,j} \frac{\partial P_{ij}}{\partial T} d\varepsilon_{ij}$). При этом Шиллер указывает, что данное уравнение для случая $dT = 0$ было получено Томсоном (1878) «из других соображений».

Для случая, когда в качестве независимых переменных избраны температура T и напряжения P_{ij} , Шиллер получает уравнение:

$$dq = c_p dT - T \frac{\partial}{\partial T} \sum_{i,j} \varepsilon_{ij} dP_{ij},$$

которое, как нетрудно видеть, не отличается от умовского уравнения (22), поскольку при данном выборе независимых переменных P_{ij} не зависит от T и, следовательно,

$$\frac{\partial}{\partial T} \sum_{i,j} \varepsilon_{ij} dP_{ij} = \sum_{i,j} \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T} dP_{ij}.$$

Далее Шиллер переходит к различным применениям общих соотношений. В частности, для случая изотропного тела, находящегося под равномерным и нормальным давлением P , он получает соотношения Умова (26) и (26а), полученные также Томсоном²⁵.

²⁵ Н. Н. Шиллер. Некоторые приложения механической теории тепла к изменению состояния упругого тела. — ЖРФХО, ч. физ., 1879, т. 11, стр. 55.

Дальнейшее развитие применение термодинамических методов к упругим телам получило в работах известного немецкого физика В. Фойхта. Этот ученый пользовался методом термодинамических потенциалов. Приняв в качестве одного из них функцию $\xi = \varepsilon - \eta\theta$ (ξ — свободная энергия, введенная Гельмгольцем, первый термодинамический потенциал, по терминологии Фойхта, ε — внутренняя энергия, η — энтропия, θ — абсолютная температура — в обозначениях Фойхта), он представляет его в виде ряда по степеням деформаций x_n . Рассматривая чисто термическую задачу, Фойхт ограничивается линейными членами разложения:

$$-\xi = Q_0 + \sum_n Q_n x_n \quad (n = 1, 2, \dots 6).$$

Пользуясь общими свойствами потенциала, в частности соотношением $X_n = -\frac{\partial \xi}{\partial x_n}$ (где X_n и x_n — соответственно обобщенные силы и обобщенные координаты), Фойхт приходит к понятию термических давлений (ими оказываются величины Q_n).

По словам Лебедева, «учитывая только первую степень в разложении, он (Фойхт. — Д. Г.) приходит к понятию термического давления, причем рассматривает не только нормальные компоненты термического давления, но и тангенциальные»²⁶. Мы уже отмечали, что Умов, в отличие от Дюамеля и Неймана, также рассматривал, кроме нормальных, и тангенциальные компоненты термических давлений.

Для решения задачи более общей (когда тело испытывает и температурные, и внешние силовые воздействия) Фойхт пользуется выражением термодинамического потенциала, включающего члены второго порядка:

$$-\xi = Q_0 + \sum_n Q_n x_n - \frac{1}{2} \sum_n \sum_k C_{nk} x_n x_k \quad (n, k = 1, 2, \dots 6)$$

и приходит к понятию обобщенных сил давления (allgemeine Druckkomponenten):

$$\bar{X}_n = -\frac{\partial \xi}{\partial x_n} = Q_n + X_n$$

²⁶ Н. Н. Лебедев. Температурные напряжения в теории упругости, стр. 32.

[см. формулу (5) Умова]. Здесь Q_n — термические давления, $X_n = \sum C_{nk} x_k$ — обычные упругие давления, или напряжения. Вводя обобщенные силы в уравнения равновесия, ученый получает:

$$\rho X = \frac{\partial \bar{X}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{X}_y}{\partial y} + \frac{\partial \bar{X}_z}{\partial z} \text{ и т. д.} \quad (32)$$

или

$$\rho X - \left(\frac{\partial Q_1}{\partial x} + \frac{\partial Q_3}{\partial y} + \frac{\partial Q_5}{\partial z} \right) = \frac{\partial X_x}{\partial x} + \frac{\partial X_y}{\partial y} + \frac{\partial X_z}{\partial z} \text{ и т. д.}$$

[см. формулу (10а) Умова].

Фойхт, так же как и Умов, пользуется представлением о теплоемкости при постоянных деформациях и теплоемкости при постоянных давлениях. Он доказывает для этих величин теоремы: удельная теплоемкость при постоянных деформациях не зависит от деформаций; удельная теплоемкость при постоянных давлениях не зависит от рода и величины давления. Первая из этих теорем содержалась в работе Умова.

Немецкий ученый получает для количества тепла $d\omega$, поступающего к элементу тела, выражения:

$$d\omega = \gamma_x d\theta + \theta \sum q_k x_k, \quad (33)$$

$$d\omega = \gamma_X d\theta - \theta \sum a_k d\bar{X}_k. \quad (34)$$

Здесь γ_x и γ_X — теплоемкости при постоянных деформациях и постоянных давлениях. Нетрудно увидеть, что выражение (33) не отличается от уравнения (19) Умова. В самом деле, коэффициенты q_k у Фойхта равны $\frac{dQ_k}{d\theta}$. Но

умовская $\frac{\partial P_{ij}}{\partial T} = \frac{\partial t_{ij}}{\partial T} - \frac{\partial p_{ij}}{\partial T}$ равняется $\frac{dQ_k}{d\theta}$ Фойхта, поскольку молекулярные силы давления p_k не зависят от температуры. Уравнение (34), в свою очередь, совпадает с уравнением (22) Умова (коэффициенты a_k Фойхта равны $\frac{d\varepsilon_{ij}}{d\bar{X}_k}$ Умова).

Уравнения (33) и (34) послужили Фойхту основой для получения обобщенного или улучшенного уравнения теплопроводности (*korrigierte Wärmeleitungsgleichung*), которое ученый записывает в форме:

$$\frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + \frac{\partial \omega_z}{\partial z} = \gamma_x \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \theta \sum q_k \frac{\partial x_k}{\partial \tau} \quad (35)$$

и

$$\frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + \frac{\partial \omega_z}{\partial z} = \gamma_x \frac{\partial \theta}{\partial \tau} - \theta \Sigma a_k \frac{\partial \bar{X}_k}{\partial \tau}, \quad (36)$$

вполне аналогичных уравнениям Умова (30) и (31). Величины $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ и т. д. — суть компоненты теплового потока.

По словам Фойхта, полученные уравнения «показывают, какое влияние имеют изменения формы и напряжения в процессе теплопроводности [...] эти изменения сами определяются из общих уравнений термоупругости [...] Проблема в общем виде является весьма сложной»²⁷.

Излагая метод В. Фойхта, мы следовали его фундаментальной книге «Руководство по кристаллофизике». Однако некоторые из упоминавшихся результатов были получены им в 1889 г. и изложены в статье «Ueber adiabatischen Elasticitätskonstanten». Уже здесь Фойхт вводит понятие обобщенных или «полных термоупругих сил», понятия о теплоемкости при постоянных деформациях и теплоемкости при постоянных напряжениях. Ученый получает, исходя из выражения первого начала термодинамики, несколько иную форму уравнения (33):

$$dq = \rho c_x dT + T \Sigma \frac{\partial \bar{X}_n}{\partial T} dx_n. \quad (37)$$

Это уравнение прямо совпадает с уравнением (19) Умова. Кроме того, в этой работе приводится обобщенное уравнение теплопроводности, по существу совпадающее с (31):

$$- \rho c_x \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + \frac{\partial \omega_z}{\partial z} + T \Sigma \frac{\partial \bar{X}_n}{\partial T} \frac{\partial x_n}{\partial \tau}. \quad (38)$$

Отметим, что «улучшенное» уравнение теплопроводности было получено также Ф. Нейманом. Он считал, что для того, чтобы получить уравнение, позволяющее определить температуру (которая входит в уравнения термоупругости Дюамеля — Неймана), необходимо обычное уравнение теплопроводности Фурье подвергнуть существенному изменению. В результате Нейман получает:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{K}{\rho c_v} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - \frac{c_p - c_v}{c_v} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau}, \quad (39)$$

где θ — объемное расширение, α — один из тепловых коэффициентов.

²⁷ W. Voigt. Lehrbuch der Kristallphysik. Leipzig, 1910, S. 791.

Это уравнение ученый называет «verbesserte Form der Fourier'schen Differentialgleichung»²⁸.

Как Фойхт, так и Нейманн в качестве наиболее общего метода решений задач термоупругости считают совместное решение системы термоупругих уравнений и улучшенного уравнения теплопроводности. Аналогичный путь еще раньше предлагал Умов.

В 1939 г. советский физик А. А. Померанцев, пользуясь другим методом, получил выражение обобщенного уравнения теплопроводности в несколько ином виде, чем Умов, Нейманн и Фойхт:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div} (\lambda \operatorname{grad} T) - \Sigma \varepsilon_{ij} \frac{\partial X_{ij}}{\partial \tau} \quad (40)$$

где ε_{ij} — деформации, X_{ij} — термоупругие напряжения.

Необходимо заметить, что так называемое уравнение притока энергии, широко используемое в современной гидро- и газодинамике сжимаемой жидкости, представляет собой модификацию обобщенного уравнения теплопроводности Умова. Впервые, по-видимому, это уравнение было введено в гидромеханику выдающимся советским физиком-теоретиком А. А. Фридманом.

По мысли Фридмана, для решения задач, рассматриваемых в классической гидромеханике, достаточно четыре уравнения (по числу неизвестных функций времени и координат, подлежащих определению: трех слагаемых скорости по координатным осям и давления). Такими уравнениями являются три обычных уравнения движения и уравнение неразрывности. Они позволяют при заданных начальных и граничных условиях определять все четыре искомые функции. При исследовании движения в общем случае сжимаемой жидкости число независимых неизвестных возрастает до пяти: к трем слагающим скорости и давлению добавляется пятая неизвестная — плотность.

«Четырех условий классической гидродинамики, — пишет А. А. Фридман, — становится недостаточным для определения пяти неизвестных, и к этим четырем уравнениям приходится присоединить пятое, чтобы задача общей

²⁸ *F. Neumann. Vorlesungen über die Theorie der Elasticität der fester Körpern und des Lichtsäthers. Leipzig, 1885, S. 119.*

²⁹ *А. А. Померанцев. Термические напряжения в телах вращения произвольной формы. Изд-во МГУ, 1967, стр. 22.*

гидродинамики сжимаемой жидкости стала более или менее определенной. Это пятое уравнение получается с помощью первого закона термодинамики, т. е. закона сохранения энергии из рассмотрения притекающей к жидкости извне энергии (тепла)³⁰. Ученый выводит это уравнение:

$$\varepsilon = c_v \rho \frac{dT}{d\tau} - \frac{p}{\rho} \cdot \frac{dp}{d\tau}, \quad (41)$$

называя его уравнением притока энергии, или «уравнением притока тепла».

«В этом уравнении, — отмечает Фридман, — введен у нас новый динамический элемент — температура T ; связь его с давлением p и удельным объемом дается уравнением состояния

$$f(p\omega T) = 0.$$

Для совершенных газов им является уравнение Клапейрона

$$p = R\rho T.$$

Таким образом, уравнение притока энергии с уравнением состояния и уравнениями гидродинамики составляют всего шесть уравнений, достаточных для определения шести неизвестных

$$v_x, v_y, v_z, p, \rho, T^{31}.$$

Если приток тепла обусловлен теплопроводностью, то величина ε может быть представлена в виде

$$\varepsilon = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = k\Delta T,$$

где k — коэффициент внутренней теплопроводности.

В книге Н. Е. Кочина, И. А. Кибеля и Н. В. Розе «Теоретическая гидромеханика» дан вывод уравнения притока тепла для случая вязкой сжимаемой жидкости:

$$c_v \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \varepsilon + \operatorname{div} (k \operatorname{grad} T) + p_x \frac{\partial v}{\partial x} + p_y \frac{\partial v}{\partial y} + p_z \frac{\partial v}{\partial z}. \quad (42)$$

³⁰ А. А. Фридман. Опыт гидромеханики сжимаемой жидкости. М., ОНТИ, 1934, стр. 7.

³¹ Там же, стр. 60.

Здесь ε означает тепло, притекающее за единицу времени к единице объема за счет других причин (исключая теплопроводность). «Это, — пишут авторы, — обобщение на случай жидкости классического уравнения теплопроводности для твердого тела:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div} (a^2 \operatorname{grad} T),$$

где a^2 — так называемый коэффициент температурной проводимости»³².

Легко заметить, что уравнение притока тепла, если усматривать в теплопроводности основную причину притока тепла, а это в действительности так, представляет собой модификацию обобщенного уравнения теплопроводности для твердого тела, полученного впервые Н. А. Умовым, его распространение на случай жидкости.

Уравнение притока энергии, входя в систему уравнений, определяющих в общем случае движение жидкости, играет важную роль в современной гидродинамике — «в газовой динамике и в теории пограничного слоя»³³. По мнению А. С. Предводителя, «почти без особых дополнений основные положения этого исследования (магистерской диссертации Умова. — Д. Г.) могут быть перенесены в гидродинамику неизотермических течений. Проблема анализа неизотермических течений с точки зрения единого уравнения, включающего и явление теплопроводности, стоит еще на очереди»³⁴.

Работы по обоснованию «взаимодействий на расстояниях конечных» с позиций близкодействия

Н. А. Умов всегда был противником концепции дальнего действия, согласно которой взаимодействия между телами передаются мгновенно и не зависят от среды, разделяющей тела, т. е. могут передаваться через «пустоту». Он был глубоко убежден в возможности объяснения всех известных

³² Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе. Теоретическая гидромеханика, ч. 2. М., 1948, стр. 316.

³³ Там же, стр. 7.

³⁴ См. Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 515.

«взаимодействий на расстояниях конечных» с позиций близкодействия и видел в этом одну из важнейших задач физической науки. Решению этой задачи он посвящает ряд исследований, опубликованных в 1873—1874 гг.: «Теория простых сред и ее приложение к выводу основных законов электростатических и электродинамических взаимодействий»; «Теория взаимодействий на расстояниях конечных и ее приложение к выводу электростатических и электродинамических законов»; «Ein Theorem über die Wechselwirkungen in endlichen Entfernungen». Сюда же непосредственно примыкает его докторская диссертация — «Уравнения движения энергии в телах».

Следует учитывать, что в этот период теории дальнего действия продолжали господствовать в умах большинства ученых. Однако объем нашей книги не позволяет сколько-нибудь подробно остановиться на весьма показательной для истории науки борьбе взглядов, главным образом, в области электродинамики, с начала ее возникновения (20-е годы XIX в.) вплоть до 80-х годов. Поэтому мы самым беглым образом проследим некоторые этапы этой борьбы.

Возникновение концепции дальнего действия, согласно которой действие одного тела на другое передается мгновенно и без всякого участия материальной среды, разделяющей тела, обычно связывается с именем Ньютона и его теорией всемирного тяготения. Известно, что сам Ньютон оставил вопрос о происхождении сил тяготения открытым. «Причину (тяготения. — *Д. Г.*) я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю» — это знаменитое изречение ученого известно многим. Как бы то ни было, концепцию дальнего действия стали ассоциировать с именем великого Ньютона. Чисто описательный характер закона всемирного тяготения был забыт, в нем видели лишь законченное выражение действительных процессов взаимодействия.

Под влиянием грандиозных успехов небесной механики, полностью основанной на законе всемирного тяготения, под давлением колоссального авторитета Ньютона, идея мгновенного действия на расстоянии начала распространяться на другие разделы физики. Так, учение об электричестве и магнетизме стало развиваться по точному образу и подобию ньютоновского учения о тяготении. Толчком к этому послужило открытие Кулоном в конце XVIII в. в результате многочисленных опытов законов взаимодействия элект-

трических зарядов и магнитных полюсов, вполне аналогичных закону тяготения Ньютона.

После открытия Г. Х. Эрстедом в 1820 г. действия тока на магнитную стрелку П. С. Лаплас, Ж. Био и Ф. Савар формулировали закон взаимодействия между элементами тока и магнитным полюсом в духе непосредственного действия на расстоянии. Тем самым было положено начало формально-математической теории электродинамики, получившей дальнейшее развитие в трудах А. М. Ампера, Ф. Неймана, В. Вебера и др.

Ампер видел во взаимодействии токов основное физическое явление, обуславливающее все проявления электромагнетизма. Он писал: «Руководствуясь принципом ньютоновской философии, я свел явление, замеченное г. Эрстедом, как уже делалось в отношении всех явлений подобного рода, изученных нами в природе, к силам, действующим всегда по прямой, соединяющей две частицы, между которыми они проявляются»³⁵. Исходя из этих представлений, Амперу удалось установить фундаментальный закон взаимодействия элементов токов (1826 г.)

Примерно в эти же годы зарождаются иные представления об электрических и магнитных явлениях, в одиночестве развиваемые гениальным Фарадеем.

Категорически отвергая концепцию о непосредственном действии на расстоянии, он противопоставил ей идею о решающей роли в электрических и магнитных явлениях среды, окружающей наэлектризованные или намагниченные тела, а также токи. Фарадей считал, что каждое наэлектризованное тело, магнит или электрический ток порождают во всей среде характерные изменения («электротоническое» состояние) и все электрические и электромагнитные взаимодействия определяются процессами, происходящими в среде. Основываясь на своих воззрениях, Фарадей пришел к замечательным открытиям, в частности к открытию явления электромагнитной индукции (1831 г.).

Однако воззрения Фарадея оказались настолько новыми и необычными, настолько противоречили привычным представлениям, что не были приняты современниками. Более того, как отмечают многие исследователи, эти идеи

³⁵ А. М. Ампер. Электродинамика. М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 11.

встретили отпор со стороны большинства ученых, в особенности немецких физиков.

Фарадей остался одиноким. Теоретическое развитие электродинамики пошло по пути, намеченному Ампером и основывающемуся на допущении мгновенного дальнего действия. Работы в этой области связаны главным образом с именами Ф. Неймана и В. Вебера.

Ф. Нейману удалось сформулировать математическое выражение закона электромагнитной индукции (1845 г.). Вершиной электродинамики дальнего действия явилась теория В. Вебера. Вебер открыл элементарный закон взаимодействия, согласно которому силы, действующие между электрическими «массами», зависят не только от величины масс и расстояния, но и от их относительной скорости и относительного ускорения.

Из формулы Вебера легко получить законы Кулона и Ампера, а также закон электромагнитной индукции Неймана.

Неудивительно, что теория Вебера была воспринята как блестящий успех концепции дальнего действия. По образному выражению П. С. Кудрявцева, «теория Вебера, игнорирующая роль среды и допускающая мгновенное взаимодействие на расстоянии, господствовала безраздельно во всех учебниках физики и теоретических работах по электродинамике вплоть до семидесятых годов, представляя как бы бронированный щит, выставленный против фарадеевских идей»³⁶.

Положение мало изменилось с появлением в 60-х годах трудов Максвелла, в которых идеи Фарадея получили математическое оформление и дальнейшее развитие. Отметим, что знаменитый «Трактат» Максвелла, в котором была систематически изложена его теория электромагнитного поля, появился только в 1873 г. В силу того, что теория Максвелла базировалась на новых и необычных для того времени идеях и была изложена тяжелым и трудным для понимания языком, она не сразу получила всеобщее признание.

Так, Г. Гельмгольц в 1881 г. указал, что «до сих пор теория Максвелла получила лишь небольшое распростра-

³⁶ П. С. Кудрявцев. История физики, т. I. М., Учпедгиз, 1948, стр. 477.

нение между учеными»³⁷. Л. Пуанкаре, говоря о «Трактате» Максвелла, подчеркивал: «Произведение Максвелла крайне сложно, неудобочитаемо, и даже теперь его часто плохо понимают»³⁸.

По выражению Больцмана, теория Максвелла для подавляющего большинства физиков была «книгой за семью печатями». Еще в 1891 г. Больцман своим лекциям по теории Максвелла предпосылал эпитафию из «Фауста»: «Я должен пот тяжелый лить, чтобы научить вас тому, чего сам не понимаю»³⁹.

П. Н. Лебедев, посещавший в 1887—1888 гг. в Страсбургском университете лекции по оптике известного теоретика Эмиля Кона, вспоминал: «Весь курс его был построен на основе старой механической теории света, и только на одной из последних лекций он в качестве курьеза рассказал, что существует еще одна теория, именно: электромагнитная теория света Максвелла»⁴⁰.

«В основе теории Максвелла и развившегося из нее электромагнитного мировоззрения, — писал О. Д. Хвольсон в 1924 г., — лежит непонятная гипотеза, первый пример того духа, который характерен для новой физики и которого не было в физике старой»⁴¹.

Лишь отдельные выдающиеся умы, такие, как Больцман, Столетов, приветствовали появление новой теории и в течение многих лет вели борьбу за ее утверждение.

Первым по времени экспериментальным подтверждением теории Фарадея — Максвелла, которое заставило подавляющее большинство ученых оставить скептическое отношение к этим передовым взглядам, явились замечательные опыты Г. Герца. Герц в 1887 г. в лабораторных условиях получил электромагнитные волны и доказал, что они имеют конечную скорость распространения, равную скорости света.

³⁷ Г. Гельмгольц. Современное развитие взглядов Фарадея на электричество. — В кн.: «Популярные речи». СПб., 1896, стр. 115.

³⁸ Л. Пуанкаре. Эволюция современной физики. СПб., 1910, стр. 106.

³⁹ П. С. Кудрявцев. История физики, т. II. М., Учпедгиз, 1956, стр. 178.

⁴⁰ «Очерки по истории русской физики». М., Учпедгиз, 1949, стр. 147.

⁴¹ О. Д. Хвольсон. Характеристика развития физики за последние пятьдесят лет. М., ГИЗ, 1924, стр. 208.

Герц следующими словами охарактеризовал цель и результаты своих опытов: «Целью опытов была проверка основных гипотез теории Фарадея и Максвелла, результатом их явилось подтверждение гипотез этой теории»⁴².

Именно с опытами Герца большинство исследователей истории физики связывают перелом во взглядах на концепции дальнего действия и близкого действия. Так, М. Лауэ в «Истории физики» пишет: «Перелом (во взглядах на далеко- и близкое действие. — Д. Г.) наступил под влиянием идей Фарадея и Максвелла и произошел после открытия электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью света, в 1887 г. Генрихом Герцем»⁴³.

В 1892 г. В. Вин в одной из работ, посвященной вопросу локализации энергии, подчеркнул «После того, как в последнее время вера в непосредственное дальнее действие начала колебаться, не имеется принципиальных препятствий полагать, что энергия может только непрерывно распространяться от точки к точке»⁴⁴.

Г. Ми в статье, также трактующей вопросы локализации и движения энергии, опубликованной в 1898 г., писал: «В новейшее время главным образом благодаря максвелловской теории стал господствовать взгляд, что все явления природы могут быть объяснены с помощью близкого действия»⁴⁵.

А. Т. Григорьян и А. Н. Вяльцев, анализируя ситуацию, сложившуюся в физике 80-х годов, приходят к выводу: «Кажется, промежуток времени совершенно ничтожный: какие-нибудь 3—4 года. Но какая пропасть между ними! В конце 80-х годов еще господствовали теории дальнего действия, в начале 90-х годов царила уже только теория Максвелла. Все теории дальнего действия были сданы в архив»⁴⁶.

Было бы неверно утверждать, что до работ Умова никто не пытался объяснить электрических и магнитных

⁴² См. А. Т. Григорьян, А. Н. Вяльцев. Генрих Герц. М., «Наука», 1968, стр. 161.

⁴³ М. Laue. Geschichte der Physik. Bonn, 1947, S. 33.

⁴⁴ W. Wien. Ueber den Begriff der Localisierung der Energie. — Ann. phys. Chem., 1892, Bd. 45, S. 695 (курсив мой. — Д. Г.).

⁴⁵ G. Mie. Entwurf einer allgemeiner Theorie der Energieübertragung. Wien. Sitzungsber., 1898 (2a), Bd. 107, S. 1146 (курсив мой. — Д. Г.).

⁴⁶ А. Т. Григорьян, А. Н. Вяльцев. Генрих Герц, стр. 157.

взаимодействий с позиций близкодействия. Время от времени появлялись отдельные работы, авторы которых стремились объяснить силы, обнаруживаемые в электрических и магнитных явлениях, не непосредственно далекодействием, а постепенной передачей движения от элемента к элементу в некоторой среде, куда погружены взаимодействующие тела.

Эти попытки опирались на рассмотренные отдельными учеными (Кирхгоф, Гельмгольц) случаи аналогий между взаимодействиями в электрических магнитных явлениях, с одной стороны, и механическим взаимодействием между движущимися телами, погруженными в непрерывную жидкую среду, — с другой.

Из различных теорий, стремившихся объяснить электрические и магнитные взаимодействия с помощью посредствующей среды, укажем, например, на теорию Ганкеля. Этот ученый полагал, что наэлектризованные тела представляют собой некоторые вихревые образования в гипотетической среде, наполняющей пространство. Знак электричества определяется направлением вращательного движения в этих вихрях. Явления взаимодействия токов, индукции и т. д. объясняются разнообразными движениями в среде. Однако теория Ганкеля и ей аналогичные не оказали влияния на развитие физики.

Мы отнюдь не стремились доказать, что теории, включавшие представление о далекодействии, сыграли только отрицательную роль в развитии учения об электромагнетизме. Все начальное развитие электродинамики, со всеми его выдающимися достижениями шло в рамках идей далекодействия — это исторический факт. Однако таким же фактом является и то, что на определенном этапе развития физики теории далекодействия перестали играть прогрессивную роль (такова логика борьбы взглядов), стали тормозить развитие этой отрасли науки. Защитники этих теорий нередко долгое время отрицали новые опытные факты, не укладывающиеся в рамки далекодействия, как это было с замечательным открытием Фарадея о влиянии изолирующей среды на электрическую индукцию. Многолетняя упорная борьба сторонников далекодействия с воззрениями Фарадея — Максвелла безусловно тормозила развитие физики.

Н. А. Умов выступил с серией работ, посвященных обоснованию взаимодействий с позиций близкодействия в

пору почти безраздельного господства теорий дальнего действия. Правда, к этому моменту эти теории уже исчерпали свои позитивные возможности, но, продолжая владеть умами подавляющего большинства ученых, явились серьезным тормозом на пути развития науки вообще, в особенности на пути признания прогрессивной теории Фарадея — Максвелла.

Физик-материалист Умов был противником сведения задачи физической науки к чисто формальному описанию, провозглашенного в свое время Кирхгофом и позднее заимствованного Махом и Авенариусом.

Он писал: «В цепи умозаключений, которые должны привести нас от внешности, доступной нашим ощущениям, к ее скрытому механизму, Ньютон установил ряд звеньев, скрепленных между собою и с явлениями посредством ясно сформулированных математических соотношений. В этом заключается великое открытие Ньютона. Только нашей волей и, конечно, не на пользу знания может быть предопределена остановка мышления на одной из этих промежуточных стадий как принятой за первоисточник явления»⁴⁷.

Из этого высказывания отчетливо видно, что Умов видел беду не в том, чтобы пользоваться формально-математическим описанием явлений; он превосходно понимал правомерность этого метода на определенных этапах изучения природы. Беда, по Умову, начинается тогда, когда этот метод объявляется абсолютным; когда единственной задачей науки объявляется чистое описание, и, в особенности, когда это описание объявляется и объяснением; когда некоторые понятия и представления, которыми пользуются при описании, принимаются «за первоисточник явлений», объективируются, и объявляется их полное соответствие тому, что в действительности происходит в природе.

Умов с самого начала своей научной деятельности и до конца своих дней был воинствующим противником концепции дальнего действия. Он настойчиво проводил принцип близкого действия и в своих лекционных курсах, и в учебниках. Так, в одном из них он писал: «Положим, мы имеем дело с притяжением двух масс по закону Ньютона. Спрашивается, окружена ли масса A системой сил, из нее исхо-

⁴⁷ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 100.

дящих во всех направлениях и протяжениях, на B обнаруживаемых, как скоро оно попадает в эту систему сил? Или же сила A проявляется в том лишь месте, где появляется масса B ? В первом случае мы должны допустить существование среды, которая своими переменами обуславливает или поддерживает систему сил, причина которых лежит в A ; во втором случае мы должны принять, что A обладает способностью рассуждать и какими-то органами чувства, так как оно должно предварительно осведомляться, с какой стороны от нее находится тело B , на каком расстоянии и затем уже на него подействовать с определенной силой»⁴⁸.

Приведенное высказывание Умова непосредственно перекликается со следующими словами, принадлежащими А. Эйнштейну: «Нам, которые впитали идеи Фарадея, так сказать, с молоком матери, трудно оценить их величие и смелость. Благодаря своему безошибочному инстинкту Фарадей хорошо понимал, насколько искусственны все попытки сведения электромагнитных явлений к взаимодействию на расстоянии электрических частиц.

Каким образом каждое зерно в металлических опилках, разбросанных на листке бумаги, могло знать об электрических частицах, циркулирующих в ближайшем проводнике?»⁴⁹

Однако Умов не ограничивается декларированием отрицания дальнего действия только из философских соображений. Он прежде всего физик и поэтому ставит перед собой задачу обосновать «близкодействие» теоретически и показать, что *все известные виды взаимодействий на расстоянии* могут быть объяснены с позиций близкодействия. Этой целью, имеющей глубокое методологическое значение, был продиктован весь цикл работ Умова 1873—1874 гг., о котором мы говорили в начале этой главы.

В первых трех работах цикла Умов развивает следующие мысли.

Для объяснения взаимодействия тел на расстоянии вводится гипотеза об обязательном присутствии и решающей роли промежуточных сред, которые могут быть неощутимыми, ненаблюдаемыми.

⁴⁸ Там же.

⁴⁹ А. Эйнштейн. Физика и реальность. М., «Наука», 1965, стр. 69,

Любые взаимодействия между телами, любые проявления сил — результат определенных процессов, разыгрывающихся в промежуточной среде, и соответственно этому центр тяжести при исследовании взаимодействия переносится с самих взаимодействующих тел на среду, их окружающую. «Цель предлагаемого труда заключается в сведении явлений взаимодействия тел на конечных расстояниях на явления в среде, их окружающей», — пишет Умов в «Теории взаимодействий...»⁵⁰

В тесной связи с отказом от идеи дальнего действия находятся взгляды Умова на потенциальную энергию. Общепринятое в науке того времени представление о потенциальной энергии как о механическом эквиваленте работы, которую может произвести рассматриваемая система тел, когда она из данного состояния переходит в некоторое другое, произвольно принимаемое за «нормальное», т. е. по сути дела сводившее энергию к определенному математическому выражению, к некоторой математической функции (*Wirkungsfunktion* — по Кирхгофу), не могло удовлетворить Умова. Ученый считал энергию мерой «интенсивности реального явления».

«Идея принципа сохранения энергии, — писал Умов, — состоит в том, что в природе, если одно явление теряет интенсивность, должно соответственно возникнуть другое, интенсивность которого в той же мере растет. Если последнее не имеет места, то это будет равнозначно допущению возможности возникновения энергии из ничего, что не имеет физического смысла.

Сравним закон сохранения энергии с принципом сохранения живой силы. Последний выражает превращение кинетической энергии в потенциальную. Кинетическая энергия есть мера интенсивности реального явления — движения. Далее мы хотим видеть, какому реальному явлению будет соответствовать потенциальная энергия»⁵¹.

«На этот вопрос, — указывает Умов, — мы находим в науке лишь один ответ: потенциальная энергия представляет интенсивность реального явления — работы сил [. . .] Но идея работы неизбежно связана с идеей какого-либо изменения. О работе силы можно говорить лишь постольку,

⁵⁰ «Математический сборник», 1873, т. 6, вып. 4, стр. 361.

⁵¹ *N. Umov. Ein Theorem über die Wechselwirkungen in endlichen Entfernung.* — *Z. Math. Phys.*, 1874, Bd. 19, S. 113.

поскольку точка приложения этой силы находится в движении. Нет движения — нет и работы. Поэтому говорить о работе сил как о явлении, интенсивность которого измеряется потенциальной энергией, после того как вся живая сила исчезла и тело покоится, не имеет смысла, так как в момент покоя нельзя допустить существование того, что может существовать лишь во время движения»⁵².

Чтобы нагляднее представить условность обычного понятия потенциальной энергии, Умов рассматривает простой пример. Представим себе камень, подброшенный вверх. Скорость камня будет постепенно убывать и на определенной высоте обратится в нуль. «В какой форме и где существует энергия явного движения камня, им потерянная?» — спрашивал при этом Умов.

Показав несостоятельность общепринятого взгляда на потенциальную энергию, ученый приходит к выводу, что единственный ответ на поставленный вопрос, соответствующий «всем требованиям физического решения, состоит в допущении превращения живой силы взаимодействующих агентов в живую силу частиц промежуточной среды, которая обуславливает взаимодействие агентов на конечном расстоянии»⁵³.

Исходя из приведенных представлений и учитывая возможность перехода явной энергии тела на неявные, неподлежащие нашему наблюдению движения молекул и атомов, из которых состоит тело, Умов следующим образом формулирует закон сохранения энергии.

«1. Всякое изменение в величине живой силы обуславливается ее переходом с частиц одной среды на частицы других сред или же с одних форм движения на другие.

2. Определенное количество живой силы остается себе равным при всякой смене явлений; следовательно, количество живых сил природы неизменно»⁵⁴.

Потенциальная энергия системы тел есть не что иное, как кинетическая энергия промежуточной среды. Таким образом, именно промежуточная среда — резервуар, вместительница потенциальной энергии взаимодействия.

Ясно, что в этом случае, во-первых, не может быть места дальнодействию, во-вторых, здесь содержится идея локализации энергии в среде.

⁵² Ibidem.

⁵³ Ibidem.

⁵⁴ «Математический сборник», 1873, т. 6, вып. 4, стр. 366.

Идеи Умова о промежуточных средах и потенциальной энергии как энергии этих сред позднее развивает ряд крупных западноевропейских ученых (О. Лодж, Д. Д. Томсон, Г. Герц и др.). Так, Лодж в 1885 г. писал: «Сохранение энергии не имеет реального физического смысла, если потенциальная энергия рассматривается лишь как математическая абстракция или «силовая функция». По мнению ученого, потенциальную энергию в ее обычном понимании «трудно почувствовать; достаточно просто подсчитать ее по формуле, но не всегда просто и возможно представить ясный образ того, какой физический смысл в нее вкладывается»⁵⁵.

Далее он, так же как Умов, рассматривает пример с камнем и землей и приходит к выводу: «Энергией обладают не камень или земля, или оба вместе, но среда, которая окружает тела [...]

Обычный прием описания падения тяжести словами о том, что ее энергия постепенно трансформируется из потенциальной в кинетическую, но остается все время в камне, есть, строго говоря, абсурд. В действительности камень никогда не имел никакой потенциальной энергии. Эта энергия суть энергия гравитационной среды, и последняя передает ее камню все время, пока он падает»⁵⁶.

Неудовлетворенность широко распространенным пониманием потенциальной энергии мы встречаем у Хевисайда. «Потенциальной энергией, — писал он в 1893 г., — рассматриваемой только как выражение работы, которую могут сделать силы, зависящие от конфигурации, нельзя аргументировать [...]. Это немногим более, чем математическая идея, так как в ней едва ли есть какая-нибудь физика. Она ничего не объясняет»⁵⁷. Правда, по его мнению, вопрос о том, является ли потенциальная энергия в конце концов кинетической энергией, представляется открытым. Хевисайд считает, что лучше сказать так: «Потенциальная энергия есть энергия, которая не является кинетической».

Д. Д. Томсон полагал, что с «философской точки зрения» понятие о потенциальной энергии далеко не так нас

⁵⁵ O. Lodge. On the identity of energy in connection with Mr. Poynting's paper on the transfer of energy in electromagnetic field. — Phil. Mag., 1885, v. 19, p. 482.

⁵⁶ Ibidem.

⁵⁷ O. Heaviside. Elektromagnetic theory, v. I. London, 1893, p. 462.

удовлетворяет, как понятие о кинетической энергии, основания которой значительно отличаются от оснований потенциальной энергии»⁵⁸.

Г. Ми считал, что в «новейшее время проникает взгляд, что нельзя назвать никакой формы энергии, величина которой изменилась бы без того, чтобы не происходили действительные физические изменения в материи в широком смысле слова, что, таким образом, зависимость только от геометрических величин может быть кажущейся»⁵⁹. Эту мысль ученый высказал в 1898 г. Больше того, он подчеркивал, что подобный взгляд на энергию начал проникать в науку к концу XIX в. Однако Н. А. Умов отстаивал его еще в 1873 г.

Уже в 30-х годах XX в. О. Хвольсон писал: «Покончив с обзором видов энергии, мы заметим следующее: возможно, что потенциальной энергии в мире вовсе не существует, что энергия только и может быть энергией движения и что во всех случаях, когда нам кажется, что наличие энергии зависит только от определенного расположения тел, в действительности мы имеем дело с какою-либо особой формой движения, причем нам пока только неизвестно, что движется и какой характер движения»⁶⁰.

«Вряд ли мы теперь пойдем с легкостью по пути признания скрытых сред, — отмечал в 1948 г. Т. П. Кравец. — Но напомним, что скрытые массы дожили до 1891—1894 гг., когда они фигурируют в «Принципах механики Герца».

Самая же мысль Умова о сведении потенциальной энергии к кинетической заслуживает и ныне глубокого внимания»⁶¹.

Гипотеза о скрытых средах носила ярко выраженный материалистический характер и была призвана для объяснения на материалистической основе явлений взаимодействия.

Отбросим в представлении Умова о промежуточных средах неизбежную исторически обусловленную дань вре-

⁵⁸ Д. Д. Томсон. Взаимоотношения между материей и эфиром по новейшему исследованию в области электричества. СПб., изд. «Естествознание», 1910, стр. 14.

⁵⁹ G. Mie. Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung. — Wien. Sitzungsber., 1898 (2a), Bd. 107, S. 1113.

⁶⁰ О. Хвольсон. Курс физики, т. I. Л.—М., 1933, стр. 127.

⁶¹ Т. П. Кравец. Эволюция учения об энергии. — «Усп. физ. наук», 1948, т. 36, вып. 3, стр. 340.

мени — механическую окраску. Остается рациональная материалистическая идея о необходимости некоторого материального посредника между взаимодействующими телами, который служит передатчиком взаимодействий и в котором и разыгрываются физические процессы, составляющие суть взаимодействия.

Очевидна генетическая связь между представлениями Умова о скрытых средах и современными представлениями об электромагнитном и других физических полях ⁶².

Скрытые среды в современной физике уступили место полям. Они понимаются как некоторые особого рода материальные субстанции, виды материи, которые существуют наряду с другими, так сказать, обычными формами материи и которые нельзя считать чем-то вполне внешним по отношению к обычным материальным телам (зарядам, токам и т. д.), а скорее своеобразными непрерывными продолжениями последних.

Мы не будем рассматривать здесь конкретное физическое содержание «Теории простых сред...» и «Теории взаимодействий...», которое имеет в основном историческую ценность. Ограничимся лишь сделанным выше изложением основных идей, развиваемых Умовым в этих работах. Однако отметим, что, исходя из приведенных выше представлений и взяв за исходный пункт закон равенства действия и противодействия — «закон взаимности», Умову удалось получить выражение потенциала для взаимодействия элементов токов в форме, аналогичной соответствующему выражению Гельмгольца, а также закон взаимодействия движущихся электрических масс, вполне аналогичный элементарному закону Вебера. При этом Умов показал, что к его формулам неприменимы известные возражения Гельмгольца против формулы Вебера.

Выше отмечалось, что результаты, полученные Умовым в рассматриваемых работах, имеют в основном историческую значимость. Однако несомненно, что эти работы, выгодно отличавшиеся от многих других аналогичных попыток зарубежных ученых, носящих зачастую надуманный, искусственный характер, будучи опубликованными на иностранных языках, весомо вошли бы в поток научной

⁶² Это обстоятельство неоднократно подчеркивалось В. И. Кессенихом (см. «Вестник МГУ», 1949, № 5, стр. 71) и Д. Д. Иваненко в ряде докладов о научном творчестве Н. А. Умова.

литературы тех лет и сыграли бы немаловажную роль в утверждении идей «близкодействия».

В теории простых сред Умов уже вводит представление о «токах живых сил», о векторе «полного тока». Записав соотношение между полным током T и токами через элементы, перпендикулярные осям координат T_x , T_y , T_z ,

$$T^2 = T_x^2 + T_y^2 + T_z^2,$$

Умов отмечает: «Отсюда мы находим следующую теорему: зная величину полного тока и его направление, мы получаем ток в каком-нибудь направлении, отыскивая слагающую полного тока по этому направлению, *рассматривая его при этом как силу или как скорость*»⁶³.

В работе «Ein Theorem...» Умов развивает представление о взаимодействии двух агентов через некоторый третий. По мнению профессора Д. Д. Иваненко, эта идея в некотором смысле перекликается с идеей обменных взаимодействий, играющих важную роль в ядерной физике.

Учение о локализации и движении энергии

В начале 1874 г. Умов заканчивает и публикует свою замечательную работу «Уравнения движения энергии в телах», которая вместе с «Прибавлением» к ней представляется в качестве докторской диссертации в физико-математический факультет Московского университета. В том же году в немецком журнале «Zeitschrift für Mathematik und Physik» появилась статья Умова «Ableitung der Bewegungsgleichungen der Energie in continuirlichen Körpern».

В работах «Теория простых сред...» и «Теория взаимодействий...» Умов, как отмечалось, уже развивает мысль о локализации энергии взаимодействия или потенциальной энергии в среде, а также о потоке энергии и о векторе потока энергии. Однако Умов говорит в них по существу лишь об одной форме энергии — кинетической.

В «Уравнениях движения энергии...» Умов задается проблемой самого общего характера. «Задача настоящего труда, — пишет он, — заключается в установлении на общих

⁶³ Н. А. Умов. Теория простых сред... Одесса, 1873, стр. 20 (курсив мой. — Д. Г.).

началах учения о движении энергии в средах. Раскрытие общей связи между распределением и движением энергии в средах и перемещениями их частиц, независимо от частных форм движений, должно дать возможность из известных законов движения и распределения энергии в теле выводить заключения о роде движения его частиц [...] важно отыскать метод, который давал бы возможность перейти от определенных путем опыта законов движения энергии к дифференциальным уравнениям движения частиц тела, которое, по предположению, дает место наблюдаемому явлению»⁶⁴.

В этих словах четко сформулированы задачи и цели исследования.

В своей работе Умов говорит об общности своих выводов и их независимости от частных форм движений, иными словами, — об их общности для движения любых видов энергии в любых средах.

Ученый указывает на неразрывность движения энергии с движением материи (частиц), т. е. для него чуждо стремление оторвать энергию от материи, движение — от носителей движения — частиц материи. В качестве конечной задачи ставится отыскание метода, который позволил бы перейти от законов движения энергии, найденных с помощью опыта, к уравнениям движения частиц среды, которое обуславливает все наблюдаемые явления. Здесь Умов отказывается от каких-либо гипотез о физическом смысле потенциальной энергии, ограничиваясь общепринятым взглядом на потенциальную энергию как на работу, «которая может быть отдана этими частицами при возвращении их из данного положения в некоторое начальное, соответствующее устойчивому равновесию»⁶⁵.

Работа состоит из трех разделов: 1. Общее выражение закона сохранения энергии в элементе среды. 2. Уравнения движения энергии в различных телах. 3. Переход от законов движения энергии к «частичным» движениям, т. е. движениям частиц материи, обуславливающим явления.

Важнейшим является первый раздел, хотя он занимает всего пять страниц текста. Именно здесь Н. А. Умов вводит представление о локализации энергии в пространстве и о движении энергии, понятия скорости «движения»

⁶⁴ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 151—152.

⁶⁵ Там же, стр. 151.

энергии, потока энергии и т. д., получает математическое выражение закона сохранения энергии в форме уравнения непрерывности.

Во втором разделе, пользуясь этим общим уравнением и «уравнениями движения» материи, соответствующими конкретным формам переноса энергии, Умов получает уравнения, которые назвал «уравнениями движения энергии» для этих конкретных случаев. В частности, он исследует здесь законы движения энергии в твердых упругих телах и жидких средах.

Наконец в третьем разделе он формулирует метод, позволяющий решить интересную задачу: исходя из законов движения энергии, которые могут быть найдены из опыта, выявить характер движения материи, обуславливающего это «движение» энергии (по мысли Умова, всякий перенос, «движение» энергии — следствие движения материи). Здесь же он решает задачу определения «законов движения и распределения энергии в явлениях взаимодействия на расстояниях конечных».

Для того, чтобы получить выражение закона сохранения энергии, Умов рассматривает однородную среду — ограниченную либо неограниченную. «Если мы, — пишет он, — выделим мысленно элемент объема, изменение его энергии (т. е. суммы его живой силы и потенциальной энергии) по закону сохранения энергии может совершиться только на счет прибыли или убыли последней в смежных элементах. Математическое выражение связи приращения количества энергии в элементе объема с ее потерями в смежных элементах и будет математическим выражением элементарного закона сохранения энергии в средах»⁶⁶.

Умов, в сущности, по-новому формулирует закон сохранения энергии, дополняя его принципом близкодействия. В самом деле, закону сохранения энергии не противоречил бы такой, например, гипотетический механизм явления: в данном месте пространства величина энергии увеличилась, причем одновременно в каком-либо другом месте пространства количество энергии на ту же величину уменьшилось. Именно так можно было представить себе, например, процесс взаимодействия двух тел, стоя на позициях теорий «дальнодействия». С этой точки зрения, энергия может, так сказать, «перескочить» из одного места

⁶⁶ Там же, стр. 152.

пространства, в котором находится одно из взаимодействующих тел, в другое, где размещается второе взаимодействующее тело.

По представлениям Умова, энергия может проникать в данный элемент объема (либо уходить из него) из соседствующих с ним элементов объема, проникая через поверхность, ограничивающую рассматриваемый элемент подобно потоку жидкости.

Говоря об энергии, заключенной в каждом элементе объема, Умов тем самым вводит представление о локализации энергии. Энергия рассматривается как распределенная в пространстве, подобно материи. Для характеристики этого распределения в каждой точке пространства Умов вводит понятие «плотность энергии». «Количество энергии в элементе объема среды, отнесенное к единице объема, может быть названо плотностью энергии в данной точке среды»⁶⁷.

Далее вводится понятие скорости движения энергии в данной точке среды. В «Уравнениях движения энергии...» Умов пишет: «Назовем через l_x , l_y , l_z слагающие по прямоугольным осям координат x , y и z скорость, с которой энергия движется в рассматриваемой точке среды»⁶⁸, но не указывает, что следует понимать под этой скоростью движения энергии. Однако в статье «Ableitung...» он уже подробно останавливается на определении меры скорости движения энергии.

Чтобы получить выражение закона сохранения энергии для элемента среды, Умов пользуется аналогией между потоком энергии и потоком сжимаемой жидкости; первый подчиняется закону сохранения энергии, второй — закону сохранения вещества. Следуя методу, применяемому в гидродинамике для вывода уравнения непрерывности, Умов получает свое знаменитое уравнение закона сохранения энергии в форме уравнения непрерывности.

Представим бесконечно малый параллелепипед со сторонами $dx dy$, $dy dz$, $dz dx$. Количество энергии, заключенное в нем, можно выразить как $\mathcal{E} dx dy dz$, где \mathcal{E} — плотность энергии. Потоки энергии через противоположные стороны параллелепипеда, например сторону $dy dz$ и парал-

⁶⁷ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 153.

⁶⁸ Там же.

лельную ей, будут

$$\partial l_x dy dz, \left(\partial l_x + \frac{\partial \partial l_x}{\partial x} dx \right) dy dz \text{ и т. д.}$$

Сумма потоков энергии через все грани дает изменение количества энергии $\partial dx dy dz$, заключенного в элементе объема в единицу времени. Таким образом, Умов получает выражение элементарного закона сохранения энергии в виде

$$-\frac{\partial \partial}{\partial t} = \frac{\partial \partial l_x}{\partial x} + \frac{\partial \partial l_y}{\partial y} + \frac{\partial \partial l_z}{\partial z}, \quad (1)$$

или в современной записи

$$\frac{\partial \partial}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{q} = 0, \quad (2)$$

где $\vec{q} = \vec{\partial l}$ — вектор плотности потока энергии.

От дифференциальной формы уравнения (1) легко перейти к интегральной форме.

«Выражение (1), — отмечает Умов, — открывает связь между количеством энергии, отнесенным к единице времени, втекающим в среду через ее границы, и изменением количества энергии в среде. Мы находим (пользуясь теоремой Остроградского — Гаусса. — Д. Г.)

$$\iiint \frac{\partial \partial}{\partial t} dx dy dz + \iint \partial l_n d\sigma = 0, \quad (3)$$

где тройной интеграл распространяется на весь объем среды, $d\sigma$ представляет элемент ее границы и l_n есть скорость движения энергии по внешней нормали n к элементу границы, т. е.

$$l_n = l_x \cos(n, x) + l_y \cos(n, y) + l_z \cos(n, z) \text{ }^{69}.$$

В выражении (3) тройной интеграл, очевидно, представляет изменение количества энергии в среде, двойной — поток энергии через поверхность, ограничивающую среду.

Необходимо подчеркнуть, что уравнения (1) и, следовательно, (3) имеют самый общий характер и получены без каких-либо ограничений для любых сред и любого рода энергии. Умов, как мы уже говорили, и ставил своей

⁶⁹ Там же, стр. 154.

задачей получение таких общих выводов; имея в виду уравнения (1) и (3), он писал: «Эти уравнения, выведенные из общих принципов, будут далее применимы ко всем известным нам средам»⁷⁰.

Уравнение (3) удобнее выразить следующим образом:

$$\iiint \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} d\omega + \iint q_n d\sigma = 0, \quad (3')$$

где \vec{q} — вектор плотности потока энергии. Выражение (3') можно назвать «теоремой Умова» и сформулировать ее так: изменение энергии в некотором объеме за единицу времени равно полному потоку энергии, прошедшему через поверхность, ограничивающую этот объем. В этих словах — основная идея теории Н. А. Умова. Она нашла самое широкое применение в современной физике.

Заметим, что результаты, полученные Н. А. Умовым в первом разделе «Уравнений движения энергии...» — его уравнения (1) и (3) — известны многим ученым. Однако менее известно, что Умову принадлежит также вывод выражений компонент вектора плотности потока энергии для ряда конкретных случаев движения энергии (в твердых упругих телах, в жидкостях идеальных и с внутренним трением, сжимаемых и несжимаемых) и, наконец, общего выражения для потока энергии в случае движения энергии в промежуточных средах при взаимодействиях тел на расстоянии, описываемых с помощью потенциальной функции. Эти результаты были позднее, в 90-х годах, вторично получены в работах известных западноевропейских физиков В. Вина, Г. Ми, В. Вольтерра и др.

Умов сформулировал общий метод отыскания выражений для компонент вектора плотности потока энергии для конкретных сред. Он указал, что «дифференциальные законы движений частиц различных сред дают [...] возможность установить математическое выражение, представляющее закон сохранения энергии для всей среды»⁷¹.

Сравнение в каждом случае такого конкретного выражения закона сохранения энергии с общим уравнением (3) позволяет часть этого выражения отождествить с двойным интегралом в (3), т. е. с полным потоком энер-

⁷⁰ N. Umov. Ableitung der Bewegungsgleichungen der Energie in kontinuierlichen Körpern.— Z. Math. Phys., 1874, Bd. 19, S. 420.

⁷¹ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 154.

гии. Математически задача сводится к выделению в каждом конкретном выражении закона сохранения энергии двойного или поверхностного интеграла, который и отождествляется с двойным интегралом уравнения (3). Сравнение подынтегральных выражений немедленно дает искомые «уравнения движения энергии», т. е. выражения компонент вектора плотности потока энергии. Записав уравнения движения частиц непрерывной среды в общей форме:

$$\rho \frac{d^2 u}{dt^2} = \vec{X}, \quad \rho \frac{d^2 v}{dt^2} = \vec{Y}; \quad \rho \frac{d^2 w}{dt^2} = \vec{Z},$$

где ρ — плотность, u, v, w — компоненты смещения, X, Y, Z — силы, ученый пипет: «Умножая эти выражения на скорости частиц u', v', w' , на элемент объема $d\omega$ и интегрируя по всему объему, занимаемому средой, мы выделяем интеграцией по частям сумму членов, распространяющихся на поверхность среды. Эти члены будут иметь факторами скорости u', v', w' , и их сумма представляет не что иное, как ток энергии q_α через элемент поверхности»⁷².

Мы подробно остановились на этом вопросе, поскольку, как будет показано в дальнейшем, В. Вин и Г. Ми в своих более поздних исследованиях «движения» энергии в упругих телах и жидкостях, а также Пойнтинг и Хевисайд, впервые получившие выражение для вектора плотности потока энергии в электромагнитном поле, по существу следовали методу Н. А. Умова (для случая электромагнитного поля роль «уравнений движения среды» играют уравнения Максвелла).

К реализации своего метода Умов приступает во втором разделе «Уравнений движения энергии...»

Для упругих твердых тел уравнения движения — суть основные уравнения упругости. Следуя общему методу, Умов получает в этом случае выражения для компонент вектора плотности потока энергии:

$$\begin{aligned} -q_x &= p_{xx}u' + p_{xy}v' + p_{xz}w', \\ -q_y &= p_{xy}u' + p_{yy}v' + p_{zy}w', \\ -q_z &= p_{xz}u' + p_{yz}v' + p_{zz}w', \end{aligned} \quad (4)$$

или, в современной записи, $-\vec{q} = T_{ik} \vec{i}$, где T_{ik} — тензор упругих напряжений, i — вектор скорости упругих смещений.

⁷² Там же, стр. 216.

Уравнения (4) были позднее получены В. Вином⁷³.

Как следствие соотношений (4), Умов выводит для плотности потока энергии, проходящего через произвольно ориентированную площадку внутри упругого тела, выражение

$$\partial l_n = -P i_p \quad \text{или} \quad q_n = -P i_p, \quad (4a)$$

где l_n — составляющая вектора скорости движения энергии по нормали к рассматриваемой площадке, P — давление, испытываемое площадкой, i_p — составляющая вектора скорости центра тяжести площадки в направлении силы упругости.

«Уравнение (51) [у нас (4a).— Д. Г.], — указывает Умов, — будучи справедливым для каждого плоского элемента внутри среды, имеет место и на границах среды. Оно дает, следовательно, возможность по давлению, испытываемому границами среды, определить количество входящей в нее энергии, зная при этом скорость движения частиц на границах»⁷⁴.

Соотношение (4a) получило в литературе название «теоремы Умова»⁷⁵. Она утверждает, что нормальный поток энергии через любую элементарную площадку равен произведению силы упругости или давления, действующего на эту площадку, на скорость ее движения в направлении давления⁷⁶.

⁷³ Умов в своей работе не употребляет термина «вектор», хотя по существу он пользуется этим понятием. Так, рассматривая волновые процессы, он пишет: «Воображая себе в какой-нибудь точке луча линию, равную по величине произведению из энергии на скорость ее распространения, величины

$$-(p_{xx}u' + p_{xy}v' + p_{xz}w'),$$

$$-(p_{xy}u' + p_{yy}v' + p_{yz}w'),$$

$$-(p_{xz}u' + p_{yz}v' + p_{zz}w')$$

представят ее проложения на оси координат» (Избр. соч., стр. 160). (Курсив мой.— Д. Г.).

⁷⁴ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 165.

⁷⁵ См., например, А. С. Предводителев. Н. А. Умов. Изд-ею. МГУ, 1950, стр. 21.

⁷⁶ Заметим, что Т. П. Кравец в статье «Эволюция учения об энергии» дает ошибочную формулировку умовской теоремы. Он пишет: «Поток энергии равен давлению в соответствующей точке пространства, умноженному на скорость распространения дефор-

Затем Умов рассматривает процесс распространения волн в твердых упругих телах.

Ученый вообще большое внимание уделяет исследованию волновых процессов с помощью энергетического метода. Он указывает, что «явления волнообразных движений — суть простейшие и легко поддаются теоретическим изысканиям. Причина заключается в том, что геометрическая система — волна и луч, характеризующая рассматриваемое движение, принадлежит к простейшим геометрическим комбинациям поверхностей и линий»⁷⁷. Рассматривая распространение плоских волн в упругой среде и используя полученные им выражения компонент потока энергии, Умов получает для скорости продольной волны известный результат:

$$c^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho},$$

где λ — μ — коэффициенты Ламэ.

Для случая волн произвольного вида Умов находит, пользуясь методом криволинейных координат, общее выражение плотности энергии в какой-либо точке среды в зависимости от формы волновой поверхности;

$$\mathcal{E} = e^{-s\Delta BdB} f(ct - B, \rho_1, \rho_2).$$

Здесь $B = \text{const}$ — уравнение какой-либо волновой поверхности, ρ_1 и ρ_2 — параметры двух систем поверхностей, ортогональных между собой и к волновой поверхности B , f — произвольная функция, $\Delta = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2}$.

Экспоненциальный член характеризует уменьшение интенсивности волны с расстоянием. Например, для цилиндрической волны

$$\mathcal{E} = \frac{1}{r} f(ct - r, z, \varphi),$$

мации в данной среде. Мы называем эту изящную теорему теоремой Умова». Ошибка Т. П. Кравца состоит в том, что он говорит о «скорости распространения деформаций», т. е. о скорости распространения упругой волны, тогда как в теореме Умова речь идет о скорости движения площадки, т. е. скорости частиц среды («Усп. физ. наук», 1948, т. 36, вып. 3, стр. 342).

⁷⁷ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 205.

для волны сферической

$$\mathcal{E} = \frac{1}{r^2} f(ct - r, \psi, \varphi).$$

Переходя к средам жидким, Умов рассматривает вначале сжимаемую жидкость без внутреннего трения. Как и для упругих сред, действие внешних сил на частицы жидкости не принимается во внимание.

Исходя из уравнений гидродинамики:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \text{ и т. д.}$$

где p — давление, ρ — плотность, u, v, w — компоненты скорости частиц жидкости, и соответственно умножив их на $u dt, v dt, w dt$, сложив и интегрируя по всему объему среды, а затем интегрируя по частям, выделив двойной интеграл, ученый в конце концов получает выражение закона сохранения энергии:

$$\iiint \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\rho}{2} (u^2 + v^2 + w^2) - p\theta \right\} d\omega + \iint \left[\rho \left(\frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} \right) + p \right] \times \\ \times [u \cos(n, x) + v \cos(n, y) + w \cos(n, z)] d\sigma = 0. \quad (5)$$

Здесь $d\sigma$ — элемент поверхности, ограничивающей объем, θ — кубическое расширение.

Тройной интеграл — сумма изменений энергии во всех элементах пространства, занятого средой, в единицу времени. В самом деле, первый член подынтегральной функции представляет изменение со временем кинетической энергии элементарного объема жидкой среды: второй член соответствует работе давления в том же элементе объема.

«Отсюда следует, — пишет Умов, — что двойной интеграл выражения (58) [у нас (5). — Д. Г.] представляет количество энергии, входящее в среду через ее границы»⁷⁸.

Сравнение двойных интегралов выражений (5) и (3) дает выражения компонент вектора плотности потока энергии:

$$\mathcal{E}l_x = u \left(p + \rho \frac{i^2}{2} \right); \quad \mathcal{E}l_y = v \left(p + \rho \frac{i^2}{2} \right); \quad \mathcal{E}l_z = w \left(p + \rho \frac{i^2}{2} \right), \quad (6)$$

где i — скорость движения частиц жидкости,

$$i^2 = u^2 + v^2 + w^2.$$

⁷⁸ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 168.

Следовательно, в векторной записи

$$\vec{q} = \vec{i} \left(p + \rho \frac{i^2}{2} \right). \quad (7)$$

Из формул (6) вытекает, что поток энергии равен «произведению скорости движения жидкости на сумму гидростатического давления и живой силы»⁷⁹. Из выражения (7) следует, что «направление движения энергии одинаково с направлением движения жидкости». Это значит, «что внутри жидких тел невозможны такие формы движений, при которых направление движения частиц не совпадает с направлением движения энергии. Так, например, в жидких телах невозможно распространение волн с колебаниями поперечными»⁸⁰.

Для вязких жидкостей уравнения движения энергии, полученные Умовым, имеют вид:

$$\partial l_x = u \frac{\rho(u^2 + v^2 + w^2)}{2} + p_{xx}u + p_{xy}v + p_{xz}w \quad \text{и т. д.} \quad (8)$$

или в современной записи

$$\vec{q} = \vec{v} \frac{\rho v^2}{2} + T_{ik} \vec{v},$$

где T_{ik} — тензор упругих и вязкостных напряжений, \vec{v} — вектор скорости упругих смещений.

В третьем разделе «Уравнений движения энергии...» Н. А. Умов переходит к рассмотрению переноса энергии при взаимодействии тел на расстояниях. Согласно взглядам Умова, между взаимодействующими телами происходит обмен энергией, причем энергия от одного тела к другому передается посредством промежуточной материальной среды. Без этой последней не может быть взаимодействия. Таким образом, взаимодействие, по Умову, связано с наличием потока энергии, идущего от одного взаимодействующего тела к другому.

Возникает задача — отыскать «уравнения движения энергии» или, другими словами, выражения компонент вектора плотности потока энергии для различных случаев взаимодействия. Предварительно Умов решает задачу о

⁷⁹ Там же, стр. 170.

⁸⁰ В 1892 г. этот результат был повторен В. Вином.

распределении энергии в промежуточной среде. Он полагает, что, рассматривая такие тела, для взаимодействия которых существует потенциал Π , условие локализации потенциальной энергии взаимодействия в промежуточной среде может быть записано в виде

$$\Pi + \text{const} = \iiint \mathcal{E} d\omega. \quad (9)$$

Математически задача сводится к представлению величины $\Pi + \text{const}$ в виде пространственного интеграла, распространенного на всю среду, отождествление которого с правой частью уравнения (9) позволит найти выражение функции плотности энергии. «Мы решим соотношение (9) [у нас (9).— Д. Г.],— пишет Умов,— для специальных случаев, которыми *исчерпываются все известные нам роды взаимодействий на конечных расстояниях*»⁸¹. Решая эту задачу «для взаимодействия весомых, электрических и магнитных масс», Умов приходит к выражению для плотности энергии:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{16\pi} \left(\frac{\partial^2 \rho^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \rho^2}{\partial z^2} \right), \quad (10)$$

где ρ — потенциал в данной точке, создаваемый обоими взаимодействующими телами.

Изменение плотности энергии со временем можно представить следующим образом:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} = \frac{1}{16\pi} \left(\frac{\partial^2 \frac{\partial \rho^2}{\partial t}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \frac{\partial \rho^2}{\partial t}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \frac{\partial \rho^2}{\partial t}}{\partial z^2} \right).$$

Сравнение полученного выражения с основным уравнением (1) дает выражения для компонент вектора плотности потока энергии:

$$- \mathcal{E} l_x = \frac{1}{16\pi} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \rho^2}{\partial t} \right) \text{ и т. д.} \quad (11)$$

Эти же выражения имеют место и для взаимодействия замкнутого тока с магнитным полюсом, ибо, по словам Умова, «заменяя первый магнитными поверхностями, мы приходим к случаю, только что разобранным».

⁸¹ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 183 (курсив мой.— Д. Г.).

К этому же случаю, очевидно, может быть отнесено и взаимодействие двух замкнутых токов.

Выражению плотности энергии (10) Умов придает и другой вид ⁸². Поскольку выражения

$$\frac{\partial \rho}{\partial x}, \frac{\partial \rho}{\partial y}, \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

представляют собой составляющие силы h , действующей на единицу соответствующей «массы» (весомой, электрической, магнитной), помещенной в данную точку среды (другими словами, напряженности поля), т. е.

$$h^2 = \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)^2,$$

с учетом того, что потенциалы ρ_1 и ρ_2 всюду удовлетворяют уравнению Лапласа $\Delta \rho = 0$, выражение (10) можно записать и так:

$$\mathcal{E} = \frac{h^2}{8\pi}. \quad (12)$$

На языке современной физики выражение (12) означает, что плотность энергии в каждой точке поля равна квадрату напряженности поля в этой точке, деленному на 8π ⁸³.

Мы не имеем возможности останавливаться на всех результатах, содержащихся в данных работах Н. А. Умова. Из «Прибавления» к статье «Уравнения движения энергии...» рассмотрим лишь два вопроса. Первый — о направлении движения энергии. Что следует понимать под таким направлением? Предварительно Умов находит соотношение, связывающее «ток энергии» q_σ через какую-либо бесконечно малую площадку σ внутри тела с «токами» q_x, q_y, q_z по осям прямоугольных координат x, y, z :

$$q_\sigma = \alpha q_x + \beta q_y + \gamma q_z, \quad (13)$$

где α, β, γ — косинусы углов, составленных нормалью к элементу σ с осями координат.

⁸² Там же, стр. 186.

⁸³ Этот результат, полученный Умовым независимо от Максвелла, совпадает с известным максвелловым выражением для плотности электромагнитной энергии.

Вообразим себе, — рассуждает Умов, — в какой-нибудь точке M тела линию l , направляющие косинусы которой

$$\frac{q_x}{q}, \frac{q_y}{q}, \frac{q_z}{q},$$

где

$$q^2 = q_x^2 + q_y^2 + q_z^2.$$

Можно доказать, что через всякую элементарную площадку, проведенную в точке M параллельно линии l , энергия не передается: «каждая такая площадка, так сказать, непроницаема для энергии». Представим себе в точке M линию s , перпендикулярную к l , и обозначим через α , β , γ ее направляющие косинусы. Тогда по условию перпендикулярности линий l и s

$$\alpha q_x + \beta q_y + \gamma q_z = 0.$$

Но левая часть этого равенства, согласно полученной выше формуле, есть ток энергии через площадку с нормалью, направленной по линии s , который можно обозначить через q_s . Следовательно, равенство может быть записано в виде $q_s = 0$, что и требовалось доказать.

«Воображая себе в точке M бесконечно тонкий и бесконечно короткий цилиндр, параллельный линии l , мы заключаем из предыдущего, что через боковую поверхность цилиндра не будет передаваться энергия. Направление оси этого цилиндра [...] я назову направлением энергии в точке M »⁸⁴.

Воображаемые линии, определяющие направление движения энергии в теле, Умов называет динамическими линиями. Ученый подчеркивает, что луч — понятие, используемое при описании волновых процессов, — есть частный случай динамических линий. «Луч есть частный вид линий, по которым движется в теле энергия».

Уместно заметить, что позднее (1891 г.) Кирхгоф аналогичным образом дал определение луча для случая распространения световой волны: «Для того чтобы найти направление луча, соответствующего плоской волне, мы сначала докажем, что для плоской волны существует направление S , которое имеет замечательное свойство, что для

⁸⁴ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 203.

любого элемента параллельной ему плоскости работа давлений исчезает [...] что эта работа, однако, в любом другом случае имеет отличное от нуля значение; через такую плоскость благодаря этому не будет переходить никакой работы.

Согласно опыту, движение света может происходить по одну сторону плоскости, тогда как по другую господствует покой в случае, если плоскость параллельна лучу, который соответствует плоскости волны. Так как, с другой стороны, это возможно лишь в случае, когда через плоскость не будет переноситься работа, то отсюда следует, что направление луча не может быть никаким другим, кроме направления S »⁸⁵.

В своем автобиографическом очерке Н. А. Умов между прочим писал: «Еще ранее Н. А. (Умов.— Д. Г.) сообщил Кирхгофу свои идеи о движении энергии в телах, и не исключается возможность, что данное Кирхгофом определение луча было сделано им под влиянием сообщенных ему идей»⁸⁶. Позднее Г. Ми определяет направление движения энергии совершенно так же, как Умов, и указывает при этом, что он обобщил Кирхгофа. Умовское определение луча вместе с его глубоким замечанием, что направление движения энергии вообще не совпадает с направлением нормалей к поверхностям равной энергии или к поверхностям изодинамическим, по существу содержит представление о лучевой скорости, нашедшее позднее широкое применение в ряде разделов физики, в частности в акустике и электродинамике движущихся сред.

Важное место в «Прибавлении» отведено проблеме, обратной задаче нахождения «уравнений движения энергии». Последняя решалась, исходя из знания соответствующих уравнений движения среды. Если же, наоборот, известны «уравнения движения энергии», которые во многих случаях могут быть определены из опыта, то можно найти уравнения движения среды, движения, порождающего соответствующее «движение» энергии.

Любопытно, что, применяя метод Умова к электромагнитному полю, можно получить уравнения Максвелла, в данном случае соответствующие «уравнениям движения».

⁸⁵ *G. Kirchhoff. Vorlesungen über mathematischen Optik. Leipzig, 1891, S. 205.*

⁸⁶ *Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 23.*

По мнению М. Планка, «о зависимости потока энергии \vec{S} от напряженностей поля \vec{E} и \vec{H} можно заключить на основании опыта. Оказывается, что зависимость выражается очень простым законом, который мы и поставим во главу угла вывода уравнений электромагнитного поля как обобщение всех сделанных до сих пор в этом отношении опытов, именно: законом Пойнтинга»⁸⁷.

Основное содержание первого и второго разделов «Уравнений движения энергии...» в 1874 г. было изложено Н. А. Умовым и в журнале «Zeitschrift für Mathematik und Physik». К сожалению, в статье совершенно опущен третий раздел «Уравнений», в котором Умов рассматривает вопросы движения энергии в средах, обуславливающих перенос взаимодействия, т. е., по сути дела, в полях. В то же время Умов высказывает здесь ряд весьма важных соображений, не содержащихся в «Уравнениях...». Из них следует отметить: 1) определение меры скорости движения энергии: 2) доказательство возможности однозначного решения уравнений движения энергии.

В «Уравнениях движения энергии...» Н. А. Умов пользуется понятием скорости движения энергии, не давая ему, однако, строгого определения. В статье ученый подробно останавливается на выяснении этого вопроса.

«Если движение частицы тела, — пишет Умов, — испытывает изменение благодаря какой-либо причине, то пертурбация движения частицы тела постепенно распространяется через все тело. Так как никакое изменение движения не может происходить без увеличения или уменьшения энергии, т. е. без прихода или ухода таковой, то наряду с распространением пертурбации движения будет происходить в том или другом направлении предшествующее движение энергии. Так как, наоборот, каждый приток или уход энергии ведет вместе с тем к пертурбации движения и эта пертурбация состоит в изменении прежнего состояния движения, то направление и скорость движения энергии будут идентичны с направлением и скоростью распространения пертурбации»⁸⁸.

⁸⁷ М. Планк. Введение в теоретическую физику, ч. 3. М., Гостехиздат, 1938, стр. 15 (курсив мой. — Д. Г.).

⁸⁸ N. Umov. Ableitung der Bewegungsgleichungen der Energie in kontinuierlichen Körpern. — Z. Math. Phys., 1874, Bd. 19, S. 418.

В этих словах заключен весьма глубокий смысл. Умов, по-видимому, отчасти раскрывает в них ход мыслей, приведший его к представлению о движении энергии.

Забегая вперед, заметим, что и при появлении работ Умова, и значительно позднее, вплоть до начала нынешнего века, зачастую даже видные физики высказывались о том, что понятие движения энергии не имеет реального физического смысла, есть лишь некоторый условный, математический прием описания физических процессов. Если представление о потоке энергии казалось еще более или менее понятным (благодаря аналогии с уже привычным тепловым потоком), то понятие скорости движения энергии вызвало особенно много возражений со стороны ряда физиков. Последние полагали, что поскольку нельзя говорить о частицах энергии, подобно частицам материи, постольку не имеет смысла говорить о скорости движения энергии. Заметим, что, с другой стороны, неправильное понимание физического содержания понятий энергии, «движения» энергии, скорости этого движения и т. д. приводило некоторых ученых к философски ошибочной идее субстациональности энергии.

Приведенные выше слова Умова с предельной ясностью раскрывают физический смысл введенных им понятий движения энергии, направления и скорости движения энергии. Движение энергии предстает не как некая математическая фикция, но как реальный физический процесс, сопровождающий процесс «движения» (распространения), пертурбации движения (или, иными словами, распространение возмущения), испытанной какой-либо частицей (элементом объема) тела, среды.

О движении энергии можно говорить с таким же правом, как и о движении (распространении) пертурбации движения (возмущения). И то, и другое, в отличие от движения частицы тела, есть перемещение состояния (в одном случае состояние характеризуется энергией, в другом — смещением частиц и т. д.).

Характерным примером такого рода «движения», т. е. перемещения состояния, является распространение волн. Поскольку перемещение энергии обязательно сопровождается и неразрывно связано с «перемещением возмущения» и коль скоро возможность применения к последнему понятий направления и скорости движения не вызывает сомнения, постольку эти понятия применимы и к движению

энергии. Направление и скорость движения энергии, как прямо указывает Умов, будут не чем иным, как направлением и скоростью распространения возмущения, приобретаемая, таким образом, вполне отчетливый физический смысл.

В качестве «меры скорости энергии в заданном направлении и в заданной точке» Умов предлагает принять «отношение количества энергии, протекающей в этом направлении через единицу площади, к плотности энергии в данной точке пространства», т. е. отношение плотности потока энергии к плотности энергии в данной точке:

$$\vec{c} = \frac{\vec{q}}{\varrho}. \quad (14)$$

Любопытны рассуждения Умова, поясняющие смысл введенного им понятия скорости энергии. Пусть в какой-нибудь точке M тела направление движения энергии определяется вектором $+\vec{S}$. Если мы возьмем другую точку тела M' , лежащую бесконечно близко к точке M в направлении $-\vec{S}$ от последней, то, пренебрегая бесконечно малыми величинами, можно принять, что направление движения энергии в M' то же, что и в M . Пусть τ — бесконечно малое время, которое требуется для перехода энергии от M' к M . За это время вся энергия, заключенная внутри бесконечно тонкого цилиндра с осью MM' и основанием σ , протечет через площадку σ в точке M в направлении S . Следовательно, для плотности потока энергии можно записать

$$\vec{q} = \frac{\varrho \cdot \overline{M'M}\sigma}{\tau\sigma} = \frac{\varrho \cdot \overline{M'M}}{\tau}.$$

Построим отношение

$$\vec{c} = \frac{\vec{q}}{\varrho} = \frac{\overline{M'M}}{\tau}. \quad (14a)$$

Так как скорость движения энергии на бесконечно малом пути $M'M$ можно рассматривать как одинаковую для всех его точек, то c , определяемое с помощью выражения (14a), представляет собой не что иное, как скорость движения энергии в точке M .

Умовское определение скорости энергии как отношения плотности потока энергии к плотности энергии в настоящее время общепринято.

Остановимся теперь на умовском доказательстве возможности однозначного решения уравнений движения энергии.

Известно, что после выхода в свет в 1884 г. знаменитой статьи Пойнтинга о распространении энергии в электромагнитном поле Д. Д. Томсон высказал возражение против выводов автора⁸⁹. Суть его возражения сводилась к тому, что уравнению

$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} + \frac{\partial S_z}{\partial z}$$

удовлетворяет бесконечное множество функций. Оно не имеет однозначного решения, и, следовательно, неясно, какое же из решений представляет собой компоненты вектора плотности потока энергии.

Н. А. Умов предвидел возможность такого возражения. «На первый взгляд может показаться, — писал он, — что вывод их (уравнений движения энергии, т. е. выражений для компонент вектора плотности потока энергии. — Д. Г.) основан на безусловной идентичности выражения вида

$$-\frac{\partial J}{\partial t} = \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial B}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z} \quad (\text{IV})$$

с выражением

$$-\frac{\partial J}{\partial t} = \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z}. \quad (\text{V})$$

При этом выражение (IV) выводится из преобразования двойного интеграла в уравнении сохранения энергии во всем теле.

Если вопрос ставится таким образом, то, очевидно, уравнения энергии

$$A = J l_x, \quad B = J l_y, \quad C = J l_z$$

суть лишь частные решения»⁹⁰.

⁸⁹ J. J. Thomson. Report on electrical theories.— Brit. Assoc. Rep., 1885, p. 150.

⁹⁰ N. Umov. Ableitung der Bewegungsgleichungen der Energie in kontinuierlichen Körpern.— Zeitschr. Math. Phys., 1874, Bd. 19, S. 430 (курсив мой.— Д. Г.).

Очевидно, условие, при котором три функции — A , B , C — удовлетворяли уравнению (IV), недостаточно для того, чтобы считать эти функции компонентами потока энергии. По мнению Умова, необходимы еще и «природой вопроса предписываемые условия».

1. Так как названные функции должны представлять количества энергии, проходящие за единицу времени в трех взаимно перпендикулярных направлениях через единицу площади, т. е. величины Jl_x , Jl_y , Jl_z (здесь J — плотность энергии. — Д. Г.), то их наиболее общая форма должна быть такого рода, что координаты x , y , z в них входят лишь неявно через напряжения или давления, смещения, их производные и т. д.

Вид этих функций, который был бы отличен от формы, данной мною для Jl_x , Jl_y , Jl_z в вышеупомянутой статье для упругих и жидких тел, не удовлетворял бы уравнению (V) без добавления новых условий для напряжений, смещений и т. д., кроме тех, которые уже заданы через уравнения в частных производных движений частиц тела.

Поэтому выведенные в статье уравнения движения суть наиболее общие.

2. Выражения, найденные для Jl_x , Jl_y , Jl_z , должны удовлетворять условиям, чтобы

$$\iiint \frac{\partial Jl_x}{\partial x} d\omega, \quad \iiint \frac{\partial Jl_y}{\partial y} d\omega, \quad \iiint \frac{\partial Jl_z}{\partial z} d\omega,$$

где интеграция распространена на все тело, представляли бы количества энергии, которые протекают через поверхность тела за единицу времени в направлениях x , y , z . Легко видеть, что нахождение уравнений движения энергии в моей статье опирается на выполнение этих условий»⁹¹.

Эти рассуждения Умова почти дословно в 1898 г. повторит Г. Ми, пытаясь четверть века спустя доказать несостоятельность возражения Д. Д. Томсона.

Каковы же основные результаты работ Умова по движению энергии?

В этих работах впервые в мировой науке в самом общем виде развито учение о локализации и движении энергии. Умов ввел в теоретическую физику все основные понятия этого учения: плотность энергии в данной точке,

⁹¹ *N. Umov. Ableitung der Bewegungsgleichungen...*, S. 430.

направление движения энергии, скорость движения энергии, поток энергии и его плотность, дав *строгие определения* этим понятиям.

Умов впервые ввел представление о пространственно-временной непрерывности энергии. Он развил закон сохранения энергии, дополнив его принципом близкодействия, и дал его новую формулировку, математически выражающуюся в уравнении непрерывности энергии:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{q} = 0$$

или в интегральной форме:

$$\iiint \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} d\omega + \iint q_n d\sigma = 0.$$

Словесно форму закона сохранения энергии, данную Умовым, можно выразить следующим образом: изменение энергии в данном объеме, отнесенное к единице времени, равно полному потоку энергии через поверхность, ограничивающую объем. Это положение, широко используемое современной физикой, может быть названо теоремой Умова (аналогичное утверждение для энергии электромагнитного поля названо теоремой Пойнтинга).

Умов указал и общий метод нахождения законов движения энергии для любых сред, если для них известны уравнения движения («динамические» уравнения).

Ученый получил «уравнения движения энергии» (выражения компонент вектора плотности потока энергии) для конкретных случаев: твердых упругих тел, жидких сред, сжимаемых и несжимаемых, с трением, и без трения, и, кроме того, общие выражения компонент потока энергии при взаимодействии пространственно разделенных тел в случаях, когда оно описывается с помощью потенциала (взаимодействие весомых, электрических и магнитных масс, замкнутых токов и др.).

Умов впервые применил закон сохранения и превращения энергии к изучению волновых процессов. Ученый показал, что распространение волн связано с переносом энергии, причем одно и то же количество энергии всегда движется с одной и той же волновой поверхностью. В случае плоской волны энергия полностью переносится от одной точки к другой (в отсутствие поглощения). Применяя общее выражение потока энергии в упругой среде

к случаю распространения плоских волн с продольными и поперечными колебаниями, можно получить известные выражения для скорости распространения волн.

Умов дал новое определение луча как линии, вдоль которой распространяется энергия, для случая волнового движения.

Он указал также, что направление движения энергии (т. е. направление луча) вообще не совпадает с направлением нормалей к волновым поверхностям.

Умовское понимание луча и лучевой скорости как скорости движения энергии широко используется в современной физике.

Умов сформулировал теорему, которая связывает поток механической энергии через площадку, давление, испытываемое ею, и скорость ее движения.

В своих работах по движению энергии Умов показал, что в жидкостях без трения направление этого движения совпадает с направлением движения самой жидкости, откуда следует невозможность распространения поперечных волн в жидких средах.

В некоторых статьях, посвященных Н. А. Умову, можно встретить высказывания, неверно и упрощенно освещающие вопрос о том, как пришел ученый к представлению о локализации и движении энергии. Так, А. И. Бачинский, излагая идеи Умова, пишет: «Кинетическая энергия тела имеет то характерное свойство, что для нее всегда можно указать место, занимаемое ею в пространстве. Это место совпадает с местом той движущейся частицы, которой принадлежит рассматриваемая порция кинетической энергии. Отсюда возникает понятие о движении энергии»⁹².

Внимательное изучение работ Умова, однако, позволяет сделать вывод, что им при этом руководили гораздо более глубокие соображения, имеющие философскую материалистическую основу. Не представляет сомнения, что Умов пришел к идее о движении энергии, занимаясь проблемой взаимодействия тел на расстоянии. То обстоятельство, что в «Уравнениях движения энергии...» исследованию взаимодействий посвящен лишь третий раздел работы, не означает, что Умов сперва занимался «движением

⁹² А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова, стр. 19.

энергии» как таковым, а затем уже применял полученные результаты, в частности к взаимодействиям. Вспомним, что «Уравнениями движения энергии...» предшествовали работы «Теория простых сред...» и «Теория взаимодействий на расстояниях конечных». Именно в *поисках материалистического объяснения взаимодействий, положив в основу исследования закон сохранения энергии, Н. А. Умов приходит к необходимости введения представлений о локализации и движении энергии.*

Это обстоятельство упускают из виду Бачинский, Лазарев и ряд других авторов.

В то же время В. Н. Кессених совершенно справедливо отмечает: «Занимаясь вопросами непрерывной передачи взаимодействия, Умов впервые в мировой науке поставил и решил в общем виде задачу о локализации энергии в пространстве»⁹³. Эту точку зрения неоднократно высказывал и Д. Д. Иваненко. В самом деле, Умов был воинствующим противником теории дальнего действия и всюду подчеркивал свое категорическое отрицание непосредственного действия на расстоянии. Этот важный пункт его физического мировоззрения вместе с другим, также положенным им в основу исследований, законом сохранения энергии, и должен был натолкнуть Умова на идею движения энергии. Можно представить себе основные пункты рассуждений ученого.

1. Невозможность непосредственного действия на расстоянии.

2. Безусловность закона сохранения энергии.

3. Всякое взаимодействие предполагает передачу энергии от одного тела к другому.

Этот процесс передачи энергии на расстояние нельзя рассматривать так, как будто она исчезла в одном месте и одновременно возникла в другом месте, что по существу содержится в теориях дальнего действия.

4. Чтобы не вступить в противоречие с законом сохранения энергии, необходимо допустить, что энергия должна передаваться через пространство, разделяющие взаимодействующие тела непрерывным образом, как во вре-

⁹³ В. Н. Кессених. Вектор Умова и присоединенная масса. — «Вестн. МГУ», 1949, № 5, стр. 71. В ряде работ В. Н. Кессених развивает идеи Умова применительно к теории излучающих систем (см. В. Н. К е с с е н и х. Распространение радиоволн. М., Гостехиздат, 1952).

мени, что диктуется уже законом сохранения энергии, так и в пространстве; она должна «пересекать» промежуточное пространство. Отсюда можно говорить о переносе энергии или о «движении» энергии.

5. Поскольку энергия неразрывно связана с материей, иными словами, энергия должна иметь материального носителя, то при любых взаимодействиях на расстоянии необходимо наличие материального передатчика энергии — промежуточной среды. Поскольку материя определенным образом распространена в пространстве, т. е. локализована, постольку представляется естественным говорить и о локализации энергии, связанной с этой материей.

Следует остановиться еще на одном обстоятельстве. Часто в литературе об Умове можно встретить утверждения, приписывающие Умову роль первого «энергетика» — предшественника В. Оствальда. Между тем всякому внимательно изучавшему труды Н. А. Умова должно быть ясно: эти утверждения по меньшей мере необоснованны. Подробнее мы остановимся на этом в главе, посвященной философским взглядам Н. А. Умова (см. стр. 273).

В истории науки не раз бывало, что новые выдающиеся идеи с большим трудом и в тяжелой борьбе пробивали себе путь и лишь спустя многие годы получали всеобщее признание. Так было, например, с законом сохранения и превращения энергии. Несмотря на общеизвестность этого факта, мы все же приведем короткое, но содержательное свидетельство Гельмгольца — одного из создателей закона. В 1881 г. ученый с горечью писал:

«Я был до известной степени изумлен сопротивлением, встреченным мною в кругу специалистов: в помещении моей работы в «Анналах» Поггендорфа мне было отказано, а среди членов Берлинской академии наук один лишь К. Г. Я. Якоби, математик, встал на мою сторону. В те времена новыми убеждениями еще нельзя было достичь славы и повышения, скорее можно было добиться обратного»⁹⁴.

Общеизвестно, что гениальная теория электромагнитного поля Максвелла получила всеобщее признание лишь после знаменитых опытов Герца, спустя 23 года после появления работ Максвелла.

⁹⁴ Цит. по кн.: *Ф. Розенбергер*. История физики, ч. 2, вып. 2. М.—Л., ОНТИ, 1936, стр. 50.

Нечто подобное произошло и с замечательными работами Н. А. Умова по движению энергии. При этом судьба была особенно несправедлива к нему. Если обычно признание заслуг того или иного ученого приходило вместе с торжеством его идей (впрочем, не всегда при жизни ученого), имя Умова и после торжества его идей долгое время оставалось в тени. Заслуга введения в физику этих идей связывалась с именем англичанина Пойнтинга, который в 1884 г. опубликовал известную работу о переносе энергии в электромагнитном поле.

Идеи о локализации энергии любого рода, движении энергии, скорости движения энергии и т. д., провозглашенные Н. А. Умовым в 1874 г., явились по тому времени столь необычными и даже «еретическими», что были с недоверием встречены как в России, так и за границей.

Как уже отмечалось, работы Умова «Уравнения движения энергии...» и «Прибавление» были представлены им в Московский университет в качестве докторской диссертации. К сожалению, материалов о диспуте, имевшем место при защите диссертации, по-видимому, не сохранилось. В протоколах Совета физико-математического факультета, хранящихся в Архиве Московского университета, имеются лишь краткие записи: «Заседание 12 сентября 1874 г. Представлен отзыв пр. Столетова и Слудского о диссертации Умова. Определено: назначить диспут 23 сентября и просить проф. Столетова и Слудского быть оппонентами». «Публичное заседание 27 сентября. Диспут магистра Умова, защищающего диссертацию «Уравнения движения энергии в телах». По окончании диспута г. Умов признан достойным степени доктора физики»⁹⁵.

В автобиографическом очерке Н. А. Умов вспоминает: «Диспут продолжался около шести часов; понятия о движении энергии и ее плотности встретили сильные возражения со стороны оппонентов»⁹⁶. О характере возражений оппонентов можно составить представление по письменному отзыву профессоров Столетова и Слудского, опубликованному в записках Новороссийского университета. Приведем некоторые выдержки из этого отзыва:

«Диссертация г. Умова «Уравнения движения...» имеет характер чисто спекулятивный [...] Автор считает не-

⁹⁵ Архив МГУ. Дела Совета физ.-мат. факультета за 1874 г.

⁹⁶ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 22.

обходимым (гл. 1) ввести в теоретическую физику общие понятия о «движении энергии в средах» [...] В настоящее время, когда взгляд на теплоту как движение окончательно утвердился, выражение «тепловой ток» стало условным и предполагает дальнейший механический анализ. Это-то условное и не вполне выясненное понятие г. Умов обобщает, применяя его ко всякой вообще физической энергии. Чтобы оправдать себя до некоторой степени, г. Умов указывает на сходство закона сохранения энергии с законом сохранения вещества. Но идея движения энергии этим сходством никак не поясняется и не оправдывается».

Говоря о выводах, полученных Умовым для движения энергии в конкретных средах, авторы отзыва пишут: «По нашему мнению, этим выводам при неясности исходной точки нельзя приписывать какого-либо реального значения, они дают лишь аналитическое выражение для тех символов, которые выводит автор [...] Таким образом, задавшись темой крайне общей, рассуждая о вопросах весьма глубоких и трудных, автор повсюду страдает неясностью и произвольностью своих положений. Его выводы либо не имеют той строгости и общности, на которую он претендует, либо имеют интерес формальный, аналитический. Изложение диссертации местами слишком сжатое, местами крайне туманное».

Итак, основные идеи, развиваемые Умовым, остались непонятыми маститыми оппонентами. Отрицая ценность этих идей, оппоненты в то же время не могли отказать автору диссертации в глубине и оригинальности мышления. «При всем том, — пишут они, — нельзя не отметить и светлых сторон в сочинении г. Умова. Оговоримся, во-первых, что вина неясности его труда лежит отчасти в свойстве самых вопросов, едва затронутых в современной теоретической физике [...]. Везде, где он, оставляя общности и предвзятую точку зрения, имеет дело с определенными задачами, обнаруживается полное знание предмета и то умение искусно владеть анализом, которое г. Умов доказал своими прежними трудами [...] Наконец при всех странностях и недостатках сочинения, взятого в целом, нельзя не признать в авторе замечательной изобретательности и богатства идей, хотя еще не установившихся в окончательной форме»⁹⁷.

⁹⁷ «Зап. Новоросс. ун-та», 1875, т. 17, стр. 26—28.

А вот что писал о диссертации Умова известный физик профессор Ф. Н. Шведов: «Вполне разделяя взгляды, высказанные в отзыве (Столетова и Слудского.— Д. Г.) о сочинении г. Умова «Уравнения движения энергии в телах», я прибавлю, что эта диссертация — не единственный труд г. Умова, что те слабые стороны, на которые указывает отзыв, происходят не вследствие неумения автора взяться за разработку научного материала, а вследствие того, что автор выбрал для исследования такой вопрос, для которого экспериментальная физика не приготовила еще достаточного числа данных».

Далее, приведя пример с Карно, который, как известно, построил свою теорию работы тепловой машины, исходя из представления, «что при совершении работы теплота не исчезает, а только переносится от очага к холодильнику», Шведов продолжает: «Но дальнейшая история науки показывает, что это основание рушилось под ударами прямого опыта, а между тем формулы, выработанные Карно и его последователями, не только не рушились, но и вошли с некоторыми изменениями в современную механическую теорию тепла. То же самое, вероятно, случится и с трудами ученых, к школе которых принадлежит г. Умов. То, что есть в их взглядах субъективного, падет само собой, но метод исследования вопроса о движении энергии послужит пособием другим лицам для дальнейшей разработки вопроса»⁹⁸.

Таким образом, Шведов, несмотря на заявление о полном согласии с мнением Столетова и Слудского, сочувственно относился к основным идеям Умова и не видел оснований для возражений против введения в науку представления о движении энергии.

Насколько идеи Умова опередили уровень тогдашней науки, свидетельствует письмо профессора Новороссийского университета К. И. Карастелева к петербургскому академику И. И. Сомову, которое мы уже цитировали на стр. 33. «Так как в факультете,— пишет Карастелев,— от меня требуют отзыва об этом новом труде Умова и так как я думаю, что «Уравнения движения энергии» — бессмыслица, то я и дал такой отзыв... Если мое мнение будет переслано в Академию, то я уверен, что Вы разрешите спор по совести. В рассуждении Умова я ничего не понимаю, я

⁹⁸ Там же, стр. 25.

вижу в нем набор бессмысленных формул, ничего не доказывающий и ни к какому результату не приводящий, я в жизнь свою не читал такой галиматши»⁹⁹.

Впечатлительный и мягкий по натуре Н. А. Умов тяжело переживал подобное отношение современников к его идеям. В особенности ученого огорчало непонимание его замыслов Столетовым, которого он глубоко уважал. Может быть, в этом лежит причина того, что впоследствии Умов никогда более не возвращался к теме своей докторской диссертации.

За границей работы Умова также были признаны далеко не сразу. Лишь спустя семь лет, в 1881 г., голландский ученый Гринвис обращается к его работам и показывает применимость «теоремы Умова», связывающей поток энергии в упругом теле с давлением и скоростью частиц тела, к рассмотрению явления удара. Гринвис исследовал удар упругих и неупругих шаров с точки зрения переноса энергии от одного тела к другому. Получив для случая прямого удара выражение для передаваемой энергии

$$C = Ru,$$

где C — переданная энергия, R — давление (сила отдачи, по терминологии Гринвиса), u — скорость центра масс, т. е. формулу Умова (4а), Гринвис пишет: «Уравнение содержит важный результат. Мы видим, что перенос энергии равен произведению силы отдачи на скорость в момент переноса [...] Этот простой закон согласуется с результатами Умова, найденными другим путем для движения энергии в твердых телах. Этот русский ученый, который специально не занимался соударениями и даже не упоминает о них, исследовал движение энергии в предположении, что оно происходит в упругой и сжимаемой среде. Он нашел, что энергия, которая за определенное время проходит через единицу поверхности тела в направлении силы давления, равна произведению этой силы на составляющую по направлению силы скорости центра масс. В случае прямого удара уравнение показывает, что это есть частный случай закона Умова (Loi de N. Umo) и что эта часть энергии ведет себя как сжимаемая и упругая жидкость

⁹⁹ Архив АН СССР, ф. 256, оп. 1, д. 9, л. 2.

или по крайней мере подчиняется законам, соответствующим такому предположению». Затем Гринвис приходит к выводу, что «правило Умова подтверждается также при косвенных столкновениях»¹⁰⁰.

Внимание физиков к проблеме локализации и движения энергии в широком масштабе привлекла известная работа английского физика Дж. Пойнтинга (1884 г.), в которой исследовался вопрос о движении энергии в электромагнитном поле.

Проблема локализации и движения энергии сделалась предметом исследований многих выдающихся физиков, таких, как О. Хевисайд, О. Лодж, В. Вин, Г. Ми и др. В этих исследованиях рассматривается движение энергии не только в электромагнитном поле, но и для ряда других конкретных случаев, в частности движение энергии в упругих и жидких средах. При этом были получены многие результаты, уже содержащиеся в работах Умова.

Поразительно, что ни в одном специальном исследовании того времени, посвященном проблеме локализации и движения энергии, начиная с Пойнтинга, совершенно не упоминается имя русского физика Н. А. Умова, выдвинувшего впервые саму идею движения энергии, создавшего основы теории движения энергии в самом общем виде, получившего конкретные результаты для специальных случаев и давшего общий метод отыскания законов движения энергии для любого частного случая. Всюду встречаются ссылки на Пойнтинга как на автора идеи о движении энергии вообще. В последующих после Пойнтинга работах идея, выдвинутая Пойнтингом в применении к электромагнитному полю, обобщается, распространяется на другие области, создается теория движения энергии вообще, безотносительно к ее конкретным видам.

Первой (после исследования Пойнтинга) работой, посвященной рассматриваемой проблеме, была статья О. Лоджа «On the identity of energy...» (1885). Статья не содержит каких-либо конкретных результатов, в ней высказывается ряд общих соображений по поводу проблемы локализации и движения энергии. Лодж начинает свою статью словами: «Пойнтинг опубликовал замечательную и важную работу [...] В этой статье он вводит идею непрерывности в

¹⁰⁰ С. Н. С. *Grinwis*. Le Transport de l'énergie pendant le choc des corps. — Arch. Neerl., 1881, Bd. 16, S. 303.

существовании энергии. Эта идея, я полагаю, представляет собой расширение принципа сохранения энергии». Далее О. Лодж указывает, что отныне можно говорить о переносе энергии «точно так же, как говорят о переносе материи», и, «следовательно, мы можем искать ее в промежуточном пространстве и изучить путь, который она совершает»¹⁰¹.

Очевидно, что Лодж считал Пойнтинга автором идеи движения энергии вообще.

Заслуга исследования движения энергии в твердых, упругих и жидких средах приписывается В. Вину, опубликовавшему в 1892 г. свою статью «Ueber den Begriff der Localisierung der Energie», и Густаву Ми, издавшему в 1898 г. обширное исследование «Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung».

По словам Биркеланда, «В. Вин в своей интересной работе пытался использовать оригинальный взгляд Пойнтинга в других областях физики»¹⁰². П. Друде считает, что «Пойнтинг исследовал поток энергии в электромагнитном поле, и Вином подобное рассмотрение было расширено и распространено на другие отделы физики (гидродинамика, упругость)»¹⁰³.

Г. Ми твердо убежден; «Описываемый взгляд (о распространении энергии.— Д. Г.) употреблялся с давних пор для тепловой формы энергии и для излучения идущего от источника света [...] Попытки его обобщить были сделаны сначала Пойнтингом и Хевисайдом, независимо друг от друга установившими теорию движения энергии в электромагнитном поле, в которой они ввели векторную величину, всегда удовлетворяющую условию

$$-\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

(уравнение Умова.— Д. Г.).

Последователями этой идеи были многие исследователи, из которых прежде всего назовем Лоджа [...] Дальнейшее

¹⁰¹ O. Lodge. On the identity of energy in connection with Mr. Poyntings paper on the transfer of energy in electromagnetic field. Phil. Mag., 1885, v. 19, p. 482.

¹⁰² Kr. Birkeland. Ueber die Strahlung elektromagnetischer Energie in Raume.— Ann. Phys. Chem., 1894, Bd. 52, S. 357 (курсив мой.— Д. Г.).

¹⁰³ P. Drude. Ueber Fernwirkung.— Ann. Phys. Chem., 1894, Bd. 62, S. 224.

обобщение теории испытала благодаря работам Пирсона и В. Вина, которые ее распространили на механические процессы в вполне упругих телах и жидкостях. Наиболее основательным и обширным исследованием предмета мы обязаны Хевисайду, который прежде всего устанавливает теорию движения энергии также для механических процессов в полной общности»¹⁰⁴.

Г. Гельм, написав уравнение, выражающее теорему Пойнтинга, подчеркивал: «Содержащаяся в уравнении общая идея перемещения энергии была далее прослежена для случая движения энергии в машинах Лоджем и Фёпшлем в то время, как В. Вин исследовал, каким образом она может быть применена для описания процессов в непрерывных средах»¹⁰⁵.

«Известно, — писал Вольтерра в 1899 г., — каким образом Пойнтинг в своем мемуаре определил закон потока энергии электромагнитного поля и получил результат простой и важный и с теоретической точки зрения, и с точки зрения применения. Различные исследования были сделаны, чтобы найти и в других естественных явлениях законы, выражающие непрерывность энергии от точки к точке пространства»¹⁰⁶.

Наконец уже в новейшее время, в 1947 г., М. Лауэ, упомянув о представлениях, развитых Пойнтингом, отметил: «Г. Ми показал в 1898 г., что можно перенести эти представления на упругую энергию»¹⁰⁷.

Приведенные высказывания позволяют сделать следующие выводы: работы Н. А. Умова, в которых была развита теория движения энергии в самом общем виде и для ряда конкретных случаев, в частности для упругих тел и жидкостей, работы, основные результаты которых были опубликованы в 1874 г. не только на русском, но и на немецком языке, странным образом остались неизвестными или игнорировались последующими исследователями проблемы локализации и движения энергии. Во

¹⁰⁴ G. Mie. Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung. — Wien. Sitzungsber., 1898, Bd. 107, S. 1118—1119.

¹⁰⁵ G. Helm. Die Energetik nach ihrer geschichtlichen Entwicklung. Leipzig, 1898, S. 347.

¹⁰⁶ V. Volterra. Sul flusso di energia meccanica. — Atti di Torino, 1899, t. 34, p. 366 (курсив мой. — Д. Г.).

¹⁰⁷ M. Laue. Geschichte der Physik. Bonn, 1947, S. 84 (курсив мой. — Д. Г.).

всяком случае, они не упоминают о работах Н. А. Умова, несмотря на то, что во многом повторяют, как мы дальше покажем, его результаты.

В ряде биографических очерков об Н. А. Умове можно встретить утверждение, что приоритет Умова как основоположника учения о движении энергии якобы является общепризнанным. В доказательство приводятся ссылки на известного немецкого историка физики Ф. Ауэрбаха, упоминающего имя Умова в «Geschichtstafeln der Physik», и на А. Фосса, писавшего об Умове в немецкой математической энциклопедии. Рассмотрим эти свидетельства несколько подробнее.

В историко-физических таблицах Ф. Ауэрбаха читаем: «1884. Einführung der Idee des Energieflusses und der Wanderung der Energie (Vorläufer — Umow)... Poynting» («Введение понятия потока энергии и перемещения энергии (предшественник — Умов)... Пойнтинг»). Заметим, что здесь речь идет не о движении энергии в электромагнитном поле, а вообще о движении энергии. Итак, Ауэрбах считает автором идеи движения энергии Пойнтинга, отводя Умову неопределенную роль предшественника (Vorläufer). Любопытно, что несколько ниже, в тех же таблицах, находим: «1891 г. Исследование о локализации и перемещении энергии — В. Вин»¹⁰⁸. Таким образом, в числе выдающихся работ по физике приводится исследование В. Вина, основные результаты которого повторяют данные Умова. Работа же Умова, если не говорить об упоминании, приведенном выше, не вошла в таблицы. В разделе 1874 г. нет ни слова ни об Умове, ни вообще о движении энергии.

Приведем другие высказывания Ауэрбаха, до сих пор не упоминавшиеся в литературе об Н. А. Умове. Так, в книге «Entwicklungsgeschichte der modernen Physik» (1923 г.), получив из уравнений Максвелла волновые уравнения для величин E и H (напряженностей электрического и магнитного полей) и указав, что электрические и магнитные колебания перпендикулярны не только направлению волны, но и друг другу, Ауэрбах пишет: «Третье направление, совпадающее с направлением распространения волны, т. е., короче говоря, луча, есть направление вектора энергии,

¹⁰⁸ F. Auerbach. Geschichtstafeln der Physik. Leipzig, 1910, S. 82.

т. е. направления, в котором движется энергия (Умов — 1874 г., Пойнтинг — 1884 г.)»¹⁰⁹.

Ауэрбах справедливо ставит имя Умова на первое место. Однако в той же книге, говоря об энергии вообще, он пишет: «Энергия имеет в каждом случае определенное положение в пространстве (локализация энергии) и определенную тенденцию менять это место (перемещение энергии). (Пойнтинг — 1884 г., Вилли Вин — 1891 г.)»¹¹⁰. Наконец в таблицах выдающихся физических открытий, приведенных в конце книги, имеется запись: «1884 г. — поток энергии и перемещение энергии — Пойнтинг»¹¹¹.

Обратимся теперь к А. Фоссу, который в статье «Die Prinzipien der rationalen Mechanik», в частности, указывает: «В самом общем виде еще Н. Умов в 1874 г. развил проблему движения энергии в жидких и упругих телах». Фосс приводит вывод выражений для плотности потока энергии в жидкостях, справедливо ссылаясь на работы Умова (1874 г.) и В. Вина (1892 г.). При этом автор подчеркивает: «Когда Пойнтинг развил аналогичные формулы для электромагнитного поля, им был получен закон, что в электромагнитном поле энергия течет с известной интенсивностью перпендикулярно к плоскости линий электрических и магнитных сил»¹¹².

Таким образом, Фосс четко говорит о приоритете Умова, положившего начало учению о движении энергии, хотя и ограничивает его результаты рамками упругих и жидких тел. В то же время очевидно, что все последующие исследования, в том числе статью Пойнтинга, Фосс справедливо рассматривает как развитие и продолжение работ и идей Н. А. Умова.

Ф. Ауэрбах и А. Фосс так или иначе говорят о работах Умова. Это едва ли не единственные примеры во всей зарубежной научной литературе.

К сожалению, и в отечественной литературе можно отметить случаи непонимания авторами общего характера теории Умова, стремление ограничить его результаты лишь рамками твердых, упругих и жидких тел. Так, С. М. Рытов

¹⁰⁹ F. Auerbach. Entwicklungsgeschichte der modernen Physik. Berlin, 1923, S. 85.

¹¹⁰ Ibid., S. 13.

¹¹¹ Ibid., S. 320.

¹¹² A. Voss. Die Prinzipien der rationalen Mechanik.— Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, Bd. IV, 1 Teil, S. 111, 114.

в предисловии к сборнику «Из предыстории радио» пишет: «Как известно, представление о потоке электромагнитной энергии в диэлектрике ввел Пойнтинг в 1885 г. Однако за одиннадцать лет до него выдающийся русский физик Умов сформулировал представление о пространственной локализации потока энергии с такой ясностью, что, хотя *его работа и относится к упругим волнам в твердой и жидкой среде*, мы сочли уместным поместить отрывок из нее»¹¹³.

По мнению Т. П. Кравеца, Умов в работе «Уравнения движения энергии» занимается задачей движения энергии «специально для важного случая упруго-деформированного тела... Ныне они (формулы Умова.— Д. Г.) сохраняют приложение в акустике»¹¹⁴.

Выше отмечалось, что после появления статьи Пойнтинга ряд известных зарубежных ученых занялись разработкой проблемы локализации и движения энергии. Попытаемся кратко рассмотреть основные результаты, полученные западноевропейскими исследователями.

Густав Ми в своем исследовании, посвященном проблеме движения энергии, в частности, отмечал: «Наиболее основательным и обширным исследованием предмета (речь идет о движении энергии.— Д. Г.) мы обязаны Хевисайду», ссылаясь при этом на две работы последнего, опубликованные в журнале «Electrician». Здесь после ряда общих соображений о принципе непрерывности энергии О. Хевисайд приходит к выводу: «Пусть A — вектор потока энергии, или величина энергии, переносимая за единицу времени через единицу площади перпендикулярно к направлению переноса, T — плотность энергии. Тогда мы можем записать

$$\operatorname{con} \nabla \vec{A} = T', \text{ (или } \operatorname{div} \vec{A} = -T'),$$

т. е. дивергенция потока энергии или скорость, с которой ее теряет единица объема, сопровождается одновременно и соответственно уменьшением плотности энергии»¹¹⁵. Хевисайд вводит понятие конвекции энергии — простей-

¹¹³ «Из предыстории радио». М.— Л., Изд-во АН СССР, 1948, стр. 7 (курсив мой.— Д. Г.).

¹¹⁴ Т. П. Кравец. Эволюция учения об энергии.— «Усп. физ. наук», 1948, т. 36, стр. 342 (курсив мой.— Д. Г.).

¹¹⁵ О. Heaviside. The persistence of energy. Continuity in time and space and flux of energy.— Electrician, 1894, v. 27, p. 239.

шего переноса энергии вместе с движущимся телом, с которым она связана.

Плотность конвекционного потока энергии Хевисайд записывает в виде произведения qT , где q — скорость тела, T — плотность энергии.

Если имеет место только конвекционный перенос энергии, то уравнение примет вид;

$$\text{conv}(\vec{q}T) = T'. \quad (15)$$

В общем случае уравнение можно выразить как

$$\text{conv}(\vec{q}T + \vec{X}) = T'. \quad (16)$$

Здесь \vec{X} — поток энергии, который не может быть представлен как qT . Так, в случае упругого тела

$$\vec{X} = -P_q\vec{q},$$

где P — давление, q — скорость частиц элемента тела; см. формулу (4а) Умова.

Однако иногда, по мнению Хевисайда, нельзя пользоваться уравнением в виде (16), не зная, каким образом энергия переносится к определенному месту. Это относится, например, к гравитационной энергии. В этом случае уравнение (16) должно быть записано следующим образом:

$$S + \text{conv}(\vec{q}T + \vec{X}) = T'. \quad (17)$$

Член S может означать, например, изменение запаса энергии единицы объема благодаря гравитационным источникам, где бы они ни находились.

Подобная форма удобна, указывает Хевисайд, и для случая, когда внутри элемента объема имеются внутренние источники энергии (например, источники термо-э.д.с. и т. п.). В этом случае S есть «активность» внутренних источников.

При специальных применениях удобно плотность энергии T подразделить на различные виды энергии — потенциальную и кинетическую.

Кроме того, Хевисайд учитывает энергию, рассеиваемую необратимо. В качестве «стандартной практической формы уравнения непрерывности энергии» ученый предлагает:

$$S + \text{conv}[X + q(V + T)] = Q + V' + T',$$

где S — прирост энергии за счет внутренних источников, V — потенциальная энергия, T — кинетическая энергия локализуемого вида, $q(V+T)$ — конвекционный поток энергии, Q — скорость рассеивания энергии, X — поток энергии, отличный от конвекционного.

«Важно понять, что, поскольку мы определенным образом локализовали энергию, мы можем получить уравнение, показывающее ее непрерывность в пространстве и времени [...] Это уравнение есть просто уравнение активности динамической системы, способное показать поток энергии, и оно может быть получено всегда, если известны уравнения движения u , таким образом, природа запасаемой и расходуемой энергии»¹¹⁶.

Последнее утверждение полностью совпадает с идеями Умова, показавшего, что из уравнений движения системы могут быть получены «уравнения движения энергии», и давшего общий метод решения этой задачи.

Несколько слов по поводу исследования В. Вина, касающегося проблемы локализации и движения энергии. По мысли Вина, когда идет речь о локализации энергии, «всегда должна приниматься во внимание полная энергия, т. е. сумма потенциальной и кинетической энергии». Ученый пишет: «Пусть L — кинетическая энергия, F — потенциальная. Положим:

$$\frac{\partial (F + L)}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

и рассмотрим любое замкнутое пространство внутри системы. Тогда

$$\iiint \frac{\partial}{\partial t} (F + L) dx dy dz = - \iint (u \cos(nx) + v \cos(ny) + w \cos(nz)) dS,$$

причем интеграл слева распространен по пространству, справа по поверхности, его ограничивающей, $\cos(nx)$, $\cos(ny)$, $\cos(nz)$ означают направление нормали к поверхности. Легко видеть, что это выражает наше предположение о непрерывном распространении энергии, ибо в этом случае излишнее количество энергии в пространстве может проходить лишь через его поверхность. Оно должно быть по-

¹¹⁶ O. Heaviside. The persistence of energy..., p. 294.

этому представлено в виде поверхностного интеграла. Эта возможность связана с существованием нашего первого уравнения. Величины u, v, w — *направленные величины*. Мы их назовем *компонентами текущей энергии*¹¹⁷.

Итак, Вин начинает свое исследование с установления умовских уравнений непрерывности энергии в дифференциальной и интегральной формах. Затем он переходит к конкретным случаям.

Рассматривая движение энергии в жидких средах в отсутствие вязкости, Вин, так же как и Умов, исходит из общих уравнений гидродинамики. Умножая соответствующие уравнения на u, v, w , складывая и интегрируя по замкнутому пространству, затем выделяя поверхностный интеграл, он получает выражение закона сохранения энергии. Оно отличается от умовского уравнения (5) только присутствием членов, учитывающих объемные силы. Сопоставляя это уравнение с уравнением непрерывности (3), Вин получает выражения для компонент потока энергии:

$$\mathbf{u} = -u \left(p - hV + \frac{1}{2} hq^2 \right) \text{ и т. д.}$$

Здесь h — плотность, V — потенциальная функция внешних сил, q равняется умовской i (скорость движения частиц жидкости).

Это выражение отличается от соответствующих выражений Умова (6) лишь присутствием члена hV . Своим появлением он обязан тому, что Вин уже в исходных уравнениях учитывал объемные силы.

Далее Вин переходит к вязкой несжимаемой жидкости. Умов, как уже говорилось, рассматривал более общий случай — жидкости сжимаемой и вязкой. Не удивительно, что Вин получает уравнения, представляющие собой частный случай уравнений Н. Умова. При этом Вин берет исходные уравнения в виде

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - k^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{h} \frac{\partial p}{\partial x}$$

и двух аналогичных.

¹¹⁷ *W. Wien. Ueber den Begriff der Localisierung der Energie.* — *Ann. Phys. Chem.*, 1892, Bd. 45, S. 686.

Следуя методу Умова, ученый выводит для компонент вектора плотности потока энергии вязкой несжимаемой жидкости выражение

$$\mathbf{u} = -u \left(P - hV + \frac{1}{2} hq^2 \right) + hk^2 \left[2u \frac{\partial u}{\partial x} + v \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + w \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (18)$$

и два аналогичных для \mathbf{v} и \mathbf{w} .

Умов же исходит из уравнений

$$-\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} \right) = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \text{ и т. д.}$$

и получает выражения для компонент потока энергии в виде (8)

$$\partial l_x = u \rho \frac{q^2}{2} + p_{xx}u + p_{xy}v + p_{xz}w \text{ и т. д.}$$

Если вспомнить известные соотношения:

$$p_{xx} = -p - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x},$$

где p — скалярное давление,

$$p_{xy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right), \quad p_{xz} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right),$$

и положить hk^2 Вина равным μ , то легко показать, что уравнения Вина представляют частный случай уравнений Умова.

Аналогичная картина наблюдается и в случае твердых упругих тел. Вин и здесь в основном повторяет Умова.

Так, Вин исходит из уравнения

$$h \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = h \frac{\partial V}{\partial x} + k \left\{ 2(1 + \theta) \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} + (1 + 2\theta) \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial y} + (1 + 2\theta) \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x \partial z} \right\}$$

и двух аналогичных. Здесь ξ, η, ζ — перемещения, k, θ — постоянные величины, h — плотность, V — потенциал сил.

Следуя общему методу, ученый получает выражения компонент плотности потока энергии:

$$\mathbf{u} = k \left\{ [2(x_x + \theta\sigma) + hV] \frac{\partial \xi}{\partial t} + x_y \frac{\partial \eta}{\partial t} + x_z \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right\} \text{ и т. д.,} \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial z} \text{ и } z_x = x_z = \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial z}, \\ x_x &= \frac{\partial \xi}{\partial x}; \quad y_y = \frac{\partial \eta}{\partial y}; \quad z_z = \frac{\partial \zeta}{\partial z}; \quad y_z = z_y = \frac{\partial \eta}{\partial z} + \frac{\partial \xi}{\partial y}, \\ x_y &= y_z = \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x} - \text{деформации.} \end{aligned}$$

На первый взгляд, уравнения Вина отличны от аналогичных уравнений Умова. Однако по сути они одинаковы и лишь записаны в различных переменных. Умов исходил из уравнений упругости в компонентах напряжений и получил соответственно «уравнения движения энергии», содержащие компоненты напряжений. Вин берет за основу уравнения упругости в компонентах смещения и выводит соответственные выражения компонент потока энергии.

Выражения Вина (19), учитывая принятые им обозначения, можно переписать в виде

$$\begin{aligned} \mathbf{u} = k \left\{ \left[2 \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} + \theta \sigma \right) + hV \right] \frac{\partial \xi}{\partial t} + \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \frac{\partial \eta}{\partial t} + \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial z} \right) \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right\}. \end{aligned} \quad (20)$$

Из теории упругости известно, что компоненты напряжения связаны с компонентами смещения следующим образом:

$$\begin{aligned} p_{xx} &= \lambda \sigma + 2\mu \frac{\partial \xi}{\partial x}, \quad p_{xy} = \mu \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right), \\ p_{xz} &= \mu \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial z} \right). \end{aligned}$$

Учитывая эти соотношения и полагая $k = \mu$ и $2\theta = \lambda/\mu$, уравнение (20) представится в форме

$$\mathbf{u} = 2\mu hV \frac{\partial \xi}{\partial t} + p_{xx} \frac{\partial \xi}{\partial t} + p_{xy} \frac{\partial \eta}{\partial t} + p_{xz} \frac{\partial \zeta}{\partial t} \text{ и т. д.,}$$

совпадающей с уравнениями Умова (4) с точностью до члена, учитывающего массовые силы.

Интерес для нашего исследования представляет работа Г. Ми «Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung» (1898 г.). Упомянув в ней о работах Пойн-

тинга, Хевисайда и Вина, автор делает попытку дальнейшего развития теории движения энергии и придания ей законченного и стройного вида.

Г. Ми полагает, что учение об энергии в дополнение к принципу сохранения энергии должно базироваться еще на трех принципах.

1. Принцип локализуемости энергии. Энергию любой системы можно вычислить как сумму бесконечно многих частиц энергии, из которых каждая однозначно соответствует определенному элементу тела, т. е.

$$E = \int e d\tau,$$

где e — плотность энергии в элементе объема $d\tau$.

2. Принцип переноса (Übertragung) энергии. Изменение пространственного распределения энергии происходит только путем переноса энергии.

«Между двумя пространственно разделенными системами A и B возможен только такой обмен энергией, который необходимо связан с величинами, характеризующими состояние соединяющего обе системы тела C , так что изменение энергии dE/dt можно вычислить, если только состояние во всех точках тела C известно. В этом случае говорят, что энергия dE переходит между A и B через C . Отсюда возникает задача — найти математическую связь между величинами состояния переносчика энергии и переносом энергии (задача, поставленная и решенная Н. А. Умовым. — Д. Г.) [...]

3. Принцип локализуемости переноса энергии. Переход энергии через замкнутую поверхность S разделяется однозначно определенным образом на элементы от S :

$$-\frac{\partial E}{\partial t} = \int f_n dS,$$

$f_n dS$ есть энергия, идущая через элемент dS ; f_n зависит лишь от состояния в dS »¹¹⁸.

Затем Г. Ми получает выражение, дающее связь f_n — плотности потока энергии через произвольно ориентированную площадку dS с компонентами плотности потока

¹¹⁸ G. Mie. Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung. — Wien. Sitzungsber., 1898 (2a), Bd. 107, S. 1126.

энергий по координатным осям:

$$f_n = U\lambda + V\mu + W\nu,$$

где λ , μ и ν — направляющие косинусы нормали к площадке dS . [У Умова формула (13)].

Далее Г. Ми формулирует правило: «Если в системе Σ все переходы энергии осуществляются лишь путем локализованного течения энергии, то можно в каждой точке однозначно определить три величины — U , V , W — как функции величин, характеризующих состояние материи, с помощью которых всегда можно вычислить энергию, проходящую через любую поверхность F :

$$-\frac{dE}{dt} = \int_F (U\lambda + V\mu + W\nu) dF.$$

Тем самым найден путь решения проблемы переноса энергии»¹¹⁹.

Однако этот путь был указан Умовым еще в 1874 г.

Г. Ми специально останавливается на вопросе о направлении движения энергии, причем его формулировка этого понятия вполне аналогична умовской (см. стр. 132). «Если понимать U , V , W , — пишет Г. Ми, — как компоненты вектора

$$f = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}, \text{ то } f_n dS = f \cos(f, n) dS.$$

Из этого уравнения сразу следует, что если площадка dS параллельна f , то $f_n dS = 0$ [...]

Мы имеем здесь обобщение доказанного Кирхгофом закона для световых колебаний (Vorlesungen d. Optik, 1891, 205), что всегда должно существовать направление такого рода, что через параллельные ему элементарные площадки нет переноса энергии»¹²⁰.

Как уже говорилось, Н. А. Умов в своем автобиографическом очерке писал, что сообщил Кирхгофу свои идеи о движении энергии в телах и, возможно, данное Кирхгофом определение луча сделано «под влиянием сообщенных ему идей».

¹¹⁹ Ibid., S. 1127.

¹²⁰ Ibidem.

Таким образом, круг замкнулся: в 1874 г. Умов вводит представление о направлении движения энергии и дает общее определение луча как направления движения энергии; в 1891 г. Кирхгоф, по-видимому, под влиянием идей Умова, делает аналогичное определение луча для частного случая световых волн; наконец, в 1898 г. Г. Ми формулирует общее определение направления движения энергии (луча), совпадающее с умовским, указывая при этом, что он обобщил определение Кирхгофа.

Рассматривая движение энергии в упругих средах, Г. Ми получает выражения для компонент вектора плотности потока энергии, совпадающие с формулами Умова (4). Здесь же он, как и Умов, формулирует теорему, связывающую поток механической энергии f , давление P и скорость элемента поверхности упругого тела $\vec{\omega}$:

$$f = P_{\omega} \vec{\omega}.$$

Выше говорилось о возражении Д. Д. Томсона против выводов Пойнтинга и о предвидении Умовым возможности такого возражения (см. стр. 137).

В литературе можно встретить утверждение, что на возражение Томсона ответил Г. Ми. Действительно, Г. Ми останавливается на доводах Томсона, сводившихся к тому, что уравнение

$$-\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}$$

(где U , V , W — компоненты вектора по осям x , y , z) имеет бесчисленное множество решений. Чтобы устранить возражение Томсона, Г. Ми предлагает различать: 1) действительные токи энергии (die wirkliche Energieströme); 2) фиктивные токи энергии (die fingierte Energieströme).

«Действительный ток энергии есть вектор, компоненты которого U , V , W удовлетворяют следующим трем условиям.

1. Они удовлетворяют уравнению

$$-\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}.$$

2. Они есть чистые функции величин состояния материи в точке (x, y, z) и не содержат явно координаты и время.

3. Они представляют только реализуемый поток энергии через элементы поверхности, проходящие через точку (x, y, z) »¹²¹.

Любопытно, что сформулированные Г. Ми условия для действительных токов энергии совпадают с условиями, к которым приходит Н. А. Умов в статье «Ableitung...» (см. стр. 138). Фиктивными токами энергии Г. Ми называет все векторы, удовлетворяющие уравнению непрерывности, но противоречащие остальным требованиям.

В заключение Г. Ми переходит к переносу энергии в электромагнитном поле (об этом мы расскажем в специальном параграфе).

Несколько особняком стоят работы итальянского ученого В. Вольтерра, в которых «идеи Пойнтинга и Вина» о потоке энергии распространяются на случай системы дискретных масс, притягивающихся по закону тяготения Ньютона. При этом ученый получает выражения для компонент вектора плотности потока энергии, весьма близкие к соответствующим выражениям Умова (11).

Движение энергии в электромагнитном поле. Впервые выражение для вектора плотности потока энергии в электромагнитном поле было получено Пойнтингом в 1884 г. Заметим, что если в работах Умова было развито цельное учение о локализации и движении энергии, то Пойнтингу, который интересовался специально проблемой электромагнитной энергии, не пришлось заниматься первой частью проблемы — идея локализации этого вида энергии лежала в основе концепций Фарадея и получила законченное обоснование в трудах Максвелла, создавшего теорию электромагнитного поля. Исследование Пойнтинга, введенное им представление о потоке электромагнитной энергии явились логическим и весьма важным шагом в развитии теории Максвелла. «Он сделал этот шаг, — писал М. Лауэ, — исследуя полученное им математическое следствие уравнений Максвелла, а завершил его значительно большим: введением совершенно нового физического представления»¹²².

Работа Пойнтинга, как мы уже говорили, вызвала огромный интерес к проблеме локализации и движения энергии. Пойнтингу начали приписывать заслугу введе-

¹²¹ G. Mie. Entwurf einer allgemeinen..., S. 1128.

¹²² М. Лауэ. Статьи и речи. М., «Наука», 1969, стр. 180.

ния в теоретическую физику вообще понятий движения энергии, потока энергии. Ряд виднейших ученых стал переносить «идеи Пойнтинга» на другие виды энергии (получая результаты, в основном повторяющие Умова).

Почти все эти исследователи формулировали сначала основные принципы общего учения о локализации и движении энергии, вслед за Умовым получая уравнение непрерывности энергии, вводя понятия потока энергии, направления энергии и т. д., и справедливо рассматривали движение энергии в электромагнитном поле как частный случай общего учения о движении энергии наряду с другим и конкретными случаями (движение энергии в упругих телах, в жидких средах с трением и без трения и т. д.).

Западноевропейские исследователи пришли к выражениям вектора плотности потока энергии для упругих тел и жидкостей, пользуясь методом, развитым Умовым, и, естественно, повторили его результаты. Напомним, что этот метод заключался в использовании уравнений движения среды, соответствующих рассматриваемому случаю.

Распространяя этот метод на случай электромагнитного поля (роль уравнений движения — «динамических уравнений», как их называет Хевисайд, играют здесь уравнения Максвелла), указанные исследователи получают выражение для вектора плотности потока электромагнитной энергии.

В качестве примера обратимся к работам В. Вина, О. Хевисайда, Г. Ми и посмотрим, как они рассматривали вопрос о локализации и движении энергии в электромагнитном поле. Но прежде вспомним вывод теоремы Пойнтинга, данный Г. Герцем в статье «Силы электрических колебаний», рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла (1889 г.). Герц записывает уравнения Максвелла в форме:

$$\begin{aligned} A \frac{\partial L}{\partial t} &= \frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial z}, & A \frac{\partial X}{\partial t} &= \frac{\partial M}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial y}, \\ A \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial y}, & A \frac{\partial Y}{\partial t} &= \frac{\partial N}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial z}, \\ A \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{\partial X}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial x}, & A \frac{\partial Z}{\partial t} &= \frac{\partial L}{\partial y} - \frac{\partial M}{\partial x}, \end{aligned}$$

где A — величина, обратная скорости света, X, Y, Z — компоненты «электрической силы», L, M, N — компоненты «магнитной силы».

«Умножая первые три уравнения на L , M , N и вторые — на X , Y , Z , — пишет Герц, — складывая все уравнения и интегрируя по объему, элемент которого равен $d\tau$, а элемент поверхности — $d\omega$, получаем:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{8\pi} \int (X^2 + Y^2 + Z^2) d\tau + \frac{1}{8\pi} \int (L^2 + M^2 + N^2) d\tau \right\} = \\ = \frac{1}{4\pi A} \int \left\{ (NY - MZ) \cos(n, x) + (LZ - NX) \cos(n, y) + \right. \\ \left. + (MX - LY) \cos(n, z) \right\} d\omega, \end{aligned}$$

где (n, x) , (n, y) , (n, z) означают углы, образуемые нормалью к $d\omega$ с осями координат.

Последнее уравнение показывает, что прирост энергии в некотором объеме может рассматриваться как увеличение энергии за счет притока ее через поверхность. Количество энергии, проходящее через отдельные элементы поверхности, равно произведению компонент электрической и магнитной сил на этой поверхности, умноженному на синус угла, образуемого ими, и деленному на $4\pi A$. Как известно, базируясь на этом результате, Пойнтинг разработал «замечательную теорию о движении энергии в электромагнитном поле»¹²³.

Совершенно очевидно, что этот вывод полностью сделан по схеме и методу Н. А. Умова.

В. Вин полностью повторяет вывод Герца.

О. Хевисайд, развивая свою общую теорию движения энергии, указывал, что, если известны уравнения движения динамической системы и тем самым — природа «запасаемой и расходуемой энергии», всегда можно получить уравнение, показывающее ее непрерывность во времени и пространстве.

В случае электромагнитного поля «уравнениями движения» служат уравнения Максвелла.

Полученное на их базе уравнение сохранения энергии, по мнению Хевисайда, «должно быть динамически интерпретировано в соответствии с принципом непрерывности энергии». Именно таким путем Хевисайд приходит к выражению вектора плотности потока энергии в электромагнитном поле.

¹²³ Цит. по сб.: «Из предыстории радио», стр. 167.

Легко видеть, что Хевисайд прямо следует методу Н. А. Умова: из уравнений движения системы получает выражение закона сохранения энергии и интерпретирует его в соответствии с уравнением непрерывности энергии.

Г. Ми примерно аналогичным образом выводит выражение вектора потока энергии в электромагнитном поле. Уравнения Максвелла в форме Герца умножаются им соответственно на X , Y , Z , L , M , N , складываются и интегрируются. Считая выражение для плотности энергии поля известным, Ми находит

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -\frac{1}{4\pi} \left[\frac{\partial}{\partial x} (YN - ZM) + \frac{\partial}{\partial y} (ZL - XN) + \frac{\partial}{\partial z} (XM - YL) \right].$$

«Если, — подчеркивает он, — положить

$$U = \frac{1}{4\pi} (YN - ZM); \quad V = \frac{1}{4\pi} (ZL - XN); \\ W = \frac{1}{4\pi} (XM - YL),$$

то можно утверждать:

1. Эти величины удовлетворяют условию:

$$-\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}.$$

2. Они содержат координаты и время неявно, т. е. являются чистыми функциями величин состояния.

Третий вопрос — являются ли они реализуемым потоком энергии — я оставляю открытым»¹²⁴.

Таким образом, работы Г. Герца, О. Хевисайда, В. Вина, Г. Ми показывают, что, как правило, вывод выражения вектора потока энергии в электромагнитном поле производится в соответствии с общим методом, разработанным Н. А. Умовым. Аналогичное можно сказать и о современной литературе¹²⁵.

Наконец обратимся к неоднократно упоминавшейся работе Пойнтинга. По существу вывод Пойнтинга не отличается от приведенных выше выводов Герца и других.

¹²⁴ G. Mie. Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung. Wien. Sitzungsber., 1898 (2a), Bd. 107, S. 1146—1147.

¹²⁵ См., например, Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теория поля. М., Физматгиз, 1960, § 31.

т. е. проведен по общему методу — с помощью уравнений Максвелла и выражения плотности электромагнитной энергии Пойнтинг получает уравнение, в которое входит, с одной стороны, объемный интеграл, представляющий изменение электромагнитной энергии за единицу времени, с другой — поверхностный интеграл, который истолковывается как полный поток энергии через поверхность, ограничивающую рассматриваемый объем. Однако внешне вывод, которому следовал Пойнтинг, представляется более громоздким: ученый пользуется уравнениями Максвелла в их первоначальном виде. Пойнтинг следующим образом описывает метод, которому он следовал при выводе закона движения энергии в электромагнитном поле.

Выражение Максвелла для плотности электромагнитной энергии имеет вид

$$\frac{k\mathfrak{C}^2}{8\pi} + \frac{\mu\mathfrak{H}^2}{8\pi}.$$

Здесь \mathfrak{C} и \mathfrak{H} — соответственно напряженности электрического и магнитного полей («электродвижущая» и «магнитная» силы), k — «диэлектрическая емкость» (проницаемость), μ — магнитная проницаемость. Изменение плотности и энергии в секунду в результате каких-либо изменений в подводе или распределении энергии будет

$$\frac{k\mathfrak{C}}{4\pi} \frac{d\mathfrak{C}}{dt} + \frac{\mu\mathfrak{H}}{4\pi} \frac{d\mathfrak{H}}{dt}. \quad (21)$$

По Максвеллу, полный электрический ток \mathfrak{S} состоит из двух частей — тока проводимости \mathfrak{R} и тока смещения $\frac{k}{4\pi} \frac{d\mathfrak{C}}{dt}$:

$$\mathfrak{S} = \mathfrak{R} + \frac{k}{4\pi} \frac{d\mathfrak{C}}{dt}.$$

Умножив обе части этого равенства на \mathfrak{C} , Пойнтинг получает для первой части плотности электромагнитной энергии

$$\frac{k\mathfrak{C}}{4\pi} \frac{d\mathfrak{C}}{dt} = \mathfrak{S}\mathfrak{C} - \mathfrak{R}\mathfrak{C}. \quad (22)$$

«Первый член правой части этого выражения можно преобразовать заменой компонент полного тока их выражениями через компоненты магнитной силы, в то время как второй член — произведение тока проводимости на электро-

движущую силу, согласно закону Ома $\mathfrak{K} = C\mathfrak{E}$, равен \mathfrak{K}^2/C , где C — удельная проводимость. Но эта величина, согласно закону Джоуля, представляет собой энергию, проявляющуюся в цепи в виде тепла на единицу объема. Если мы сложим преобразованные указанным образом величины, входящие в выражение (3) [у нас (22). — Д. Г.], то интеграл от первого члена по *всему пространству внутри замкнутой поверхности* может быть взят по частям и мы найдем, что он состоит из двух членов. Один из них будет выражением, зависящим только от поверхности, причем каждая часть поверхности вносит в него долю, зависящую от значений электрической и магнитной силы на этой части. Другой член выражает изменение магнитной энергии в секунду, т. е. второй член выражения (2) [у нас (21). — Д. Г.] с обратным знаком. Интеграл от второго члена выражения (3) представляет собой полное количество тепла, развиваемого в проводниках, находящихся в пределах поверхности в одну секунду. Мы получаем, таким образом, следующий результат. Изменение в секунду электрической энергии, содержащейся внутри поверхности, равно величине, зависящей от поверхности, минус изменение в секунду магнитной энергии, минус тепло, развиваемое в цепи. Или, переставляя изменение суммы заключенных внутри поверхности электрической и магнитной энергий в секунду, вместе с теплом, развиваемым токами, равно величине, в которую каждый элемент поверхности вносит свою долю, зависящую от значения электрической и магнитной сил на этом элементе»¹²⁶, величине, отождествляемой Пойнтингом с потоком энергии через поверхность, ограничивающую среду. Другими словами, Пойнтинг, пользуясь известным выражением плотности электрической и магнитной энергии и ее производной по времени, преобразует последнее выражение с помощью уравнений Максвелла и, интегрируя по всему пространству внутри замкнутой поверхности, выделяет с помощью интегрирования по частям поверхностный интеграл. Поскольку прочие члены представляют собой изменения в секунду того или иного вида энергии, заключенной внутри поверхности, поверхностный интеграл в соответствии с законом сохранения энергии дает полный поток энергии через рассматриваемую поверхность.

¹²⁶ Цит. по сб.: «Из предьстории радио», стр. 234.

Метод Пойнтинга вполне укладывается в общую схему, предложенную Умовым.

Не будем подробно проследивать вывод Пойнтинга. Однако отметим, что интегрирование выражения (22) дает:

$$\frac{k}{4\pi} \iiint \left(P \frac{dP}{dt} + Q \frac{dQ}{dt} + R \frac{dR}{dt} \right) d\omega = \\ = \iiint (Pu + Qv + Rw) d\omega - \iiint (Pp + Qq + Rr) d\omega,$$

где $P, Q, R; u, v, w; p, q, r$ — компоненты соответственно векторов \vec{E}, \vec{S} и \vec{R} .

После ряда преобразований, выразив величины u, v, w через компоненты α, β, γ магнитной силы и используя интегрирование по частям, Пойнтинг получает:

$$\frac{k}{4\pi} \iiint \left(P \frac{dP}{dt} + Q \frac{dQ}{dt} + R \frac{dR}{dt} \right) d\omega + \\ + \frac{\mu}{4\pi} \iiint \left(\alpha \frac{d\alpha}{dt} + \beta \frac{d\beta}{dt} + \gamma \frac{d\gamma}{dt} \right) d\omega + \iiint (Xx' + Yy' + \\ + Zz') d\omega + \iiint (Pp + Qq + Rr) d\omega = \frac{1}{4\pi} \iiint \{ l (R_1\beta - \\ - Q_1\gamma) + m (P_1\gamma - R_1\alpha) + n (Q_1\alpha - P_1\beta) \} dS,$$

где, кроме уже известных обозначений, X, Y, Z — компоненты «электромагнитной силы» (силы, действующей на проводники, заключенные внутри поверхности), x', y', z' — скорости движения проводников, P_1, Q_1, R_1 — части P, Q, R , не содержащие скоростей.

«Первые два члена этого выражения, — пишет Пойнтинг, — представляют прирост в секунду электрической и магнитной энергий. Третий член выражает работу в секунду электромагнитных сил (т. е. энергию, расходуемую на движение тел, в которых существуют токи). Четвертый член выражает энергию, превращаемую в тепло, химическую энергию, и т. д. [...] Левая часть уравнения, таким образом, выражает общее увеличение энергии за секунду внутри замкнутой поверхности; из уравнения следует, что эта энергия приходит через поверхность, каждый элемент которой вносит количество энергии, выражаемой правой частью уравнения»¹²⁷.

¹²⁷ J. H. Poynting. On the transfer energy in the electromagnetic field.— Phil. Trans., 1884, v. 175, p. 349.

Поверхностный интеграл может быть переписан в виде

$$\frac{1}{4\pi} \iint \mathfrak{E}_1 \mathfrak{H} \sin \theta (Ll + Mm + Nn) dS, \quad (23)$$

где \mathfrak{E}_1 — вектор с компонентами P_1, Q_1, R_1 , θ — угол между направлениями \mathfrak{E} и \mathfrak{H} , l, m, n — направляющие косинусы нормали к элементу поверхности dS ,

$$L = \frac{R_1\beta - Q_1\gamma}{\mathfrak{E}_1 \mathfrak{H} \sin \theta}; \quad M = \frac{P_1\gamma - R_1\alpha}{\mathfrak{E}_1 \mathfrak{H} \sin \theta}; \quad N = \frac{Q_1\alpha - P_1\beta}{\mathfrak{E}_1 \mathfrak{H} \sin \theta}$$

— направляющие косинусы нормали к плоскости, содержащей \mathfrak{E}_1 и \mathfrak{H} . «Если в данной точке элемент dS совпадает с плоскостью, содержащей $\mathfrak{E}_1 \mathfrak{H}$, то он вносит наибольшее количество энергии в рассматриваемый объем. Другими словами, энергия следует в направлении, перпендикулярном плоскости, содержащей \mathfrak{E}_1 и \mathfrak{H} . Ее количество, пересекающее единицу поверхности в секунду, равно:

$$\frac{\mathfrak{E}_1 \mathfrak{H}}{4\pi} \sin \theta.$$

[...] Если поверхность берется там, где тела не имеют скорости, \mathfrak{E}_1 становится равным \mathfrak{E} , и количество энергии, пересекающей за секунду единицу площади, перпендикулярной к потоку, будет:

$$\frac{\text{электродвижущая сила} \times \text{магнитная сила} \times \text{угол между ними}}{4\pi}, \quad 128.$$

Получив этот основной результат, Пойнтинг рассматривает затем некоторые конкретные случаи приложения закона переноса энергии.

Сначала он обращается к случаю прямого провода с постоянным током и получает казавшийся в то время парадоксальным результат, с которым многие ученые долго не могли примириться: «Картина такова, что вдоль провода нет передачи энергии, но что энергия поступает из непроводящей среды, окружающей проволоку, и, как только входит в нее, начинает превращаться в тепло [...] Ток в месте нахождения так называемой электродвижущей силы представляет собой по существу вытекание энергии из проводника в среду»¹²⁹.

¹²⁸ Ibidem, p. 349.

¹²⁹ Ibidem, p. 361.

Затем Пойнтинг разбирает еще ряд конкретных случаев, в том числе приложение к электромагнитной теории света. В последнем случае он, исходя из выражения потока энергии, определяет скорость распространения плоской электромагнитной волны. Это аналогично тому, как Н. А. Умов, основываясь на выражении плотности потока энергии в упругих средах, нашел скорость распространения упругих волн.

Значение идей Умова в дальнейшем развитии учения об энергии. В начале 70-х годов XIX в., когда Умов выступил, по выражению профессора А. С. Предводителя, как «глашатай новых идей», учение об энергии находилось на сравнительно ранней стадии своего развития. К этому времени закон сохранения и превращения энергии, установленный в середине XIX в. трудами Майера, Гельмгольца, Джоуля, Ленца и ряда других ученых, получил всеобщее признание естествоиспытателей как фундаментальный закон природы. Однако к этому же времени относятся попытки развенчать закон сохранения энергии. Так, в 1872 г. вышла работа австрийского физика и философа-идеалиста Э. Маха «История и корень принципа сохранения энергии», в которой он пытался оспорить главенствующую роль в естествознании закона сохранения и превращения энергии и свести его значение к уровню других законов физики, например закона Бойля—Мариотта.

«Мы при спокойном и тщательном изучении не найдем в таком законе ничего существенно большего, чем во всяком другом законе природы»¹³⁰.

Впрочем, для Маха все законы физики суть не объективные законы природы, а лишь связь между нашими ощущениями.

Умов, в противоположность Маху и его последователям, видел в законе сохранения энергии основной, важнейший закон природы. Именно поэтому он брал его в основу своих научных работ, рассматривая как отправной, исходный момент исследования. Это можно видеть уже на примере его магистерской и докторской диссертаций.

Учение об энергии отнюдь не было завершено установлением закона сохранения и превращения энергии.

¹³⁰ См. С. Суворов. Книга М. Планка и борьба за закон сохранения и превращения энергии.— В кн. М. Планк. Принцип сохранения энергии, М.—Л., ГОНТИ, 1938, стр. XXIV,

Следующим важным шагом явилось введение представления о пространственной локализации энергии Максвеллом специально для случая энергии электромагнитного поля, Умовым — для энергии любого рода. Одновременно Умов ввел представление о движении энергии.

Исходя из представлений о локализации и распространении энергии, Умов приходит к фундаментальному понятию потока энергии и на его основе — к новой формулировке закона сохранения энергии; согласно его трактовке, изменение энергии в каком-либо объеме в единицу времени определяется полным потоком энергии через поверхность, ограничивающую объем.

Заметим, что если обычная формулировка этого закона относится к так называемым изолированным, или замкнутым, системам, так как утверждает сохранение энергии в такой системе, то умовская трактовка применима к любой части системы, учитывая ее связь и взаимодействие с другими частями той же системы и любыми другими системами.

Умовская формулировка закона сохранения энергии с помощью понятия потока энергии оказалась весьма плодотворной и нашла широкое применение в современной физике. Она приводится и используется во всех курсах электродинамики и теории полей вообще, теории упругости, гидродинамике, акустике, теории относительности и др., к сожалению, как правило, без упоминания имени Умова.

Планк утверждение о том, что полный поток энергии через замкнутую поверхность определяет изменение находящейся внутри поверхности энергии, называет «теоремой большого практического значения»¹³¹. Он же использует эту теорему как исходный пункт исследования в одной из важных работ по электродинамике движущихся сред. «С точки зрения теории близкодействия, — пишет Планк, — можно полагать, что каждый род энергии изменяется только путем непрерывного распространения, а не путем скачкообразного изменения его места в пространстве. Поэтому принцип энергии требует вообще, чтобы изменение полной энергии, находящейся в пространстве, было равно поверхностному интегралу, именно:

¹³¹ М. Планк. Введение в теоретическую физику, ч. 3. М.—Л., Гостехиздат, 1933, стр. 89.

алгебраической сумме всех энергий, втекающих в пространство через ограничивающую его поверхность. Поток может осуществляться путем излучения, которое описывается вектором Пойнтинга, путем кондукции — при наличии давления или удара, а также при теплопроводности и путем конвекции — при переходе весоных атомов или электронов через рассматриваемую поверхность»¹³².

В своем курсе теории относительности Бергман подчеркивает: «Существует закон сохранения энергии, согласно которому изменение в элементе объема определяется балансом потока энергии, протекающего через этот элемент»¹³³.

В этих примерах, а их легко можно было умножить, по существу формулируется теорема Умова.

Представление о потоке энергии и теорема Умова о сохранении энергии послужили отправным пунктом для дальнейшего развития учения об энергии.

В 1884 г. Пойнтинг формулирует теорему, являющуюся частным случаем общей теоремы Умова для электромагнитного поля, и, как ее следствие, находит выражение вектора плотности потока электромагнитной энергии.

В 1899 г. П. Н. Лебедев экспериментально обнаруживает давление световой волны на твердые тела и доказывает на опыте правильность максвелловского вывода о равенстве светового давления плотности электромагнитной энергии (в случае поглощающего тела). Из этих опытов непосредственно следует, что электромагнитные волны обладают количеством движения (импульсом), как и другие формы движущейся материи.

Спустя год А. Пуанкаре из теоретических соображений приходит к выводу, что электромагнитное поле обладает импульсом, величина которого (для единицы объема) связана с вектором плотности потока электромагнитной энергии соотношением

$$\vec{g} = \frac{\vec{S}}{c^2}. \quad (24)$$

Нетрудно видеть, что это соотношение непосредственно вытекает из результатов опытов П. Н. Лебедева.

¹³² *M. Planck. Bemerkungen zum Prinzip des Aktion und Reaktion in allgemeinen Dynamik.*— *Phys. Z.*, 1908, Bd. 9, S. 828.

¹³³ *П. Г. Бергман. Введение в теорию относительности.* М., ИЛ, 1947, стр. 170.

В 1905 г. Эйнштейн получил как универсальный закон природы закон взаимосвязи массы и энергии, согласно которому общий запас энергии тела связан с общей массой этого тела соотношением

$$E = mc^2. \quad (25)$$

Спустя два года Планк высказал гипотезу, что в «теории относительности можно количество движения вполне общим путем свести к такому вектору, который выражает поток энергии, причем не только электромагнитный поток энергии Пойнтинга, но поток энергии в самом общем виде»¹³⁴, и что соотношение (24) должно иметь самый универсальный характер.

В качестве примера Планк рассматривает весомую жидкость, движущуюся со скоростью q под давлением P . При этом он показывает, что, приняв за исходное соотношение (24), можно получить эйнштейновское выражение (25).

Аналогичный ход рассуждений встречается и в последующей литературе. Можно показать, напротив, что универсальное соотношение Планка (24) необходимо следует из закона взаимосвязи между массой и энергией (25).

В самом деле, в соответствии с законом Эйнштейна перенос энергии, поток энергии неизменно сопровождается переносом массы — потоком массы. Нетрудно показать, что поток массы как раз равен количеству движения или импульсу.

Паули полагает, что закон Планка (24) представляет собой обобщение закона взаимосвязи массы и энергии Эйнштейна. «Это — высказанный впервые Планком закон импульса потока энергии, вследствие которого любой поток энергии связан с импульсом. *Этот закон можно рассматривать как расширенную формулировку закона инертности энергии* (закон взаимосвязи массы и энергии. — Д. Г.). В то время как последний относится ко всей энергии, первый сообщает также нечто и о локализации энергии и импульса»¹³⁵.

¹³⁴ *M. Planck. Bemerkungen zum Prinzip der Aktion und Reaktion in allgemeinen Dynamik.* — Phys. Z., 1908, Bd. 9, S. 828.

¹³⁵ *В. Паули. Теория относительности.* М.—Л., Гостехиздат, 1947, стр. 183 (курсив мой.— Д. Г.).

Об этом же говорит и М. Лауэ: «Сюда присоединяется расширение Планком (1908) эйнштейновского закона инертности энергии: с любым потоком энергии связан импульс (в смысле механики). Плотность импульса, т. е. импульс в единице объема, получается делением плотности потока энергии на квадрат скорости света»¹³⁶.

Планковское понимание соотношения (24) как универсального закона природы общепринято в современной теоретической физике. Например, В. А. Фок в книге «Теория пространства, времени и тяготения» пишет: «Деленный на c^2 поток энергии данного вида равен потоку массы, соответствующей этому виду энергии, а поток массы в свою очередь равен количеству движения»...

«Здесь [...] скаляр и вектор Умова представляют плотность и поток активной части энергии (деленные на c^2 , эти величины дают плотность и поток активной части массы)»¹³⁷.

Планковское соотношение (24) утверждает неразрывную связь между вектором потока энергии и вектором импульса — любой поток энергии несет импульс. Этот результат, в свою очередь, приводит к таким интересным следствиям, как давление волн, отдача при излучении и т. д.

Заметим, наконец, что часто употребляемые выражения «импульс потока энергии», «закон импульса потока энергии» для соотношения (24) являются неудовлетворительными в методологическом отношении, как и выражения «масса энергии» или «инерция энергии».

Правильно рассматривать поток энергии, с одной стороны, и импульс, с другой стороны, как две различные характеристики одного и того же материального процесса (аналогично тому, как энергия и масса, или инертность, являются двумя различными характеристиками материи).

В теории относительности доказывается, что в случае электромагнитного поля уравнение сохранения энергии Умова, которое при наличии работы пондеромоторных сил (поле с зарядами) может быть записано в виде:

$$\frac{\delta W}{\delta t} + \operatorname{div} \vec{S} + (\vec{f} \vec{u}) = 0, \quad (26)$$

¹³⁶ М. Лауэ. История физики. М., Гостехиздат, 1956, стр. 105.

¹³⁷ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения. М., Физматгиз, 1961, стр. 152 и 155.

вместе с выражением плотности пондермоторных (лоренцовых) сил электромагнитного поля, получаемым в электродинамике:

$$\vec{f} = \operatorname{div} T - \frac{\partial \vec{g}}{\partial t}, \quad (27)$$

где T — тензор максвелловских натяжений, $\vec{g} = \vec{S}/c^2$ — плотность электромагнитного импульса, могут быть объединены в четырехмерное векторное уравнение. Это уравнение, следуя Минковскому, можно выразить так:

$$f_i = - \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j}, \quad (28)$$

где \vec{f} — вектор плотности пондермоторных сил, T_{ij} — компоненты четырехмерного тензора ($i, j = 1, 2, 3, 4$). Девять пространственных компонент ($i, j = 1, 2, 3$) этого тензора совпадают с компонентами трехмерного тензора поверхностных натяжений, шесть пространственно-временных компонент будут:

$$T_{i4} = -icg_i; \quad T_{4i} = -\frac{i}{c} S_i, \quad (29)$$

и временная компонента равна плотности энергии $T_{44} = W$. Тензор T , следовательно, можно записать в виде:

$$T_{ij} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & -icg_1 \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & -icg_2 \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & -icg_3 \\ -\frac{i}{c} S_1 & -\frac{i}{c} S_2 & -\frac{i}{c} S_3 & W \end{pmatrix}. \quad (30)$$

Выражение (28) для $i = 1, 2, 3$ дает закон сохранения для трех компонент импульса, а для $i = 4$ — закон сохранения энергии. Поэтому его называют законом сохранения энергии — импульса, а тензор (30) — тензором энергии — импульса электромагнитного поля.

Для случая чистого электромагнитного поля без зарядов уравнение закона сохранения энергии (26) примет вид

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{S} = 0,$$

а соотношение (28) будет

$$\frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j} = 0.$$

Релятивистское понимание закона сохранения энергии импульса имеет не только формальный, но и физический интерес. В соответствии с пониманием в соотношении (26) вектора \vec{S} как потока энергии естественно рассматривать величины T_{ik} как компоненты потока импульса. Поскольку импульс сам является вектором, то его поток образует в обыкновенном пространстве тензор. Таким образом, натяжения Максвелла, которые ранее рассматривались как чисто вспомогательные величины, приобретают физическое значение ¹³⁸.

В современной теории поля доказывается существование тензора энергии — импульса не только для электромагнитного, но и для любых других полей, а также для макроскопических тел и вообще для любой физической системы ¹³⁹.

Скорость движения энергии. Выше отмечалось, что введенное Умовым определение скорости движения энергии как отношения плотности потока энергии к плотности энергии (строго справедливое для плоских волн) является общепринятым. Л. Мандельштам в «Лекциях по некоторым вопросам теории колебаний», например, писал: «Какое же определение скорости перемещения энергии следует признать наиболее целесообразным?»

Рассечем волну поверхностью, перпендикулярной к направлению распространения. Если в среднем за единицу времени количество энергии справа от единичной площадки на этой поверхности увеличивается на \bar{S} , а слева настолько же уменьшается (или наоборот), а средняя плотность энергии возле рассматриваемой площадки есть \bar{E} , то естественно считать:

$$u = \frac{\bar{S}}{\bar{E}}$$

скоростью перемещения энергии» ¹⁴⁰.

¹³⁸ Подробнее в кн. В. Паули. Теория относительности, стр. 129.

¹³⁹ См. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теория поля. М., Физматгиз, 1960, § 32.

¹⁴⁰ Л. И. Мандельштам. Полн. собр. тр., т. V. М., Изд-во АН СССР, М., 1950, стр. 462.

Это определение скорости энергии Мандельштам приписывает Рэлею: «Скорость распространения энергии по определению (идущему от лорда Рэля) имеет следующее значение:

$$u = \frac{\bar{S}}{\bar{E}},$$

где \bar{S} — среднее по времени значение вектора Пойнтинга, а \bar{E} — средняя величина энергии в единице длины»¹⁴¹.

Однако очевидно, что определение, идущее от Рэля, ничем не отличается от определения, идущего от Умова. По-видимому, Мандельштам имеет в виду статью Рэля «On the progressive waves», опубликованную в 1877 г. В 1876 г. впервые Стокс заметил, что конечная группа синусоидальных волн перемещается со скоростью, существенно отличной от фазовой скорости $v = \omega/k$, где ω — частота, k — волновое число. Рэлей назвал эту скорость группы групповой скоростью и получил в 1877 г. для ее величины выражение:

$$u = \frac{d\omega}{dk}.$$

Первоначально групповая скорость понималась как чисто кинематическое понятие. В том же 1877 г. Рейнольдс придал групповой скорости динамический смысл. Он объяснил причину того, что групповая скорость волн на глубокой воде составляет только 1/2 скорости индивидуальных волн. Путем расчета переноса энергии через вертикальную площадку он нашел, что энергия, проходящая за некоторое время площадку, при распространении группы волн равна только 1/2 энергии, необходимой для образования отдельной волны, проходящей через площадку за то же самое время. Итак, если последовательность волн ограничена, фронт ее не может распространяться со скоростью, равной скорости волн, поскольку для этого необходима энергия, большая, чем может быть получена.

Сам Рейнольдс ничего не говорил о скорости распространения энергии. Дальнейший шаг делает Рэлей в упомянутой выше статье. Приведем рассуждение Рэля. Изложив вывод, полученный Рейнольдсом, он пишет:

¹⁴¹ Л. И. Мандельштам. Полн. собр. тр., т. II, 1947, стр. 337.

«Отношение распространяющейся энергии к энергии проходящих волн равно $u : v$; таким образом, энергия, распространяющаяся в единицу времени, равна части $u : v$ той энергии, которая имеется на отрезке v , или в u раз больше той энергии, которая приходится на единицу длины.

Следовательно,

$$\frac{\text{энергия, распространяющаяся в единицу времени}}{\text{энергия, приходящаяся (в среднем) на единицу длины}} = \frac{d(kv)}{dk} \text{ } ^{142}.$$

Заметим, что Рэлей также не употребляет еще для стоящей слева величины термина «скорость движения энергии». По существу же им показано, что групповая скорость совпадает со скоростью движения энергии, определенной по Умову.

Мы уже указывали, что понятие «скорость движения энергии» с большим трудом вошло в науку. В самом деле, этот термин не встречается ни в упомянутой выше работе Рэрея, ни в одной из работ, специально посвященных проблеме локализации и распространения энергии, о которых говорилось выше.

По-видимому, этот термин впервые в более позднее время употребляет Ван-дер-Ваальс (младший).

В 1911 г. между ним и Лауэ возникла полемика по вопросу о правомерности понятия скорости движения энергии и его толковании.

Ван-дер-Ваальс, исходя из выражения плотности импульса электромагнитного поля $\vec{g} = \vec{S}/c^2$ и полагая (в соответствии с релятивистским соотношением между массой и энергией), что «масса количества энергии E равна E/c^2 !» приходит к выводу: «Скорость этой массы (массы энергии.— *Д. Г.*) в электромагнитном поле может быть рассматриваема как

$$\omega = \frac{S}{W},$$

где W — плотность энергии» ¹⁴³.

Таким образом, Ван-дер-Ваальс приходит к соотношению, внешне совпадающему с тем, что получил Умов.

¹¹² *J. Rayleigh*. On the progressive waves.— Proc. London Math. Soc., 1877, v. 9, p. 31.

¹⁴³ *J. D. Van-der-Waals*, *yr*. Energy and masse.— Proc. Amsterdam Akad. wet., 1911, v. 14, p. 241.

Однако в понимании этого соотношения тем и другим ученым имеется существенное отличие.

Ван-дер-Ваальс, говоря о «массе» энергии, становится на позиции «неоэнергетики», порожденной философски несостоятельным толкованием закона взаимосвязи массы и энергии. Скорость движения энергии, по Ван-дер-Ваальсу, есть скорость движения массы энергии.

Умов первичным считает понятие потока энергии; скорость движения энергии не есть скорость частиц энергии или «массы» энергии.

Ван-дер-Ваальс, рассматривая перенос энергии как движение «массы» энергии, естественно, полагает, что при переходе от одной системы координат к другой для скорости движения энергии применима теорема Эйнштейна о сложении скоростей. Наконец, Ван-дер-Ваальс выражает сомнение в правильности формулы преобразования для потока энергии, данной Лауэ. По его мнению, она не вытекает из трансформационных формул для плотности энергии и скорости ее движения (если последняя определяется соотношением $\omega = S/W$).

Лауэ возражает Ван-дер-Ваальсу: «Представление о потоке энергии было образовано по аналогии с представлением о потоке жидкости. Если обозначить плотность жидкости ρ , ее скорость q , то плотность потока есть ρq . В своей статье Ван-дер-Ваальс относит это соотношение к потоку энергии и приходит к понятию скорости движения энергии, которая связана с потоком энергии S и плотностью W соотношением

$$\omega = \frac{S}{W}.$$

Эта скорость кажется ему более ясным понятием, из которого может быть дедуцировано понятие потока энергии»¹⁴⁴.

Лауэ считает, по-видимому, что Ван-дер-Ваальсу принадлежит определение скорости движения энергии как отношения плотности потока энергии к ее плотности. Такое представление о скорости движения энергии Лауэ считает весьма сомнительным. Ему кажется, что «не может быть приписано большого значения концепции скорости

¹⁴⁴ *M. Laue. On the conception of the current of energy.— Proc. Amsterdam Akad. wet., 1911, v. 14, p. 825.*

движения энергии». Он считает, что «скорость движения энергии не может быть трансформирована тем же путем, как скорость материальной точки», и, следовательно, теорема сложения скоростей Эйнштейна неприменима к скорости движения энергии. «Требование, чтобы теорема сложения была применима,— пишет Лауэ,— предполагает, что для энергии, как для материи, мы можем различать индивидуально частицы, из которых она состоит. Только при таком предположении можно сравнивать друг с другом пути частицы энергии относительно двух различных движущихся систем координат, что затем приводит к теореме сложения Эйнштейна».

Таким образом, справедливо возражая против энергетических популяций Ван-дер-Ваальса, Лауэ приходит к отрицанию или во всяком случае к сомнению в правомерности введения понятия «скорость движения энергии».

Ван-дер-Ваальс, продолжая отстаивать свою точку зрения, в одной из статей писал: «Лауэ полагает, что мы не можем представлять себе поток энергии как произведение двух факторов: плотности и скорости энергии,—и особенно подчеркивает, что в случае преобразования Лоренца эта скорость не должна трансформироваться, согласно обычной формуле для преобразования скоростей [...] Он придерживается мнения, что не может оправдать приписывание скорости энергии, так как мы не можем индивидуализировать количество энергии и отсюда не можем экспериментально определять скорость, с которой энергия движется»¹⁴⁵.

В связи с этим Ван-дер-Ваальс замечает, что, например, понятие потока энергии, который предполагается существующим в теле, подверженном упругим напряжениям, также есть результат логических рассуждений, а не результат эксперимента. «Наблюдения учат нас,— пишет он,— что в одной точке тела приложена сила, которая производит работу, в другой точке — сила, которая поглощает работу. Мы можем допустить, что в одной точке энергия исчезает и что в другой точке равное количество энергии создается. Поток энергии, существующий между этими двумя точками, не может быть обнаружен никаким экспериментом. Только вследствие наших логических стремлений мы

¹⁴⁵ *J. D. Van-der-Waals*, yr. On the conception of the current of energy.— *Proc. Amsterdam Akad. wet.*, 1911, v. 14, p. 828.

приходим к понятию непрерывного движения энергии, и это приводит к допущению, что существует поток энергии.

Аналогия с движением материальных масс в пространстве здесь, несомненно, оказывает влияние. Коль скоро допущен поток энергии, то, мне кажется, остается лишь маленький шаг, чтобы перенести аналогию дальше и говорить об определенной плотности и определенной скорости энергии в этом потоке»¹⁴⁶.

Любопытно, что Лауэ позднее изменил свою точку зрения. Впрочем, уже в книге «Das Relativitätsprinzip» (1911 г.), обсуждая проблему распространения света в движущейся среде и ситуацию, сложившуюся в связи с тем, что формулы преобразования для скорости света, полученные из условий инвариантности фазы световой волны, оказываются не соответствующими теореме сложения скоростей, он объяснил это несовпадение тем, что «луч и волновая нормаль в движущихся средах имеют вообще различные направления» и что для лучевых скоростей теорема сложения должна выполняться.

Значительно позднее, в 1950 г., Лауэ выдвигает в качестве критерия при выборе правильной формы тензора энергии-импульса электромагнитного поля условие, согласно которому лучевая скорость, определяемая в случае плоской волны $\vec{\omega} = \vec{S}/W$ (т. е. по Умову), должна удовлетворять релятивистской теореме сложения скоростей, и доказывает, что с этим условием согласуется только несимметричный тензор Минковского.

Более подробно проблема обсуждается в седьмом издании книги Лауэ, вышедшем в 1961 г. под измененным заголовком «Die Relativitätstheorie».

Мы не имеем возможности останавливаться на дискуссиях, имевших место в связи с выбором той или иной формы тензора энергии-импульса¹⁴⁷. Для нас важно отметить, что привлечение умовского понимания лучевой скорости как отношения плотности потока энергии к ее плотности оказалось существенным при решении принципиальных проблем современной теоретической физики.

¹⁴⁶ Ibidem., S. 829—830.

¹⁴⁷ См., например, *Д. Иваненко, А. Соколов*. Классическая теория поля. М.—Л., Гостехиздат, 1951, стр. 177; *У. И. Франкфурт*. Очерки по истории специальной теории относительности. М., Изд-во АН СССР, 1961, стр. 125.

Труды по земному магнетизму

В 1899 г. приват-доцент Московского университета, впоследствии известный геофизик, Э. Е. Лейст представил в физико-математический факультет в качестве докторской диссертации работу «О географическом распределении нормального и аномального геомагнетизма». Одним из официальных оппонентов Лейста был Н. А. Умов.

Внимательно изучив работу Лейста и познакомившись с состоянием геофизической науки того времени, Умов пришел к ряду идей. Их он разрабатывал в течение последующих пяти лет. Результаты исследований Умов изложил в 1902—1904 гг. в трех публикациях: «Ein Versuch die magnetischen Typen des Erdmagnetismus zu ermitteln»; «Построение геометрического образа потенциала Гаусса как прием изыскания законов земного магнетизма»; «Die Konstruktion des geometrischen Bildes des Gauss'schen Potentials als Methode zur Erforschung der Gesetze des Erdmagnetismus».

Наука о земном магнетизме базировалась в основном на теории Гаусса, построенной им еще в 1839 г.¹⁴⁸

Гаусс предположил, что магнитное поле Земли имеет потенциал, зависящий от широты и долготы пункта. Полагая, что источники магнитного поля расположены внутри Земли, он вывел выражение магнитного потенциала в любой точке ее поверхности в виде ряда, расположенного по шаровым функциям:

$$U = R \sum_{n=1}^{\infty} A_n. \quad (1)$$

Здесь R — радиус Земли и A_n — шаровая функция вида:

$$A_n = \sum_m (g_{nm} \cos m\lambda + h_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta), \quad (2)$$

где g_{nm} , h_{nm} — коэффициенты, $P_{nm}(\cos \theta)$ — так называемые присоединенные функции Лежандра:

$$P_{nm}(\cos \theta) = \left[\cos^{n-m} \theta - \frac{(n-m)(n-m-1)}{2(2n-1)} \cos^{n-m-2} \theta + \right.$$

¹⁴⁸ См. К. Ф. Гаусс. Общая теория земного магнетизма.— В кн.: «Избранные труды по земному магнетизму». М., Изд-во АН СССР, 1952.

$$\begin{aligned}
 & + \frac{(n-m)(n-m-1)(n-m-2)(n-m-3)}{2 \cdot 4(2n-1)(2n-2)} \cos^{n-m-4} \theta + \\
 & + \dots \left. \right] \sin^m \theta, \quad (3)
 \end{aligned}$$

λ — географическая долгота, θ — дополнение широты пункта φ ($\theta = 90^\circ - \varphi$), $m = 0, 1, 2 \dots n$ ($m \leq n$).

Так, например,

$$A_1 = g_{10}P_{10} + (g_{11}\cos\lambda + h_{11}\sin\lambda)P_{11}, \quad (2a)$$

$$\begin{aligned}
 A_2 = g_{20}P_{20} + (g_{21}\cos\lambda + h_{21}\sin\lambda)P_{21} + \\
 + (g_{22}\cos 2\lambda + h_{22}\sin 2\lambda)P_{22} \text{ и т. д.}
 \end{aligned}$$

$$P_{10} = \cos \theta; \quad P_{20} = \cos^2 \theta - \frac{1}{3}, \quad P_{11} = \sin \theta, \quad (3b)$$

$$P_{21} = \cos \theta \sin \theta, \quad P_{22} = \sin^2 \theta,$$

$$P_{30} = \cos^3 \theta - \frac{3}{5} \cos \theta \dots P_{34} = \sin^4 \theta.$$

Составляющие напряженности магнитного поля по осям координат находятся дифференцированием выражения (1) по соответствующей координате.

Ограничиваясь членами 4-го порядка, Гаусс по геомагнитным картам 1830 г. эмпирически определил 24 первых постоянных коэффициента. Эти вычисления были потом неоднократно повторены по геомагнитным картам различных лет.

Первый член разложения Гаусса соответствует потенциалу, создаваемому однородно намагниченным шаром¹⁴⁹. Последующие члены учитывают неоднородность намагничения земного шара.

Теория Гаусса носила формальный характер, оставляя в стороне вопрос о причинах земного магнетизма. По

¹⁴⁹ Впервые гипотеза о том, что магнитное поле Земли является полем однородно намагниченного шара, была высказана в 1835 г. профессором Казанского университета И. М. Симоновым в работе «Опыт математической теории земного магнетизма» («Уч. зап. Казанск. ун-та», 1835). Здесь содержится первая попытка представить геомагнитное поле в форме аналитической зависимости компонент поля от координат точек земной поверхности.

словам Лейста, «мало-помалу формула потенциала и Гауссовое разложение потенциала земного магнетизма были даже низвергнуты до простой интерполяционной формулы»¹⁵⁰. Многочисленные исследователи не пытались найти физического смысла главных коэффициентов и отдельных членов разложения Гаусса. Они ограничивались вычислением коэффициентов высших членов этого разложения, стремясь получить более полное соответствие формулы Гаусса с действительным распределением магнитного поля земли. Так, В. Адамс вычислил 48 коэффициентов, Г. Фритше — даже 63, причем он установил, что прибавление членов с шаровыми функциями 7-го порядка не увеличивает точности.

Н. А. Умов пошел по другому пути. Он считал окончательной задачей теории отыскание физических причин земного магнетизма, физического смысла коэффициентов Гаусса. Но первым шагом на этом пути было выяснение геометрического смысла коэффициентов и членов разложения Гаусса. «Физическому анализу причин земного магнетизма, — пишет Умов, — должен предшествовать аналитический отбор магнитных образов»¹⁵¹.

Умов исходил из допущения, что не все коэффициенты Гаусса g_{nm} , h_{nm} имеют одинаковое значение: некоторые из них составляют самостоятельные группы, принадлежат главным типам земного магнетизма, другие же соответствуют второстепенным типам, характеризующим отклонение действительной картины земного магнетизма от той, которую дают главные типы.

Задачу отыскания главных и второстепенных типов земного магнетизма Умов решает, вводя представление о магнитном образе — геометрическом изображении поля сил, описываемого потенциалом Гаусса, на плоскостях параллельных кругов.

Этот способ изображения заключается в следующем. Пусть для каждой точки поверхности шара задан некоторый вектор. Рассмотрим одну из точек поверхности D (рис. 6) и соответствующий вектор. Пересечение этого вектора (точка B) с произвольно заданной плоскостью M ,

¹⁵⁰ Э. Лейст. Труды Н. А. Умова по земному магнетизму. — «Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы за 1915 г.», 1916, т. 29 (прилож. к протоколам), стр. 29.

¹⁵¹ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 228.

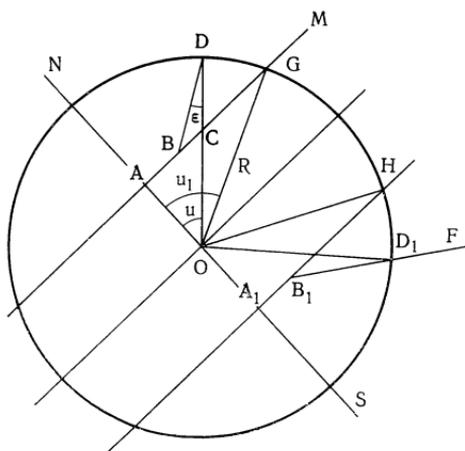


Рис. 6. К построению геометрического образа силового поля

пересекающей шар, может рассматриваться как изображение точки D на плоскости M . Очевидно, расположение этого изображения определяется не только положением точки D , но и направлением принадлежащего ей вектора.

Таким образом, может быть получено изображение на плоскости M поверхности шара, зависящее от распределения векторов на этой поверхности. В частности, отображение какой-либо параллели на данную плоскость представит собой некоторую кривую.

Умов вывел формулу, определяющую расстояние изображения данной точки от оси шара (AB) в том случае, когда вектор находится в плоскости меридиана:

$$\rho = \frac{R}{\cos \theta} \left[\sin \theta \cos \theta_1 + \frac{X (\cos \theta_1 - \cos \theta)}{Z \cos \theta - X \sin \theta} \right]. \quad (4)$$

Здесь X и Z — меридиональная и радиальная составляющие вектора; θ — дополнение широты данной точки шара; θ_1 — соответствующий угол для плоскости отображения M .

Очевидно, величины ρ , определенные для всех векторов одной и той же параллели, являются радиусами-векторами кривой, отображающей данную параллель на плоскость M .

Если в качестве отображаемой параллели взять параллель, лежащую в самой плоскости отображения, то

нетрудно видеть, что в этом случае параллель вообще совпадает со своим изображением, независимо от распределения векторов. Этот результат следует и из формулы (4), если положить в ней $\theta = \theta_1$:

$$\rho = R \sin \theta_1.$$

О таком совпадении нельзя говорить только в случае, когда векторы во всех точках рассматриваемой окружности лежат в плоскости этой окружности, иначе говоря,

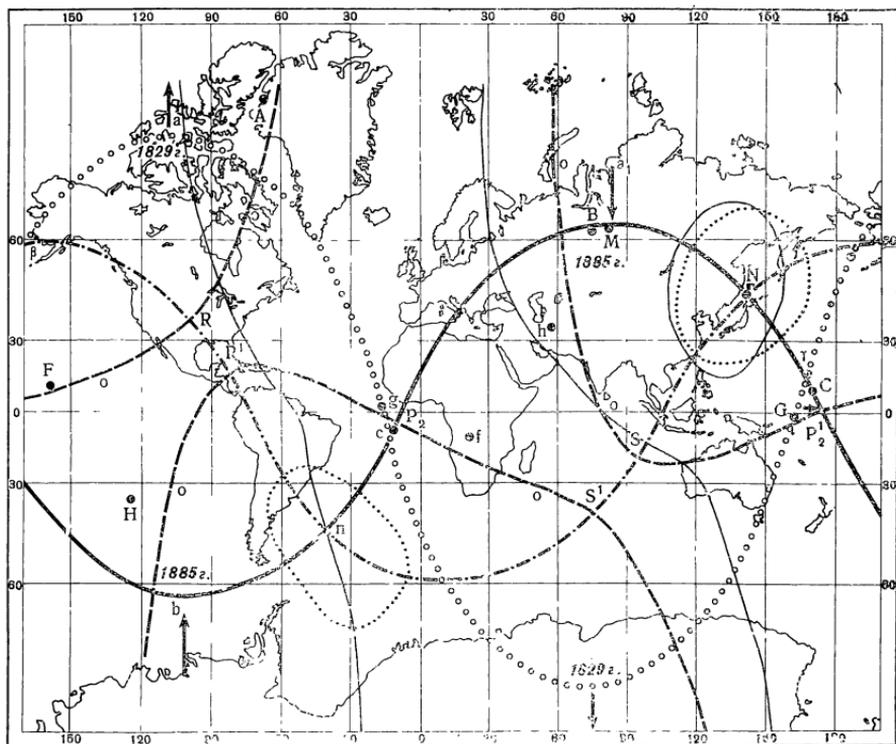


Рис. 7. Карта, показывающая положение магнитных осей (полюсов) шаровых функций различного порядка и соответствующих изопотенциальных линий (Проекция Меркатора). Точка А — полюс магнитной оси 1-го порядка. Точки В и С — полюса магнитных осей 2-го порядка (для эпохи 1885 г.). Через них проведен большой круг (сплошная линия); β и γ — положение тех же полюсов для эпохи 1829 г.; штрихами нанесено соответствующее положение большого круга. Точки N и n — центры изопотенциальных линий. Точки F, f, G, g, H, h — полюса магнитных осей 3-го порядка

составляющие этих векторов в направлении, перпендикулярном плоскости окружности, равны нулю. При этом выполняется условие

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \operatorname{ctg} \theta_1$$

или, поскольку, как видно из рис. 6, $\operatorname{tg} \varepsilon = X/Z$,

$$Z_1 \cos \theta_1 - X_1 \sin \theta_1 = 0. \quad (5)$$

В этом случае, согласно формуле (4):

$$\rho = R \sin \theta_1 + \frac{0}{0},$$

т. е. величина ρ становится неопределенной. Именно такой случай и выделяет Умов среди других.

Если для данного распределения векторов на поверхности шара существует плоскость отображения, для которой выполняется указанное выше условие, то такое распределение он называет *образом* или *типом* (силового поля), а соответствующую плоскость — *критической плоскостью* образа. Возможно существование образов, обладающих несколькими критическими плоскостями. Задача выделения образа, скрытого в данном распределении векторов на поверхности шара, решается путем отыскания соответствующих критических плоскостей. В качестве примера Умов рассматривает случай однородно намагниченного шара.

Потенциал такого шара для внешних точек выражается следующим образом:

$$U = -A \frac{R^3}{r^2} \cos \theta, \quad (6)$$

где R — радиус шара, r — расстояние точки от центра шара, θ — дополнение широты, A — постоянная величина.

Если обозначить через ξ направление по оси намагничивания (от S к N), то составляющая силы в направлении ξ в точках поверхности шара будет

$$-\frac{\partial U}{\partial \xi} = AR(1 - 3 \cos^2 \theta). \quad (7)$$

Она обращается в нуль при

$$\cos \theta_k = \pm \sqrt{\frac{1}{3}}, \quad (8)$$

откуда для θ_k имеем значения: $54^\circ 44'$ и $125^\circ 16'$, а для широты φ_k : $\pm 35^\circ 16'$. Соответствующие плоскости суть критические плоскости типа.

Таким образом, для отображения векторного распределения на поверхности однородно намагниченного шара необходимы две плоскости, расположенные симметрично по обе стороны от экваториальной. На одну из них отображается южное полушарие, на другую — северное.

Чтобы получить более детальную картину отображения, Умов преобразует формулу (4) так, чтобы исчезла неопределенность:

$$\rho = \frac{R \sin \theta}{1 + \sqrt{3} \cos \theta}. \quad (9)$$

Полагая $\theta = \theta_1$ и учитывая (8), получаем:

$$\rho_k = \frac{R \sin \theta_k}{2} = \frac{R}{\sqrt{6}},$$

т. е. отображением критической параллели будет окружность с радиусом, равным половине радиуса исходной параллели. Эта окружность делит критическую плоскость на две части. На внутренней части изображается та часть поверхности полушария, которая лежит над критической параллелью, на внешней — часть поверхности полушария, заключенная между критической параллелью и экватором.

Следует отметить, что распределение, для которого центр окружностей, представляющих собой отображения параллелей в критической плоскости, совпадает с центром критической параллели (т. е. лежит на оси шара), Умов называет *центрическим*. Если такого совпадения нет, распределение будет *эксцентрическим*.

Насколько действительное распределение магнитного поля Земли близко к магнитному типу однородно намагниченного шара? Чтобы ответить на этот вопрос, Умов проводит огромную работу по вычислению величин $\frac{\partial U}{\partial \xi}$, т. е. составляющих вектора магнитной силы, параллельных оси вращения Земли, в районе предполагаемых критических параллелей и определяет места, в которых $\frac{\partial U}{\partial \xi} = 0$ (в этих местах составляющие $\frac{\partial U}{\partial \xi}$ меняют свой знак).

При этом оказалось, что линии, соединяющие эти пункты, проходят в северном полушарии между широтами 30 и 40°, а в южном — между 22 и 40°.

Таким образом, обе линии расположены вблизи параллелей, определяемых широтами $\varphi = \pm 35^{\circ}16'$.

«Из этих результатов, — пишет Умов, — можно сделать следующее заключение: основным образом земного магнетизма является тот, для которого критические плоскости совпадают с критическими плоскостями равномерно намагниченного шара, магнитная ось которого совпадает с осью Земли»¹⁵².

Однако это не означает, что основной образ земного магнетизма совпадает с образом однородно намагниченного шара, поскольку критические плоскости $\varphi_k = \pm 35^{\circ}16'$ могут принадлежать и другим типам намагничения, кроме однородного.

Истинное распределение земного магнетизма можно рассматривать как соответствующее полю однородно намагниченного шара лишь в первом приближении. Для более полного решения вопроса «необходимо придерживаться метода разложения в ряд потенциала произвольно намагниченного шара».

В связи с этим Умов развивает общую теорию, отыскивая возможные магнитные образы произвольно намагниченного шара.

Магнитный потенциал такого шара для внешней точки имеет вид:

$$U = R \sum A_n \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1}, \quad (10)$$

где A_n определяется формулами (2) и (3), r — расстояние от точки до центра шара.

Ограничиваясь членами 4-го порядка, Умов (в соответствии с основной идеей работы, заключающейся в том, что каждый член разложения должен иметь определенный физический смысл) стремится сопоставить с каждым членом разложения или какой-либо комбинацией членов соответствующие им магнитные типы.

При этом он избирает путь отыскания возможных критических плоскостей. Критические плоскости по своему определению соответствуют некоторым аналитическим урав-

¹⁵² Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 239.

нениям. Эти уравнения содержат коэффициенты Гаусса, что позволяет получить определенные соотношения для этих коэффициентов. Тем самым устанавливается связь, соответствие между видом критических плоскостей и коэффициентами Гаусса (а значит, членами разложения).

Условие, определяющее критическую плоскость, согласно формуле (5), можно выразить следующим образом:

$$Z \cos \theta_k - X \sin \theta_k = 0, \quad (11)$$

где X — меридиональная и Z — радиальная составляющие магнитной силы.

В случае, когда потенциал определяется выражением (10), величины X и Z будут:

$$X = -\frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial \theta} = -\sum \frac{\partial A_n}{\partial \theta}; \quad Z = -\frac{\partial U}{\partial r} = \sum (n+1) A_n,$$

и равенство (11) примет вид

$$\cos \theta_k \sum_{\theta=\theta_k} (n+1) A_n + \sin \theta_k \sum_{\theta=\theta_k} \frac{\partial A_n}{\partial \theta} = 0. \quad (12)$$

Величины A_n , согласно формуле (2), представляют собой суммы членов вида

$$(g_{nm} \cos m\lambda + h_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta) \\ (n = 1, 2, 3, 4; \quad m \leq n).$$

Поскольку равенство (12) должно выполняться при любой долготе λ , множители при $\cos m\lambda$ и $\sin m\lambda$ должны обращаться в нуль для каждого m . Это дает определенные условия для коэффициентов g_{nm} и h_{nm} . Так, для $m = 4$ получается наиболее простое уравнение:

$$\cos \theta_k \cdot 5g_{44} P_{44} + \sin \theta_k g_{44} \frac{\partial P_{44}}{\partial \theta} = 0. \quad (13)$$

Согласно формуле (3а),

$$P_{44} = \sin^4 \theta; \quad \frac{\partial P_{44}}{\partial \theta} = 4 \sin^3 \theta \cos \theta.$$

Подстановка этих значений в (13) дает

$$9g_{44} \sin^4 \theta_k \cos \theta_k = 0. \quad (14)$$

(аналогичное уравнение имеет место для h). Из (14) следует

$$\theta_k = 0, \quad \frac{\pi}{2}, \quad \pi,$$

т. е. члены с произвольными коэффициентами g_{41} и h_{44} принадлежат магнитному типу с тремя критическими плоскостями, одна из которых совпадает с плоскостью экватора, две другие суть полярные плоскости.

Для $m = 3$ условие, аналогичное (13), получается в виде

$$[7g_{33} \cos \theta_k + g_{43} (9 \cos^2 \theta_k - 1)] \sin^3 \theta_k = 0, \quad (15)$$

или

$$a) \sin^3 \theta_k = 0,$$

$$b) 7g_{33} \cos \theta_k + g_{43} (9 \cos^2 \theta_k - 1) = 0.$$

Из условия а) следует, что члены, содержащие произвольные коэффициенты g_{33} , g_{43} , h_{33} , h_{43} , соответствуют типу с двумя критическими плоскостями (полярными):

$$\theta_k = 0, \pi.$$

Условие б) дает, что распределение, в котором $g_{33} = h_{33} = 0$, g_{43} и h_{43} — произвольны, принадлежит образу с двумя прежними и двумя новыми критическими плоскостями, определяемыми соотношением $\cos \theta_k = \pm \frac{1}{3}$.

Возможно также распределение, в котором $g_{13} = h_{43} = 0$, g_{33} и h_{33} — произвольны. Соответствующий образ имеет, кроме прежних $\theta_k = 0, \pi$, новую критическую плоскость — экваториальную — $\theta_k = \frac{\pi}{2}$.

Всего получается 15 типов с 37 критическими плоскостями. Каждый тип имеет одну или несколько критических плоскостей, в то же время некоторые плоскости принадлежат одновременно разным типам.

Так, полярные плоскости встречаются в семи типах, экваториальная — в шести. В ряде случаев (именно: при $m = 2, 1, 0$) в числе других встречаются распределения с произвольными критическими плоскостями. Условия, определяющие эти плоскости, могут быть записаны в общем виде:

$$g_{an} \text{ — произвольны; } g_{bn} = V_{an} g_{an}, \quad (16)$$

где V_{an} — некоторая функция критического угла θ_k (например, $V_{42} = \frac{3}{5}(3 \cos^2 \theta_k - 1)$). Здесь V_{an} , а следовательно и θ_k произвольны в силу произвольности коэффициента, стоящего справа, — g_{an} .

Всего получаются три таких образа с восемью произвольными коэффициентами, имеющих по две произвольные (симметричные) критические плоскости.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что некоторые члены разложения связаны с одинаковыми, вполне определенными критическими плоскостями ($\theta_k = 0, \pi, \frac{\pi}{2}$). В то же время имеются члены, которым соответствуют по крайней мере две неопределенные критические плоскости. Эти члены могут быть объединены в один образ, если им приписать одни и те же критические плоскости. Такой образ (тип) Умов называет *специальным*, поскольку он связан со специфическими свойствами распределения, отражая его особую структуру.

Естественно, что задача обнаружения специального образа, скрытого в данном распределении, представляет первостепенную важность. Умов решает эту задачу, вводя представление об *остаточном* распределении, которое характеризует отклонение истинного распределения от специального типа.

Пусть Γ_{nm} и H_{nm} — коэффициенты данного распределения, g_{nm} и h_{nm} — коэффициенты, соответствующие специальному типу; U и W_1 — соответствующие потенциалы.

Тогда величина $W_2 = U - W_1$ может быть названа потенциалом остаточного распределения. Поскольку это соотношение должно иметь место для любого λ , то легко показать, что коэффициенты остаточного распределения γ и \varkappa будут удовлетворять соотношениям

$$\begin{aligned} g_{nm} &= \Gamma_{nm} - \gamma_{nm}, \\ h_{nm} &= H_{nm} - \varkappa_{nm}. \end{aligned} \tag{17}$$

Учитывая обозначения, принятые в (16), эти соотношения можно переписать в виде

$$\begin{aligned} g_{bn} &= \Gamma_{bn} - \gamma_{bn}, \\ g_{an} &= \Gamma_{an} - \gamma_{an}. \end{aligned} \tag{18}$$

Таким образом, можно найти коэффициенты g_{nm} , если выразить величины γ_{nm} через известные коэффициенты данного распределения. Ученый получает для величин γ_{an} и γ_{bn} выражения:

$$\gamma_{an} = \frac{V_{an} \Gamma_{an} - \Gamma_{bn}}{1 + V_{an}^2} \cdot V_{an}, \quad \gamma_{bn} = - \frac{V_{an} \Gamma_{an} - \Gamma_{bn}}{1 + V_{an}^2}. \quad (19)$$

Тогда

$$g_{an} = \frac{\Gamma_{an} + \Gamma_{bn} V_{an}}{1 + V_{an}^2} \quad (20)$$

(всюду вместо g , Γ , γ можно писать h , H , κ).

Нахождение специального типа равносильно отысканию его критических плоскостей. Если бы данное распределение соответствовало специальному в его чистом виде, то все коэффициенты γ и κ равнялись бы нулю. При этом получается восемь уравнений вида

$$V_{an} \Gamma_{an} - \Gamma_{bn} = 0. \quad (21)$$

Каждое из них должно давать одно и то же значение неизвестной $x = \cos^2 \theta_k$ (скрытой в V_{an}), определяющей положение критических плоскостей.

Однако вообще это не будет иметь места, так как данное распределение может представлять «деформированный» специальный образ.

Если значения x , получаемые из нескольких уравнений (21), мало отличаются друг от друга, то, предположив, что в данном распределении скрыт специальный образ, можно определить для него некоторое усредненное значение θ_k . Оставшиеся коэффициенты должны быть отнесены к другим образам.

Если же значения x , определяемые из уравнений (21), резко отличаются друг от друга, то ни о каком специальном типе говорить не приходится.

Далее Умов применяет развитую им общую теорию к явлениям земного магнетизма. При этом ученый пользуется значениями гауссовских коэффициентов (Γ_{nm} , H_{nm}), вычисленными Г. Неймайером и Г. Петерсеном для эпохи 1885 г.

Сначала Умов разыскивает специальный образ, следуя изложенному выше методу, т. е. используя уравнения (21). Первые два уравнения, соответствующие коэф-

коэффициентам Γ_{n0} , после подстановки табличных значений этих коэффициентов и известных значений V_{an} могут быть приведены к виду

$$x^2 - 6,4114x + 1,9371 = 0,$$

$$x^2 - 1,2388x + 0,3068 = 0.$$

Первое уравнение имеет корень

$$\cos^2 \theta_k = \frac{1}{3} - 0,0154,$$

откуда

$$\theta_{1k} = \pm 55^\circ 41'; \quad \varphi_{1k} = \pm 34^\circ 19',$$

второе — корень

$$\cos^2 \theta = \frac{1}{3} + 0,0086$$

$$(\theta_{2k} = \pm 54^\circ 13', \quad \varphi_{2k} = \pm 35^\circ 47').$$

Широты φ_{1k} и φ_{2k} близки между собой и незначительно отличаются от $\varphi_k = \pm 35^\circ 16'$ (критических широт однородно намагниченного шара).

Это позволяет сделать вывод, что существует несколько измененный основной тип, определяемый коэффициентами Γ_{10} , Γ_{20} , Γ_{30} , Γ_{40} , близкий к типу однородно намагниченного шара. «Недеформированные» коэффициенты q_{n0} могут быть найдены при помощи формул (20). Эти коэффициенты определяют центрическую форму специально образа земного магнетизма.

Рассматривая следующие пары уравнений, Умов приходит к выводу о том, что земной магнетизм содержит также эксцентрическую форму образа — «деформированный специальный образ», связанный с коэффициентами Γ_{10} , Γ_{20} , Γ_{30} , Γ_{40} , g_{11} , h_{11} , g_{21} , h_{21} , Γ_{42} , H_{42} .

Центрический специальный образ Умов называет «основным образом» магнитного распределения Земли. Чтобы судить о том, насколько этот образ отличается от поля однородно намагниченного шара, ученый сравнивает отображения того и другого распределения (это оказывается возможным, поскольку критические плоскости для обоих случаев одни и те же, определяемые соотношением $x = 1/3$). С этой целью Умов подсчитывает величины ρ — радиусы окружностей, представляющих изображение па-

раллелей северного и южного полушарий, через каждые 10° широты для того и другого распределения.

При этом оказалось, что величины ρ основного образа для южного полушария во всех широтах меньше, чем для северного. Однако если рассматривать средние значения ρ для соответствующих параллелей северного и южного полушарий, то они оказываются весьма близкими к величинам ρ в случае однородно намагниченного шара. Это позволяет сделать вывод, что основной образ действительного распределения земного магнетизма весьма близко подходит к типу однородно намагниченного шара. Однако для некоторых широт ($\varphi = 40^\circ$) расхождение значительно.

К обсуждению этого вопроса Умов возвращается несколько позднее.

Помимо специальных образов, могут быть выделены два остаточных образа. Среди них особое значение имеет образ, у которого критическая плоскость совпадает с плоскостью экватора ($\theta_k = 90^\circ$). Этот образ соответствует симметричному распределению, для которого значения потенциала на одном и том же меридиане при одинаковой северной и южной широтах равны, слагающие магнитной силы Z и Y обладают тем же свойством, а слагающая X при тех же условиях имеет равные значения обратных знаков. Вертикальная слагающая Z равна нулю на полюсах, горизонтальная слагающая X — на экваторе; ось распределения лежит в плоскости экватора. Восточное полушарие, примерно от 10 до 200° , представляет собой область северного магнетизма, западное — область южного магнетизма. Поэтому Умов называет это распределение *восточно-западным*.

Второй остаточный тип обладает критическими плоскостями, проходящими через северный и южный географические полюсы.

Потенциал этого распределения и вертикальная слагающая силы имеют на одинаковых широтах для одинаковой долготы равные величины обратных знаков. На экваторе и в полюсах эти величины равны нулю.

Составляющая X в точках, симметричных плоскости экватора, имеет различные значения; на полюсах и в плоскости экватора ее значение отлично от нуля.

По мысли Умова, вся сложная картина действительного распределения земного магнетизма может быть сведена к четырем главным типам.

1. Основной образ, или специальный тип, близкий к типу однородно намагниченного шара. Определяется коэффициентами $g_{10}, g_{20}, g_{30}, g_{40}$. Критические плоскости — в широтах $\pm 35^{\circ}16'$. Тип центрический. Совпадает с распределением, к которому приводит подсчет средних значений магнитного потенциала Земли по широтам (нормальным геомагнетизмом, по Лейсту).

2. Измененный специальный тип, определяемый коэффициентами

$$g_{10}, g_{20}, g_{30}, g_{40}, g_{11}, g_{21}, g_{31}, g_{41}, g_{42}, h_{11}, h_{21}, h_{31}, h_{41}, h_{42}.$$

Критические плоскости близки к предыдущим. Экцентрисический.

3. Восточно-западный тип, зависящий от коэффициентов

$$g_{11}, g_{31}, g_{22}, g_{33}, g_{44}, h_{11}, h_{31}, h_{22}, h_{33}, h_{44},$$

с экваториальной критической плоскостью. Экцентрисический.

4. Остаточный тип, имеющий критические плоскости, проходящие через географические полюсы, и зависящий от коэффициентов

$$g_{21}, g_{41}, g_{32}, g_{43}, h_{21}, h_{41}, h_{32}, h_{43}.$$

«В работе Умова коэффициенты Гаусса ожили, им придан был нужный физический и геометрический смысл [...]. Все 24 Гауссовых коэффициента Умов свел к четырем главным типам и тем самым в запутанную картину эмпирических соотношений, касающихся распределения земного магнетизма, внес необходимую ясность и научную обоснованность», — пишет о рассматриваемой работе Умова профессор А. С. Предводителев¹⁵³.

«Пологая, что центр тяжести потенциала Гаусса лежит именно в функциях первых порядков Умов, остановился на 24 коэффициентах и искал связь и физический смысл этих 24 интегралов g_{nm} и h_{nm} . В его опытных руках коэффициенты Гаусса оживились и из сочетаний отдельных коэффициентов выросли новые типы земного магнетизма. Для решения этой трудной задачи требовался

¹⁵³ См. *Н. А. Умов. Избр. соч.*, стр. 541.

огромный и разнообразный труд, соединенный со свойственным ему умением легко справляться с запутанными вопросами математической физики. Требовалось также много механического труда для вычисления таблиц и составления карт; в работе о магнитных типах приведены результаты 2099 серий вычислений и 559 геометрических конструкций»¹⁵⁴.

Еще более важные результаты в теории земного магнетизма были получены Н. А. Умовым в двух работах, к краткому рассмотрению которых мы переходим.

Как известно, Максвелл предложил для шаровой функции n -го порядка формулу

$$Y_n = (-1)^n \frac{r^{n+1}}{1 \cdot 2 \dots n} \delta_n \frac{\partial}{\partial h_1} \frac{\partial}{\partial h_2} \dots \frac{\partial}{\partial h_n} \frac{1}{r}. \quad (22)$$

Направления h_1, h_2, \dots, h_n — оси функции, множитель δ_n — ее момент.

Если описать из начала координат сферу радиуса R (радиус Земли), то точки пересечения осей со сферической поверхностью будут полюсами шаровой функции. Шаровая функция n -го порядка содержит $2n + 1$ постоянных ($2n$ определяют положение осей плюс δ_n — момент функции).

Потенциал, по Гауссу, представляет собой сумму шаровых функций до 4-го порядка включительно, а каждая из этих функций, согласно сказанному выше, имеет определенный геометрический смысл. Исходя из этого, Умов предлагает рассматривать каждый из членов разложения как имеющий самостоятельный физический смысл, считать, что «каждая из шаровых функций, входящих в потенциал Гаусса, представляет магнитный потенциал особого распределения» и имеет свои магнитные оси и свой магнитный момент.

До работы Умова магнитный момент Земли определялся как момент однородно намагниченного шара (соответствующий шаровой функции 1-го порядка). «Между тем, — указывает Умов, — в общем случае для познания магнитных свойств намагниченной сферы необходимо знать магнитные моменты всех тех шаровых функций, по которым

¹⁵⁴ Э. Лейст. Труды Н. А. Умова по земному магнетизму. — «Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы за 1915 г.», 1916, т. 29 (прилож. к протоколам), стр. 12.

развертывается ее потенциал»¹⁵⁵ (по терминологии Умова, магнитные моменты 1, 2, 3-го и т. д. порядков, в соответствии с порядками функций).

Ученый подчеркивает, что «изыскание соответственных линий равного потенциала на земной поверхности дает возможность распутать сложную картину, представляемую картами линий равного потенциала всего магнитного состояния Земли»¹⁵⁶.

Умов отмечает, что решение задачи упрощается, если рассматривать каждую шаровую функцию, входящую в потенциал Гаусса, как видоизменение некоторого нормального типа.

Если предположить, что одной из причин, обуславливающих земной магнетизм, является вращение Земли, удобно представить каждую шаровую функцию Гаусса в виде суммы двух шаровых функций того же порядка. Для одной из них географическая ось Земли будет многократной осью того же порядка, что и сама функция. Эта последняя функция учитывала бы влияние на земной магнетизм вращения Земли, и ее момент служил бы мерой отклонения истинного магнетизма от «нормального» типа.

«Основная мысль предлагаемой работы, — пишет Умов, — заключается в том, что обширный материал, собранный в области земного магнетизма, может быть резюмирован положением и взаимным отношением многих элементов, представляемых осями и моментами четырех потенциалов различных порядков, из которых складывается потенциал Гаусса»¹⁵⁷.

В умовской интерпретации 24 коэффициента Гаусса приобретают как геометрический смысл, являясь постоянными, входящими в шаровые функции и определяющими направление осей (или положение полюсов) и моменты этих функций, так и физический смысл, поскольку оси функций, по Умову, не есть только геометрический образ — они являются магнитными осями. Шаровые функции 1, 2, 3 и 4-го порядков имеют в сумме 10 осей, положение которых определяется 20 постоянными. К этому надо добавить еще 4 момента. Таким образом, получается 24 постоянных.

¹⁵⁵ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 315.

¹⁵⁶ Там же, стр. 312.

¹⁵⁷ Там же, стр. 317.

Умов, пользуясь известными значениями коэффициентов в Гауссовом разложении магнитного потенциала Земли (по данным Неймайера и Петерсена), находит величины моментов шаровых функций, входящих в это разложение, и положение осей (полюсов). При этом он ограничивается тремя порядками. Ученый придает формуле Максвелла (22) иной вид, более удобный для целей исследования.

Пусть μ_j — косинус угла, образуемого осью j функции с радиусом некоторой точки M на сфере, λ_{ij} — косинус угла между осями i и j . Тогда для первых трех порядков выражения шаровых функций могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \delta_1 \mu_1; & Y_2 &= \delta_2 \left(\frac{3}{2} \mu_1 \mu_2 - \frac{1}{2} \lambda_{12} \right), \\ Y_3 &= \delta_3 \left[\frac{5}{2} \mu_1 \mu_2 \mu_3 - \frac{1}{2} (\mu_1 \lambda_{23} + \mu_2 \lambda_{31} + \mu_3 \lambda_{12}) \right]. \end{aligned} \quad (23)$$

В обычной записи, принятой Гауссом, шаровые функции определяются формулами (2) и (3).

Таким образом, каждая из функций может быть выражена двойкой, в соответствии с формулами (23) и (2). При этом в одном написании она содержит в качестве постоянных момент функции и координаты, определяющие положение ее осей, в другом — коэффициенты Гаусса.

Отсюда появляется возможность путем сопоставления двух записей одной и той же функции получить определенные соотношения между коэффициентами Гаусса (численные значения которых известны) и величинами, определяющими момент и положение осей (полюса) этой функции.

Для удобства сравнения Умов преобразует формулы (23) к виду, внешне аналогичному функциям (2), используя полярные координаты.

Так, для случая функции первого порядка величину μ_1 можно выразить следующим образом:

$$\mu_1 = \cos \theta \cos \theta_1 + \sin \theta \sin \theta_1 \cos (\lambda - \lambda_1),$$

где θ_1, λ_1 — полярные координаты оси функции (координаты ее северного полюса), θ, λ — полярные координаты (дополнение к широте и долгота) какой-либо точки на поверхности Земли.

Тогда функция Y_1 , учитывая, что, согласно формуле (3а), $\sin \theta = P_{11}$ и $\cos \theta = P_{10}$, запишется как

$$Y_1 = \delta_1 \cos \theta_1 P_{10}(\cos \theta) + \delta_1 \sin \theta_1 (\cos \lambda_1 \cos \lambda + \sin \lambda_1 \sin \lambda) P_{11}(\cos \theta). \quad (24)$$

Она содержит три постоянных: магнитный момент δ_1 , λ_1 и θ_1 . Соответствующая шаровая функция 1-го порядка в потенциале Гаусса A_1 имеет вид (см. формулу 2а):

$$A_1 = g_{10} P_{10}(\cos \theta) + (g_{11} \cos \lambda + h_{11} \sin \lambda) P_{11}(\cos \theta). \quad (25)$$

Она содержит также три постоянные: g_{10} , g_{11} , h_{11} . Сравнение выражений (24) и (25) приводит к соотношениям:

$$g_{10} = \delta_1 \cos \theta_1, \quad g_{11} = \delta_1 \sin \theta_1 \cos \lambda_1, \quad h_{11} = \delta_1 \sin \theta_1 \sin \lambda_1;$$

$$\delta_1^2 = g_{10}^2 + g_{11}^2 + h_{11}^2, \quad \operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{h_{11}}{g_{11}}.$$

Перейдя к численным значениям, получим:

$$\delta_1 = 0,32237, \quad \lambda_1 = -67^\circ 37' \text{ (западная долгота)}, \quad \theta_1 = 11^\circ 40', \\ \varphi_1 = 78^\circ 20'.$$

Северный магнитный полюс, соответствующий этой функции, лежит у северо-западного берега Гренландии, и положение оси не совпадает с осью вращения Земли.

Аналогичным путем можно найти магнитный момент и положение двух осей (полюсов) функции второго порядка — Y_2 .

В этом случае получаются пять уравнений, содержащих пять неизвестных: θ'_2 , θ''_2 , λ'_2 , λ''_2 и δ_2 .

Решение системы уравнений, занимающее в работе Умова пять страниц, дает в конце концов для магнитного момента величину

$\delta_2 = 0,039314$ (составляющую 12% величины момента 1-го порядка δ_1); для координат полюсов B и C :

$$B: \varphi'_2 = 61^\circ 48', \quad \lambda'_2 = 76^\circ 11',$$

$$C: \varphi''_2 = 7^\circ 18', \quad \lambda''_2 = 169^\circ 36'.$$

Угол между осями равен $85^\circ 11'$, и ось C составляет с осью Земли примерно такой же угол, как с осью B . Плоскость, проходящая через центр Земли и полюсы B и C ,

пересекает экватор в точках P_2 и P_2' с долготами $-6^\circ 30'$ (западная долгота) и $173^\circ 30'$ (восточная долгота). Высшая точка M пересечения этой плоскости с земной сферой имеет координаты $\theta_M = 28^\circ 0'$, $\lambda_M = 83^\circ 30'$ и почти совпадает с полюсом оси B . На карте (рис. 7, стр. 185), представляющей меркаторскую проекцию земного шара, изображен большой круг, содержащий оси B и C . Его линия от точки P_2 пересечения с экватором направляется к северо-западу почти под прямым углом к северо-восточной береговой границе Азиатского материка. Далее она идет через область восточноазиатской магнитной аномалии, пересекая ее на две почти равные части, и затем — по материку «Старого Света», параллельно очертанию береговых границ Ледовитого и Атлантического океанов. В южном полушарии она проходит по Атлантическому и Тихому океанам почти параллельно береговым линиям Южной Америки (со стороны Атлантического океана) и Австралии. Биссектриса угла между осями B и C имеет полюс N с координатами $\varphi = 43^\circ 13'$ и $\lambda = 144^\circ 29'$ и проходит середину области восточноазиатской аномалии.

Из формулы (23) для функции Y_2 следует крайне простое полярное уравнение линий равного потенциала:

$$\mu_1 \mu_2 = C = \text{const.} \quad (26)$$

Оказалось, что линии равного потенциала распадаются на две системы линий, одинаково расположенных вокруг своего рода центров — полюсов биссектрисы угла между осями B и C в северном и южном полушариях. Полюсы представляют собой пределы эквипотенциальных линий. Другими словами, линии равного потенциала расположены симметрично относительно большого круга, плоскость которого перпендикулярна к биссектрисе угла между осями B и C рассматриваемой функции 2-го порядка. «Этот большой круг и соответствующую плоскость можно назвать магнитным экватором 2-го порядка, также и введенную нами биссектрису — магнитной осью 2-го порядка», — указывает Умов.

Интересно, что границы области восточноазиатской аномалии оказываются близко совпадающими с формой некоторой линии равного потенциала функции Y_2 . Этот факт, а также то, что биссектриса угла между осями B и C проходит примерно через середину восточноазиатской аномалии, указывает на некоторую связь между геометри-

ческими признаками функции (положение осей) и известными особенностями в географическом распределении земного магнетизма. «Восточноазиатская аномалия находится в связи с положением осей шаровой функции 2-го порядка», — отмечает Н. А. Умов.

Если рассматривать магнитное поле, отвечающее шаровой функции 2-го порядка, как несколько уклонившееся от некоторого нормального типа (причем причиной этого уклонения признавать вращение Земли), то функцию Y_2 можно разложить на две шаровые функции: одну — нормальную Y_2' и другую — Y_2^0 , для которой земная ось будет двукратной осью.

Проделав такое разложение, Умов получает для моментов нормальной функции δ_2' и добавочной функции δ_2^0 две системы решений:

$$\begin{aligned} \delta_2' &= 0,03894, & \delta_2^0 &= 0,00527, \\ \delta_2' &= 0,02565, & \delta_2^0 &= 0,9894. \end{aligned}$$

Эта неоднозначность объясняется тем, что в ходе вычислений появляется уравнение 4-й степени, которое дает два корня (два других корня оказываются недействительными). Каждому корню соответствует своя система решений для δ_2' и δ_2^0 .

В первом случае величина δ_2^0 значительно меньше момента δ_2' нормальной функции. В последнем случае дело обстоит наоборот: δ_2^0 значительно превосходит δ_2' , отсюда следует, что в качестве главной составляющей шаровой функции 2-го порядка нужно рассматривать функцию Y_2^0 ; функция Y_2' характеризует возмущение в распределении магнетизма, обусловленного вращением Земли.

Окончательно решить вопрос, по мнению Умова, можно только в результате изучения вековых изменений земного магнетизма.

Затем Умов переходит к исследованию шаровой функции 3-го порядка. Эта очень сложная и трудоемкая работа потребовала от автора большой математической изобретательности. Обширные преобразования и всевозможные подстановки, следующие друг за другом, занимают около сорока страниц, несмотря на то, что в ряде случаев Умов опускает многочисленные выкладки.

В итоге ученый получил следующие величины, определяющие положение осей D , E , F и магнитный момент функции:

$$\begin{aligned}\varphi_3' &= 13^\circ 33', & \varphi_3'' &= -3^\circ 42', & \varphi_3''' &= 36^\circ 29', \\ \lambda_3' &= 199^\circ 45', & \lambda_3'' &= 163^\circ 18', & \lambda_3''' &= 236^\circ 10', \\ \delta_3 &= 0,01311.\end{aligned}$$

Нетрудно видеть, что это приближенное решение дает узкий пучок трех осей, причем меридиональная плоскость одной из осей делит пополам угол между меридиональными плоскостями двух остальных. «Окончательное определение положения осей, — пишет Умов, — может быть получено только путем последовательных испытаний, требующих значительного времени, и это дело я предоставляю специалистам-магнитологам»¹⁵⁸.

Заметим, что, по современным воззрениям, найденные Умовым магнитные распределения, соответствующие каждой из шаровых функций Гаусса, представляют собой магнитные поля, создаваемые так называемыми мультиполями.

Автор известного курса «Земной магнетизм» Б. М. Яновский отмечает: «Интерпретация остальных членов ряда (Гаусса. — Д. Г.) впервые была дана Н. А. Умовым, который показал, что каждая из шаровых функций, входящих в ряд Гаусса, представляет магнитный потенциал особого распределения, называемого мультиполюем...»¹⁵⁹

Яновский, в частности, показал, что члены 2-го порядка разложения Гаусса соответствуют потенциалу квадруполья — системы двух близких диполей, параллельных друг другу, но противоположно направленных. Получив систему из пяти уравнений, содержащих в качестве неизвестных магнитный момент квадруполья и четыре сферические координаты, определяющие направление двух его осей, Яновский пишет: «Метод решения этих уравнений и дан в работе Н. А. Умова».

Шаровая функция третьего порядка в свою очередь описывает потенциал системы двух квадрупольей, называемой октуполем.

¹⁵⁸ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 316.

¹⁵⁹ Б. М. Яновский. Земной магнетизм, т. 1, Изд-во ЛГУ, 1964, стр. 93.

В заключительной части работы Умов переходит к рассмотрению временных изменений магнитных свойств земного шара, важность изучения которых он неоднократно подчеркивал. Пользуясь коэффициентами Гаусса, вычисленными для 1829 и 1885 гг., он находит положения осей функций различных порядков и их моментов для этих эпох.

Для функции 1-го порядка:

$$1829 \text{ г. } \lambda_1 = -61^\circ 35', \quad \varphi_1 = 78^\circ 16', \quad \delta_1 = 0,32690,$$

$$1885 \text{ г. } \lambda_1 = -67^\circ 37', \quad \varphi_1 = 78^\circ 20', \quad \delta_1 = 0,32237.$$

Магнитный момент и положение магнитной оси этой функции изменились весьма мало. Поэтому, по словам Умова, «мы можем рассматривать ее как выражающую некоторое нормальное состояние земного магнетизма».

Для функции 2-го порядка:

ось <i>B</i>	ось <i>C</i>
1829 г. $\lambda'_2 = 186^\circ 4'$, $\varphi'_2 = 55^\circ 39'$;	$\lambda''_2 = 167^\circ 56'$, $\varphi''_2 = 16^\circ 15'$,
$\delta_2 = 0,005014$;	

1885 г. $\lambda'_2 = 76^\circ 11'$, $\varphi'_2 = 61^\circ 48'$;	1885 г. $\lambda''_2 = 169^\circ 36'$, $\varphi''_2 = 7^\circ 18'$,
$\delta_2 = 0,039314$.	

Ось *C*, определяемая величинами φ''_2 , λ''_2 , почти не изменила своего положения, в то же время ось *B* переместилась от востока к западу на 110° , мало изменив свой наклон к оси Земли (полюсы осей *B* и *C* для 1829 г. обозначены на карте буквами β и γ).

Можно представить, что изменение происходит следующим образом. Большой круг, содержащий в своей плоскости оси *B* и *C*, для 1829 г. (изображен на карте параллельными черточками) наклонен к экватору под углом 75° и составляет угол около 43° с плоскостью тех же осей *B* и *C* для 1885 г. Этот круг поворачивается вокруг своего экваториального диаметра, приближаясь к Северному полюсу, переходит его и, описав угол в 43° , принимает положение 1885 г., в то время как ось *B*, двигаясь к востоку, следует по своему кругу широты, лишь слегка приподнимаясь к северу, приблизительно на 5° за 56 лет. Момент функции возрастает за это время в 8 раз.

Согласно Умову, незначительные вековые изменения элементов земного магнетизма являются лишь внешним проявлением глубоких перемен в магнитных свойствах Земли. Они состоят в значительном перемещении некоторых осей при очень медленном смещении других, принадлежащих одной и той же шаровой функции. «Вековые изменения в положении осей и величин моментов, — полагает Умов, — могут повести к открытию причин, вызывающих эти изменения».

Коэффициенты шаровой функции 3-го порядка также претерпели изменения с 1829 по 1885 г., но не столь значительные, как коэффициенты функции 2-го порядка. Сумма долгот $\sigma = \lambda_3' + \lambda_3'' + \lambda_3'''$ осей D, E, F этой функции возросла за это время с 550 до 599, т. е. на 49. Величина $M_3 = \delta_3 \sin \theta_3' \sin \theta_3'' \sin \theta_3'''$ изменилась с 0,00206 (1829 г.) до 0,010227 (1885 г.).

Итак, потенциалы, соответствующие шаровым функциям различного порядка, испытывают со временем различные изменения. По мысли Умова, «нормальный магнетизм земного шара представляется теми из этих потенциалов, которые претерпевают наименьшее изменение с временем». Из предыдущего следует, что «таким потенциалом является потенциал равномерно намагниченной сферы, ось которой совпадает с осью шаровой функции 1-го порядка и представляет так называемую магнитную ось Земли»¹⁶⁰.

В заключение работы Умов еще раз останавливается на гипотезе о вращении Земли как одной из причин геомагнетизма. Он полагает, что если принять гипотезу о вращении Земли в качестве главной причины земного магнетизма, то нормальный потенциал Земли может быть представлен суммой шаровых функций 1, 2-го и т. д. порядков, для которых земная ось является однократной, двукратной и т. д. осью. Эта точка зрения может быть признана верной в том случае, если моменты шаровых функций, имеющих своей кратной осью ось Земли, не подвержены большим вековым изменениям.

В 1917 г. исследование Умова «Построение геометрического образа потенциала Гаусса» получило развитие в работе А. А. Кулакова. Этот ученый детально разработал «общие схемы вычислений осей A, B, C, D, E, F и мо-

¹⁶⁰ *Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 369.*

ментов функций», удобные для практических целей, и предпринял попытку исследования шаровой функции 4-го порядка. Весьма сложным путем он получил систему уравнений для определения полюсов осей этой функции, однако вопрос о ее решении оставил открытым.

Для первых трех функций Кулаков определил координаты полюсов осей: оси *A* — для десяти эпох, с 1550 по 1900 г., осей *B* и *C* — для эпох 1600, 1700, 1780, 1829, 1885 гг. и осей *E*, *D*, *F* — для эпох 1700, 1780, 1829, 1885 гг. (Напомним, что Умов такие вычисления провел для двух эпох — 1829 и 1885 гг.) Кулаков приходит к выводу, что все магнитные оси Земли подвергнуты правильным вековым изменениям, точный характер которых можно вывести только из положений магнитных полюсов этих осей за большой промежуток времени. В общих чертах вековое изменение положения северного магнитного полюса *A* происходит так, как будто магнитный полюс вращается около географического. Период этого обращения автор оценивает приблизительно в 700 лет.

Положение истинного магнитного полюса Земли, указывает ученый, не совпадает ни с одним из полюсов *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*.

«Метод проф. Умова, — пишет Кулаков, — дает возможность заменить действие непосредственно наблюдаемого северного магнитного полюса действием нескольких полюсов шаровых функций разложения геомагнетизма Гаусса, по вековым изменениям которых можно судить и о вековых вариациях равнодействующего полюса»¹⁶¹.

В 1955 г. Д. Т. Артеменко, пользуясь схемой, разработанной Кулаковым, вычислил положение полюсов осей *B* и *C* для 1922 и 1945 гг. Автор определил также положение пересечения с земной сферой биссектрисы угла между осями *B* и *C* для ряда эпох — от 1600 до 1945 г. (Умовым было сделано только для 1885 г.). При этом оказалось, что это положение претерпевает некоторые изменения от эпохи к эпохе. «А так как, — пишет Артеменко, — по Умову, точка пересечения биссектрисы с дугой большого круга совпадает с центром восточноазиатской аномалии,

¹⁶¹ А. А. Кулаков. О вековом ходе геомагнетизма по методу проф. Н. А. Умова. М., 1917, стр. 105.

то это позволяет сделать вывод, что центр восточноазиатской аномалии как бы механически перемещается»¹⁶².

Далее, приведя заключение, высказанное в одной из работ Ю. Д. Калинина, о том, что изменения во времени центра восточноазиатской аномалии таковы, как если бы они были вызваны механическим перемещением магнитных масс, «обуславливающих этот центр», т. е. форма профиля меняется от эпохи к эпохе незначительно, и что профиль перемещается как целое, не меняя своей формы, автор замечает: «Этот вывод находится в полном соответствии с результатом, полученным методом Н. А. Умова».

Рассматривая перемещение полюсов 2-го порядка за 345 лет, Артеменко приходит к выводу, что один из этих полюсов описывает кривую, охватывающую восточноазиатскую аномалию, а другой — аномалию у магнитного экватора в Тихом океане. Этот результат, по мнению Артеменко, еще раз подтверждает мысль Умова о связи положения осей шаровых функций с региональными особенностями распределения геомагнетизма.

Работы Н. А. Умова по земному магнетизму, в особенности «Построение геометрического образа потенциала Гаусса», явились фундаментальным вкладом в науку о земном магнетизме. Они вызвали большой интерес не только в России, но и среди зарубежных геофизиков. В архиве Умова сохранились, например, письма известного германского геофизика Ф. Бидлингмайера — сотрудника Мюнхенской обсерватории земного магнетизма. В одном из них, датированном 28 июля 1913 г., Бидлингмайер пишет: «С большим интересом я прочел Вашу статью «Die Konstruktion des geometrischen Bildes des Gausschen Potentials als Methode zur Erforschung der Gesetze des Erdmagnetismus» и очень желал бы получить подробную статью, напечатанную in der Schriften der Gesellschaft für Naturwissenschaft, Moskau. Поскольку получить здесь эти статьи весьма затруднительно, то я позволю себе обратиться к Вам с покорной просьбой: не могли бы Вы любезно предоставить в мое распоряжение отдельный оттиск Вашей статьи. В случае, если это невозможно, я был бы Вам очень благодарен за любезное сообщение, нет ли каких-либо печаток

¹⁶² Д. Т. Артеменко. Вклад русских и советских ученых в науку о геомагнетизме. Канд. дисс. М., 1955, стр. 254.

в статье, напечатанной в Terr. Magn., в особенности в общих уравнениях разделов (4), (5) и (6)»¹⁶³.

В следующем письме Бидлингмайер писал: «Своей в высшей степени любезной пересылкой Ваших обеих статей: «Typen des Erdmagnetismus», 1903; «2 und 3 Axiensystem des Potenciale (nach Maxwell)», 1904—Вы оказали мне большую услугу и доставили большую радость. Мне кажется, что работы могут послужить очень важной основой (Grundlage) для дальнейших исследований...»¹⁶⁴

«Ваша русская статья,— указывал Бидлингмайер в третьем письме,— представляется мне столь важной, что я не остановился перед большими расходами, чтобы ее перевести. Я надеюсь в начале 1914 г. прислать вам работу, в которой я, между прочим, развиваю дальше Вашу работу. Если бы я не обнаружил, кто-нибудь другой на нее непременно натолкнулся бы. Это замечательно возвышающая мысль, что все хорошее, что создается, не погибает»¹⁶⁵.

О значении трудов Умова по земному магнетизму хорошо сказал и геофизик Э. Лейст: «Гаусс исходил из геометрического представления и составил потенциальную формулу с эмпирически определяемыми 24 коэффициентами. Умов, наоборот, составил комментарий к этим коэффициентам и перевел их опять в геометрический образ, но в совершенно новых плоскостях.

Так дополняют друг друга два гениальных мыслителя— Карл Фридрих Гаусс и Николай Алексеевич Умов»¹⁶⁶.

Один из крупных специалистов по земному магнетизму, Г. Н. Розе, в статье, посвященной трудам Гаусса, в частности, отмечал: «Укажем еще на выдающуюся работу профессора Московского университета Н. А. Умова (1904 г.), который развивает теорию Гаусса и создает представление о «магнитных типах». Умов находит оси и моменты шаровых функций порядков, иначе говоря, он создает геометрический образ потенциала Гаусса, что облег-

¹⁶³ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 12, л. 1.

¹⁶⁴ Там же, л. 2.

¹⁶⁵ Там же, л. 3.

¹⁶⁶ Э. Е. Лейст. Труды Н. А. Умова по земному магнетизму.— «Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы за 1915 г.», 1916, т. 29 (прилож. к протоколам), стр. 29.

чает изучение изменения магнетизма Земли с течением времени»¹⁶⁷.

Работам Умова отводится видное место в иностранных энциклопедиях и монографиях по земному магнетизму.

Оптические исследования

Опыты по демонстрации поляризационных свойств света

Н. А. Умов был не только выдающимся физиком-теоретиком, но и первоклассным экспериментатором. Наиболее замечательными экспериментальными исследованиями явились его оптические работы (1905—1912 гг.) о поляризационных свойствах света, рассеянного в мутных средах или отраженного от шероховатых поверхностей.

Вопросами экспериментальной оптики Умов занимался и раньше. В 1899—1900 гг. он поставил перед большой аудиторией ряд замечательных по замыслу и наглядности опытов, показывающих поляризационные свойства света.

Одним из придуманных Умовым способов демонстрировать поляризацию света является остроумное видоизменение опыта с плоским стеклянным зеркалом, помещенным на пути пучка плоскополяризованных лучей и играющим роль анализатора. При отражении от пластинки из диэлектрика (стекла, полированного мрамора) свет частично поляризуется, причем доля поляризованного света зависит от величины угла падения. При некотором определенном для данного диэлектрика угле отраженный свет оказывается полностью поляризованным. Этот угол называется углом полной поляризации и зависит от относительного показателя преломления (закон Брюстера). При помощи какого-либо анализатора, например призмы Николя, можно установить направление плоскости поляризации отраженного света. Направление колебаний вектора электрической напряженности в отраженном свете (в случае полной поляризации) оказывается перпендикулярным плоскости падения света.

¹⁶⁷ Г. Н. Розе. Гаусс и его работы по земному магнетизму.— В кн.: К. Ф. Гаусс. Избранные труды по земному магнетизму. М., Изд-во АН СССР, 1952, стр. 289.

Опыт можно обратить (рис. 8). Свет от проекционного фонаря проходит через николю N , выходит из него в виде плоскополяризованного пучка и падает на стеклянную пластинку P , поставленную так, чтобы угол падения был равен углу полной поляризации. Отраженные от пластинки лучи попадают на экран MN . Стеклянная пластинка при таком расположении опыта может служить анализатором.

При вращении пластинки вокруг направления падающего пучка отраженный свет будет попадать в различные места экрана; при этом интенсивность отраженного света будет меняться. Именно, если направление колебаний падающего света лежит в плоскости чертежа, интенсивность света, отраженного вправо или влево (по ходу луча), станет максимальной, тогда как вверх и вниз свет совсем не будет отражаться. В промежуточных положениях интенсивность примет различные значения, в зависимости от угла между направлением колебаний в падающем пучке и плоскостью падения.

Таким образом, при вращении зеркала интенсивность отраженного пучка будет периодически меняться, дважды достигая максимума за один оборот и дважды ослабевая до минимума.

Опыт прост и нагляден. Однако Умов сумел сделать его еще нагляднее и значительно интереснее. Он заменил плоское зеркало стеклянным полированным конусом с вершиной, обращенной навстречу падающему пучку света (рис. 9).

Такой конус можно рассматривать как набор всех положений, последовательно занимаемых плоским зеркалом, используемым в описанном выше опыте, если его вращать относительно оси, перпендикулярной к экрану MN . Поэтому на экране получается одновременно вся последовательность отдельных картин, наблюдаемых при вращении зеркала. Отраженные лучи образуют на экране широкий светлый круг (сияние), пересеченный двумя темными пятнами, лежащими друг против друга (рис. 10). Диаметр, делящий темные пятна симметрично пополам, показывает направление колебаний в падающем пучке света. При повороте поляризатора на некоторый угол на тот же угол поворачивается вся картина на экране. Таким образом, стеклянный конус является анализатором.

Если поместить на пути лучей между поляризатором и конусом кристаллическую пластинку, вырезанную из

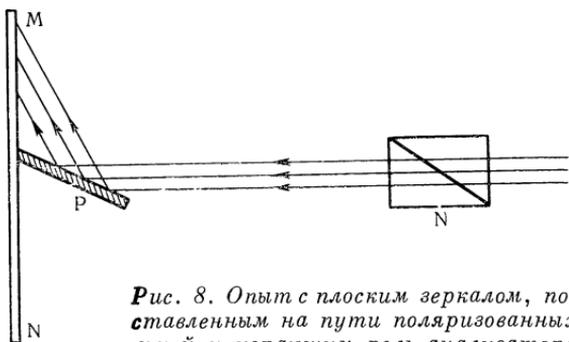


Рис. 8. Опыт с плоским зеркалом, поставленным на пути поляризованных лучей и играющим роль анализатора

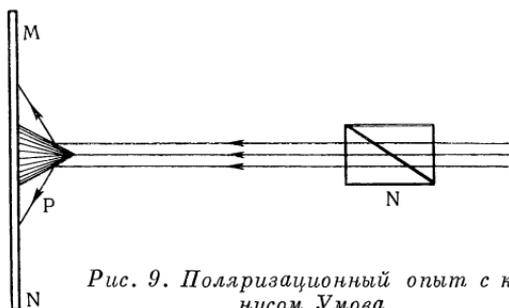


Рис. 9. Поляризационный опыт с конусом Умова

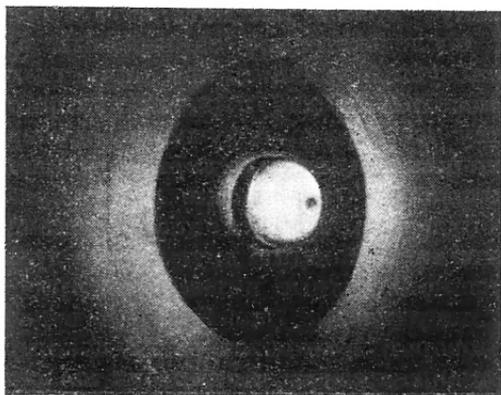


Рис. 10. Картина на экране, получаемая в опыте с конусом Умова

одноосного кристалла, параллельно оптической оси (например, слюдяную), то при освещении белым светом картина на экране будет окрашенной.

В таком виде опыт представляет собой модификацию известного опыта по интерференции поляризованных лучей (рис. 11). Плоскополяризованный свет, падая на кристаллическую пластинку К, распространяется в ней в виде двух когерентных волн (соответствующих обыкновенному и необыкновенному лучам), имеющих разную скорость, поскольку показатели преломления среды для обеих волн различны. Обе волны плоскополяризованы, причем направления колебаний в них взаимно перпендикулярны.

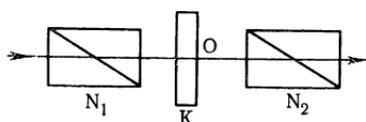


Рис. 11. Обычная схема наблюдения интерференции поляризованных лучей

Николю N_2 , играющий роль анализатора, пропускает составляющие колебаний обоих лучей, параллельные его главной плоскости, т. е., другими словами, приводит колебания обоих лучей в одну плоскость. В итоге из анализатора (николя) выходят две когерентные волны, обладающие некоторой разностью фаз и одинаковыми направлениями колебаний. Такие волны должны интерферировать. При этом в случае освещения белым светом результаты интерференции для лучей различного цвета будут различными, поскольку разность хода, приобретенная в кристаллической пластинке, для разных длин волн неодинакова: интерференционная картина окажется окрашенной.

При повороте одного из николей на 90° вносится (при проецировании колебаний на направление главной плоскости анализатора) дополнительная разность фаз в π . Поэтому при монохроматическом свете места минимумов и максимумов должны поменяться; при белом свете цвета меняются на дополнительные.

В опыте Умова одновременно фигурируют все возможные положения анализатора, поэтому наблюдаемая на экране картина состоит из радиально расположенных цветов с постепенным переходом различных оттенков друг

в друга. Эти оттенки соответствуют разным положениям анализатора (в рассматриваемом случае — разным образующим стеклянного конуса); при этом по взаимноперпендикулярным диаметрам располагаются цвета, дополняющие друг друга до белого цвета.

Если на пути лучей перед конусом поместить кварцевую пластинку, вырезанную перпендикулярно к оптической оси, или какое-либо другое оптически активное вещество, т. е. вещество, способное вращать плоскость поляризации, то вся картина при монохроматическом свете повернется на некоторый угол, при белом же свете, благодаря дисперсии вращения, — из светло-темной станет радужной. Она представляет собой два примыкающих друг к другу спектра, в которых последовательность цветов от красного до фиолетового меняется по направлению часовой стрелки или против нее, в зависимости от того, используется ли в опыте лево- или правовращающая пластинка (вещество). Таким образом, этот метод позволяет весьма эффектно демонстрировать вращение плоскости поляризации света.

Явления, аналогичные описанным, имеют место, очевидно, во всех случаях отражения поляризованного света на границе прозрачной среды и погруженного в эту среду тела, поверхность которого можно рассматривать как состоящую из множества отражающих плоскостей. Роль таких тел могут играть, например, капельки жидкости, распыленные в воздухе.

Умов в этой связи описывает следующий интересный опыт. На пути пучка плоскополяризованного света помещается кварцевая пластинка и затем пульверизатором рассеиваются капельки воды. Если смотреть вдоль «жидкого луча» и немного наклонно к нему, то будут видны спектральные цвета, которые меняются при вращении поляризатора.

Наиболее замечателен следующий способ демонстрации. При помощи зеркала пучок плоскополяризованных лучей направляется вертикально вверх и проходит вдоль оси стеклянного цилиндра, наполненного мутной средой, например водой с небольшой добавкой раствора канифоли в спирте (рис. 12). Если в цилиндр направить естественный свет, то вследствие рассеивания света на частицах мути будет виден светящийся столб, равномерно заполняющий весь объем цилиндра (явление Тиндаля). Если же падаю-

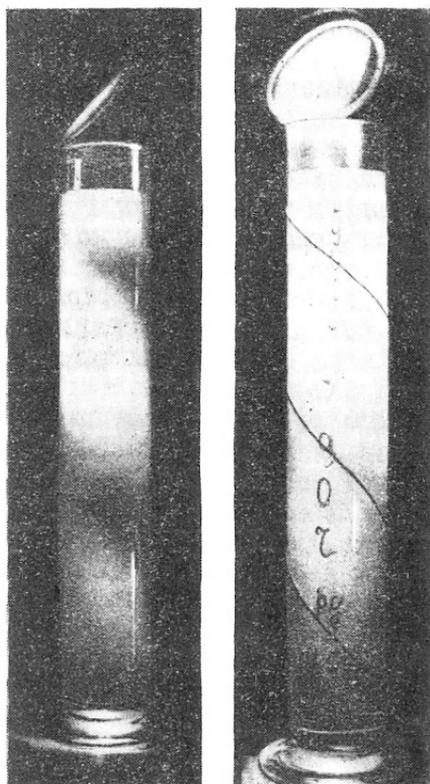
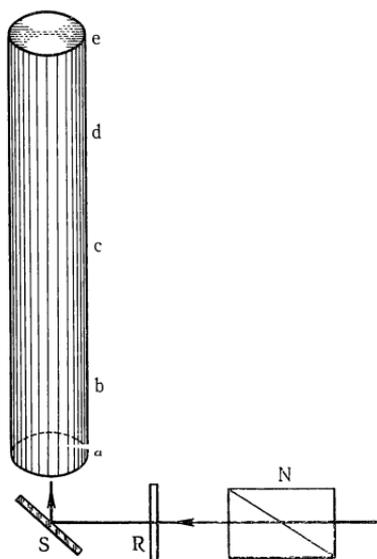


Рис. 12. Поляризационный опыт Умова с цилиндром, наполненным мутной средой

Рис. 13. Спирали Умова: слева — темные и светлые (в монохроматическом свете), справа — цветные (исходный свет — белый)

щий свет плоскополяризован, то оболочка светящегося столба оказывается разделенной на две светлые и две темные вертикальные полосы. Расположение полос зависит от положения поляризатора, при повороте его соответственно поворачивается и весь светящийся столб со всеми светлыми и темными полосами.

Появление полос здесь вполне аналогично возникновению темных пятен в опыте с конусом; при этом рассеивающие свет частицы играют роль конусов Умова.

Допустим, что колебания в поляризованном луче направлены перпендикулярно плоскости чертежа (см. рис. 12). Тогда свет будет отражаться рассеивающими частицами вправо и влево; в направлении от чертежа и за чертеж свет падать не будет.

Если на пути лучей после поляризатора ввести кварцевую пластинку, вырезанную перпендикулярно оптической оси, светящийся столб оказывается расцветенным вертикальными цветными полосами с такой же последовательностью цветов, что и в аналогичном опыте с конусом.

Если в качестве заполняющей сосуд жидкости взять какую-нибудь активную жидкость, например раствор сахара, несколько замутненный описанным выше способом, то в монохроматическом свете (в случае применения светофильтра) на поверхности светящегося столба вместо темных вертикальных полос появятся две темные спирали, сдвинутые относительно друг друга на два прямых угла (рис. 13). Появление спиралей обусловлено тем, что по мере проникновения луча в более глубокие слои раствора равномерно увеличивается угол поворота плоскости колебаний. Если светофильтр убрать и проделать опыт в белом свете, столб света окажется как бы обмотанным разноцветными спиральными лентами всевозможных оттенков. При вращении поляризатора вся картина также вращается.

Описанные эксперименты нельзя расценивать только как удачные демонстрационные опыты, что сделал, например, А. А. Эйхенвальд в речи, посвященной памяти Н. А. Умова¹⁶⁸. В опытах со столбом жидкости Умов открыл новое физическое явление, которое может быть названо его именем с таким же правом, с каким свечение столба жидкости в результате рассеяния света на взвешенных частицах муты называется явлением Тиндаля или поляризация света при таком рассеянии — явлением Стокса.

Помимо демонстрационных целей, открытое Умовым явление может быть использовано и в исследовательских работах. Это сразу поняли некоторые зарубежные физики, ознакомившись с опубликованной статьей Н. А. Умова.

¹⁶⁸ «Конечно, все, что мы видели, это не более как демонстративные опыты...» — Протокол чрезвычайного соединенного заседания московских ученых обществ и учреждений в память Н. А. Умова. М., 1916, стр. 44.

Например, 11 июля 1899 г. немецкий физик Г. Бредиг писал Умову, что для ученых «открытое Вами явление в высшей степени интересно, так как мы в настоящее время здесь в институте изучаем специфические (eigentümliche) опалесцирующие химические системы, исследование которых с помощью открытого Вами явления приведет, пожалуй, к новым результатам.

Говорят, что Вы опубликовали Ваш опыт в «Bulletin de la Societe de Physique de Moscou». Этот журнал здесь недоступен, и я был бы Вам очень благодарен, если бы Вы прислали мне оттиск»¹⁶⁹.

В другом письме, от 28 июля 1899 г., Бредиг сообщал: «Сегодня я продемонстрировал Ваш эксперимент с наилучшим успехом профессору Оствальду и практикантам института, и все были восхищены красивыми явлениями, в особенности Вашей остроумной демонстрацией вращения плоскости поляризации при помощи цилиндра с сахарным раствором. Профессор Оствальд будет очень рад получить Ваше сообщение об опыте для «Zeitschr. f. phys. Chemie» и просит Вас сфотографировать спиральные явления и др. и сделать репродукции для печатания в «Zeitschrift» в качестве иллюстраций»¹⁷⁰.

Другой немецкий физик, П. Друде, редактировавший «Annalen der Physik», в феврале 1900 г. писал Умову: «Учитывая интерес, который возбудил у всех физиков Ваш прекрасный метод демонстрации поляризации света в мутных средах, кратко описанный в «Zeitschrift für physikalische Chemie», я весьма охотно поместил бы Вашу работу в «Annalen der Physik»¹⁷¹.

В 1908 г. в журнале «Nature» появилась статья Паттерсона. Автор повторил опыт Умова со спиральными явлениями и внес некоторые видоизменения: в качестве добавки для замутнения раствора сахара он вместо канифоли использовал сульфид мышьяка. Когда «пучок плоскополяризованного света пропускался через такой раствор, явления, описанные Умовым, были очень ясно видны, хотя некоторые цвета складывались с желтым цветом раствора», — пишет Паттерсон. Далее он указывает,

¹⁶⁹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 16, л. 1.

¹⁷⁰ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 16, л. 2.

¹⁷¹ Там же, д. 54, л. 1. Статья Умова была помещена в Ann. Phys., 1900, Bd. 2, S. 72.

что при подготовке к публичной лекции, «пробуя заранее эксперимент», неожиданно обнаружил, что явление Умова имеет место и в случае, если пучок плоскополяризованного света пропускается через чистый водный раствор сахара без каких-либо добавок. «Таким образом, — пишет Паттерсон, — для того, чтобы объективно демонстрировать оптическое вращение, необходимо иметь лишь чистый водный раствор сахара; умовская добавка канифоли и моя — сульфида мышьяка — были излишними. При этом, однако, цвета, видимые в трубе, содержащей только сахар и воду, несколько слабее по интенсивности, чем в трубе, содержащей сульфид мышьяка».

По мнению Паттерсона, «представляется весьма правдоподобным, что простой эксперимент пропускания луча плоскополяризованного света, достаточно интенсивного, чтобы показать явление, никогда до сих пор не был проделан; в противном случае экспериментатор не мог не натолкнуться на возникновение цветов».

Паттерсон проделал аналогичный опыт, взяв в качестве раствора очень чистый без всяких добавок реактив ацетата (уксуснокислой соли) ментола, подвергнув его тщательной дистилляции. В этом случае также наблюдалась умовская спиральная картина, причем цвета получаются чистыми, но менее интенсивными, чем в случае сахарного раствора. Рассеяние же естественного, неполяризованного света в растворе ацетата ментола оказалось также очень незначительным.

В заключение Паттерсон писал: «Какова бы ни была причина явления, это очень простой способ демонстрировать вращение плоскости поляризации света перед большой аудиторией»¹⁷².

Спектрополяризационные исследования

Как уже отмечалось, наиболее выдающимися экспериментальными исследованиями Н. А. Умова в области оптики явились работы, посвященные изучению поляризационных свойств света, рассеянного мутными средами

¹⁷² T. S. Patterson. The objective demonstration of the rotation of the plane of polarisation of light by optically active liquids,— Nature, 1908, v. 72, p. 249.

или диффузно отраженного от матовых поверхностей. Результаты этих исследований ученый опубликовал в трех статьях.

Явление деполяризации при диффузном отражении поляризованного света от матовых поверхностей впервые было обнаружено Провостэ и Десеном в 1852 г.¹⁷³ Они же установили различное при этом поведение черных и белых матовых поверхностей: черные слабо или совсем не деполяризовали свет, белые давали большую степень деполяризации отраженного света.

Спустя почти полвека, в 1900 г., вопрос изучался Г. Райтом, который пришел к выводу, что «естественные лучи при диффузии от вполне матовой поверхности *не поляризуются*, напротив, падающие поляризованные лучи *полностью деполяризуются*»¹⁷⁴. По словам В. Наврата, результат Райта подтвердил «почти всеми разделяемое мнение».

Однако исследования Умова показали несостоятельность этого мнения. Ученый блестяще доказал следующее.

1. Матовые поверхности деполяризуют свет не полностью и не равномерно для различных длин волн: окрашенные тела с матовой поверхностью деполяризуют в большей степени лучи, наименее поглощаемые телом, и слабее — лучи, наиболее поглощаемые. Иначе говоря, окрашенные тела обладают способностью избирательной, или хроматической, деполяризации падающего на них поляризованного света.

2. При падении естественного света на матовую поверхность имеет место частичная избирательная поляризация — наиболее поляризованными оказываются лучи, испытывающие наибольшее поглощение. Иначе говоря, тела с избирательным поглощением ведут себя как хроматические поляризаторы.

Таким образом, Умов впервые обнаружил явление *хроматической деполяризации* света, рассеянного матовыми поверхностями, и установил связь деполяризации с избирательным поглощением.

Уже в первой серии опытов (1905 г.) Умов применил в высшей степени остроумный и оригинальный метод ис-

¹⁷³ *Provostage et Desain. Mémoire sur la diffusion de la chaleur.*—Ann. chim. phys., Ser. 3, 1852, t. 34, p. 320.

¹⁷⁴ *H. Wright. Die diffuse Reflexion des Lichts an matten Oberflächen.*—Ann. Phys., 1900, Bd. 1, H. 1, S. 17 (курсив мой.—Д. Г.).

следования поляризации света. Сущность его заключалась в использовании комбинации из полярископа Савара и спектроскопа. Источником света служила накаленная нить лампы Нернста. На пути пучка света ставились поляризатор (николь) и призма прямого зрения, которая разлагала в спектр проецируемое на исследуемую поверхность изображение нити. Рассеянный телом свет проходил через стопу из стеклянных пластинок, служащую для определения доли поляризованного света во всем рассеянном свете, и далее падал на полярископ Савара.

Полярископ представляет собой комбинацию пластинки Савара, состоящей из двух кварцевых пластинок, вырезанных под углом 45° к оптической оси и повернутых относительно друг друга на 90° , и николя-анализатора, главная плоскость которого делит пополам прямой угол между осями обеих пластинок.

Подобный прибор обладает весьма большой чувствительностью к прямолинейно-поляризованному свету. Если в полярископ попадает свет с малейшими следами поляризации, то в поле зрения получается интерференционная картина в виде ряда темных полос, идущих параллельно главному сечению анализатора. Если свет предварительно проходит через призму, то в поле зрения виден спектр, пересеченный полосами Савара, причем на красном конце эти полосы спектра дальше отстоят друг от друга, а к фиолетовому концу сближаются. Интенсивность полос Савара в той или другой части спектра зависит от степени поляризации лучей данного цвета: там, где лучи наиболее поляризованы, интенсивность наибольшая, там, где лучи менее поляризованы или совсем не поляризованы, полосы Савара утончаются либо вовсе исчезают.

Исчезновение полос Савара, свидетельствующее об отсутствии поляризации, наблюдается в тех частях спектра, в отношении которых тело обладает наибольшей прозрачностью; напротив, лучам, наиболее поглощаемым, соответствуют интенсивные полосы.

В качестве исследуемых тел использовались сделанные из различных материалов прессованные, литые или окрашенные пластинки, картон, порошок, белая и окрашенная фильтровальная бумага и т. д.

Уже в статье 1905 г. Умов высказал ряд соображений, позволяющих объяснить открытую им связь между деполаризацией и поглощением. Он полагал, что совершенно

черное тело может быть определено как такое тело, бесконечно тонкий поверхностный слой которого полностью поглощает все падающие на тело лучи. Однако, как показывает опыт, реальные черные тела не полностью поглощают падающий на них свет, а частично рассеивают его. Поскольку черное тело не пропускает света в глубь себя, следует считать, что рассеивание происходит в основном от поверхностного слоя. При этом рассеянный черным телом естественный свет поляризуется, а падающий на него поляризованный пучок лучей не деполяризуется.

«Черное тело, — пишет Умов, — может быть исчерпывающе описано как такое, которое вносит порядок в колебания падающих на него лучей»¹⁷⁵.

Напротив, белые тела — это такие, бесконечно тонкий поверхностный слой которых не полностью поглощает падающий на него свет. Поэтому, по словам Умова, «мы должны допустить проникновение света в белые тела и рассеивание света из глубины. Подобные явления сопровождаются деполяризацией падающего поляризованного света»¹⁷⁶. Таким образом, белые тела вносят беспорядок в колебания падающих на них лучей.

Качество «черноты» или «белизны» по отношению к реальным телам, указывает Умов, следует связывать с определенным родом лучей. Одно и то же тело может проявлять себя как черное по отношению к одним лучам и как белое — по отношению к другим. Более того, даже по отношению к лучам одного цвета весьма редко можно то или иное тело считать либо строго черным, либо строго белым.

«Строгое разделение тел на белые и черные по отношению к определенным лучам может быть произведено лишь в исключительных случаях»¹⁷⁷. Это связано с тем, что монохроматический пучок света, падающий на то или другое тело, поглощается или отражается (рассеивается) не полностью: часть поглощается, другая — рассеивается. При этом частично лучи рассеиваются поверхностью тела, частично — проникают (чем чернее тело для данных лучей, тем в меньшей мере) внутрь его и рассеиваются уже из некоторой глубины. Лучи, рассеиваемые поверхностью

¹⁷⁵ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 415.

¹⁷⁶ Там же, стр. 416.

¹⁷⁷ Там же.

тела, являются носителями порядка (поляризации), лучи из глубины тела, напротив, «несут» элемент беспорядка (они оказываются деполяризованными).

В статье 1912 г. Умов пишет: «Причина этого явления (связи между поляризацией и поглощением.— Д. Г.) кроется в частичной деполяризации лучей, рассеянных поверхностью тела, теми лучами, которые проникают внутрь тела и затем отражаются оттуда назад. Наиболее сильно поляризованы будут те участки спектра естественного света, для которых отражение изнутри будет наиболее слабым, т. е. в областях сильного поглощения»¹⁷⁸.

Эти соображения Умова легли в основу теоретического исследования диффузного рассеивания света в работах Г. П. Воронкова и Г. И. Покровского.

Наблюдения Умова явились толчком к целому ряду исследований других ученых. В 1906 г. Н. Н. Златовратский и Д. Д. Хмыров, по совету Умова, предприняли более детальное изучение открытого им явления. Эти исследователи провели параллельные измерения степени поляризации и интенсивности рассеянного света (измерение последней позволило судить о поглощении тех или иных лучей). Таким образом, были получены количественные результаты, вполне подтвердившие выводы Умова. Для измерения степени поляризации Златовратский и Хмыров пользовались стопой плоскопараллельных пластинок в соединении с полярископом Савара. Измерение интенсивности производилось при помощи спектрофотометра.

«Результаты нашей работы, — писали исследователи, — подтвердили замеченные Умовым факты [. . .] Наименьшая степень поляризации связана с наиболее яркой спектральной областью, наибольшая — с наиболее темной»¹⁷⁹.

В статье, опубликованной в 1909 г., Умов изложил свои опыты по изучению свойств света, рассеянного телами, содержащими хлорофилл. Он пришел к выводу о возможности обнаружить хлорофилл на планетах спектрополяризационным методом. Здесь же он указывал на возможность изучения состава и природы поверхности

¹⁷⁸ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 425.

¹⁷⁹ D. Chmyrow, N. Slatowratsky. Über diffuse Zerstreuung polarisierten Lichtes von matten Oberflächen.— Phys. Z., 1906, Bd. 15, S. 534.

небесных тел путем сравнения свойств света, рассеянного различными участками этой поверхности и всевозможными земными материалами.

Наблюдения Умова, установившего связь между поляризацией и поглощением, в 1911 г. детально подтвердил В. Наврат. Он указал, в чем заключалась ошибка Райта, использовавшего для поляриметрических исследований лучи только большой яркости в отраженном спектре, следовательно, лучи, наименее поглощаемые. Согласно Умову, эти лучи будут наиболее деполаризованы. Таким образом, становится понятным вывод Райта о том, что матовые поверхности полностью деполаризуют падающий поляризованный свет. «Его результаты, — пишет Наврат, — пожалуй, хорошо согласуются с законом Умова»¹⁸⁰.

Открытая Умовым связь между поляризацией и поглощением легла в основу нового оригинального метода изучения поглощения тел, названного им *спектрополярископическим*.

Обычный метод исследования поглощения тел заключается в изучении спектров поглощения, полученных в проходящем свете. В этом случае определяются положение, ширина и интенсивность полос поглощения, причем последние изображаются кривыми, которые и служат характеристикой поглощения, а вместе с тем — и природы тела. Этот метод не годится для изучения непрозрачных тел; кроме того, трудно с его помощью определить размытые границы полос и положение максимума темноты.

Однако основной, принципиальный недостаток метода, как указывал Умов, состоит в том, что свет, падающий на изучаемое тело, не только проходит через него, но и частично отражается в сторону источника света¹⁸¹. Таким образом, в наблюдаемом спектре ослаблены и лучи, поглощаемые телом, и лучи, которые преимущественно отражаются от его поверхности. Следовательно, спектры поглощения не дают истинной картины поглощения света исследуемым веществом.

¹⁸⁰ V. Navrat. Die Gesetze der diffusen Reflexion.— Sitzungs. Ber. Akad. Wiss. zu Wien. Math.-Naturwiss. Kl., Abt. IIa, 1911, Bd. 120, S. 1229.

¹⁸¹ Неопубликованная статья Умова «Сектрополярископический и интерференционный методы наблюдения явления абсорбции света», написанная в 1913—1914 гг. (Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 36).

В методе Умова перечисленных недостатков нет. Он основан на связи между поглощением и поляризацией. Выше говорилось, что полярископ Савара в соединении со спектральным прибором позволяет получать наглядную картину распределения степени поляризации рассеянного телами света по длинам волн в виде спектра, пересеченного полосами Савара. В случае рассеивания света окрашенным, т. е. селективно поглощающим, телом участки полос Савара, соответствующие не поглощаемым телом лучам (и, следовательно, согласно правилу Умова, — отсутствию поляризации), исчезают совершенно; в цветах мало поглощаемых полосы бледнеют и утончаются; в лучах, испытывающих сильное поглощение, — утолщаются и усиливаются. Метод Умова по чувствительности значительно превосходит обычный метод исследования поглощения тел.

Существенно, что усиление или ослабление полос зависит одновременно от двух причин: от степени поляризации и от поглощения. Наблюдаемая картина по существу является результатом наложения двух взаимно перпендикулярных систем темных полос — полос Савара и полос поглощения. В местах их пересечения либо появляются утолщения саваровских полос, либо образуются темные пятна круглой, эллиптической или самой замысловатой формы. Эти пятна Умов называет *четками*, а полосы поглощения, содержащие четки, — *четочными* полосами. По словам Умова, «в зависимости от степени поляризации и, следовательно, величины поглощения, саваровские полосы будут ослабевать, прерываться и исчезать вовсе; концы оставшихся полос приобретают самые причудливые формы; они могут быть размыты, обрезаны, закруглены, заострены, игольчатообразны, могут иметь вид булавочных головок»¹⁸² (см. рис. 14).

Форма и расположение четок специфичны для каждого исследуемого вещества; наблюдаемая картина может служить наглядной оптической характеристикой тел. При этом существенно, чтобы полосы поляризации по интенсивности были сравнимы с полосами поглощения. В этом случае места пересечения полос видны наиболее отчетливо.

«Если на двух стеклышках, — пишет Умов, — начертить очень слабые темные полоски и затем наложить их

¹⁸² Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 426.

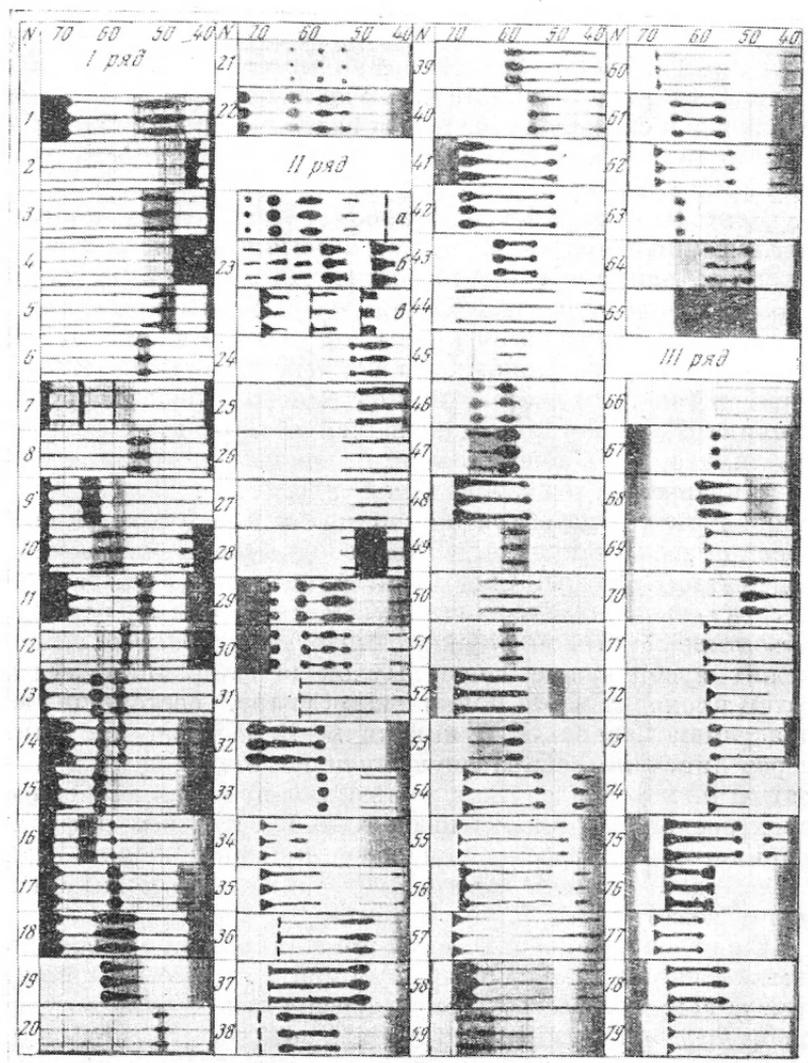


Рис. 14. Полосы Умова

друг на друга накрест, то места их пересечения явятся несравненно более отчетливо, чем самые полоски. Необходимым условием такой отчетливости является одинаковость темноты этих полосок. Если разница в темноте несколько значительна, то усиления темноты на более темных полосках в виде точек или четок не замечается. Очевидно, что каждая система полос может быть ослаблена ниже предела видимости, (тогда) задача сводится к видимости мест их пересечения»¹⁸³.

Ясно, что метод Умова позволяет определять полосы поглощения в тех случаях, когда обычный способ ничего не дает; например, он позволяет исследовать растворы гораздо меньшей концентрации, чем при обычном методе.

Для практического применения своего метода Н. А. Умов разработал прибор, описанный им в статье 1912 г. Прибор (рис. 15) состоит из подъемного горизонтального столика T , на котором помещается объект, двух труб — коллиматорной C и зрительной F , каждая из которых может вращаться в вертикальной плоскости. Коллиматор концентрирует на объекте пучок света в виде тонкой световой полосы, направленной перпендикулярно плоскости, содержащей трубы. Свет от этой полосы, рассеиваемый поверхностью тела, частично попадает в зрительную трубу, объективом которой служит линза M ; в фокусе линзы лежит изображение щели. Пучок параллельных лучей затем проходит через полярископ Савара, состоящий из пластинки Савара W и николя n . Далее свет проходит через линзу m , собирающую лучи на узкую щель диафрагмы b , которая служит щелью для помещенного далее спектроскопа a , призматического либо сетчатого дифракционного. Спектроскоп снабжен приспособлением для отсчета длин волн. В качестве источника света может быть использована нить лампы Нернста.

Спектрополярископический прибор был, по указаниям Умова, изготовлен немецкой фирмой Р. Фюсс. В архиве Умова сохранилась обширная переписка с научным руководителем оптического отделения фирмы К. Лейссом, прерванная, по-видимому, войной 1914 г. Из переписки видно, что Умов почти до конца жизни продолжал работать над усовершенствованием своего прибора и дальнейшим развитием предложенного им метода. В частности, в более

¹⁸³ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 36.

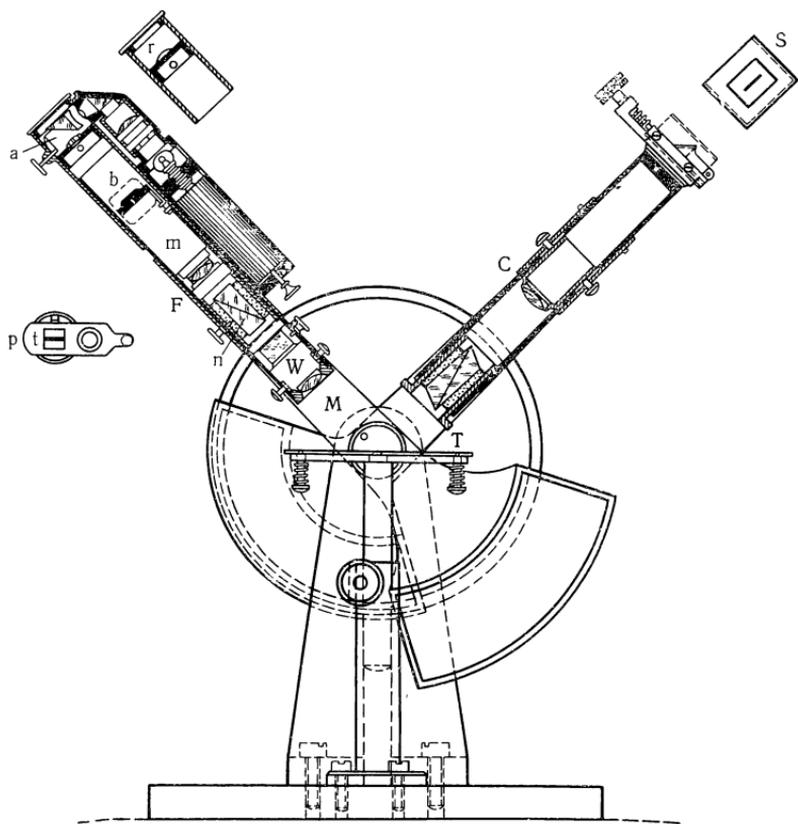


Рис. 15. Спектрополярископ Умова

поздних моделях используется в качестве объектива *M* зрительной трубы цилиндрическая линза, что уменьшает влияние местных шероховатостей на поверхности объектива, сказывающееся на чистоте спектра.

Метод спектрополярископического анализа оказался очень удобным для изучения состава и природы красителей — задачи чрезвычайно важной с практической и теоретической точек зрения.

По свидетельству П. П. Лазарева, «метод спектрального исследования Умова был многократно применен в текстильной технике и обнаружил многие интересные свойства красителей, трудно открываемые иным способом. В тек-

стильных лабораториях инструмент Умова был одно время ходовым аппаратом»¹⁸⁴.

Раньше для этой цели пользовались в основном методом Форманека: краситель смывался с ткани растворителем, и раствор исследовался на спектр поглощения. Форманек исследовал таким способом большое число красителей и полученные им спектры разбил на 12 групп по внешнему виду.

Однако метод Форманека имел существенные недостатки, в частности он был неприменим для изучения красителя непосредственно на ткани (волокне) и не всякий краситель оказывалось возможным без изменения его состава смыть с волокна. Между тем вопрос об исследовании красителя на ткани имеет большое значение — и практическое, и для решения ряда вопросов теории красок и крашения.

Первая попытка применить спектроскоп для изучения состава красителя на ткани принадлежит, по-видимому, русским исследователям А. Е. Порай-Кошицу и Ю. И. Аушкапу¹⁸⁵. Они пользовались спектрофотометром Фирордта с двойной щелью. При помощи специального устройства через одну из щелей спектрофотометра пропускался луч, отраженный от окрашенной ткани, а через другую — луч, отраженный от ткани того же образца, но неокрашенной. Сравнением (в определенных участках спектра) интенсивности света, прошедшего через ту и другую щель, можно получить кривые поглощения для красителя, находящегося на ткани. Метод очень прост, но лишен наглядности, присущей способам с проходящим светом.

Порай-Кошиц считал метод Умова более удобным, чем свой собственный. Он писал Умову:

«Глубокоуважаемый Николай Алексеевич!

Позвольте принести Вам искреннюю благодарность за присылку оттиска Вашей работы о спектрополярископии окрашенных тел, которая живо заинтересовала меня и моих сотрудников Ю. И. Аушкапа и В. П. Гундобина. Так как, по-видимому, Ваш метод превосходит выработанный

¹⁸⁴ П. П. Лазарев. Очерки истории русской науки. Изд-во АН СССР, 1950, стр. 227.

¹⁸⁵ А. Porai-Koschitz, J. Auschkap. Spektro-photometrische Bestimmung der Farbstoffe auf der Faser.— Z. Farbenindustrie, 1914, Bd. 10, S. 293—297, 321—326, 342—344.

ный нами в наглядности и простоте, то мне очень хотелось бы ознакомиться с ним поближе. Не имея возможности сразу выписать Ваш аппарат, который стоит, вероятно, недешево, обращаюсь к Вам с большой просьбой не отказать, если возможно, ознакомиться с аппаратом в Москве, куда я приеду на 2 дня в конце этой или будущей недели. Был бы Вам очень признателен, если бы Вы разрешили произвести у Вас в лаборатории пару-другую определений с теми окрашенными волокнами, которые я привезу с собой, и не отказали, в случае возможности этого, черкнуть два слова о Вашем согласии. Примите уверения... А. Порай-Кошиц»¹⁸⁶.

Спектрополяризационный метод Умова может быть применен к телам непрозрачным и прозрачным. В первом случае исследование проводится в отраженном свете.

Для тел прозрачных, жидких или твердых исследование может проводиться в проходящем свете, причем свет должен быть заранее поляризован. В этом случае также получаются полосы Савара, но они будут утолщены в поглощаемых цветах, что позволяет обнаружить слабую абсорбцию, незаметную при других методах.

Чтобы практически улучшить обычный метод, достаточно снабдить коллиматор обыкновенного спектрографа вращающейся призмой Николя, зрительную трубу — полярископом Савара.

Наконец, прозрачные тела можно исследовать путем наблюдения совместного действия света, отраженного поверхностью прозрачного тела, и света, им пропущенного. С этой целью прозрачный слой краски, растворенной в лаке, коллодиуме и т. д., наносят на отражающую металлическую поверхность (подложку), а если тело жидкое (например, раствор), им наполняют кюветку с зеркальным дном. На тело падает естественный свет. Он частично отражается от поверхности раствора, частично проникает внутрь, отбрасывается металлическим зеркалом к поверхности и выходит из раствора, присоединяясь к отраженному пучку. Оба пучка света различно поляризованы и дают спектр со своеобразным рисунком, характерным для исследуемого тела.

«Метод, предлагаемый мною, — писал Умов, — заключается в наблюдении явлений, получающихся при нало-

¹⁸⁶ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, д. 113.

жении двух пучков света: отраженного от тела и через него прошедшего. Таким образом, охватываются две оптические характеристики, которые вносят в явление не только степень напряжения света, но и отношение поляризации обоих пучков. Благодаря употреблению полярископа Савара, учитывающего обе характеристики, получаются наглядные картины оптических свойств тел, отмечающие их природу и дающие возможность делать заключение о некоторых присущих этим телам оптических законах»¹⁸⁷.

В статье 1912 г. Умов описал результаты исследования различных веществ, проводившегося одним из описанных трех способов. Он зарисовал спектры: различных прозрачных веществ, полученные в проходящем поляризованном свете; растворов красителей, налитых в металлические кюветки с зеркальным дном; слоев застывших растворов красок в желатине или коллодиуме, нанесенных на посеребренный медный лист; различных цветных лаков, нанесенных на полоски оловянной фольги; различных окрашенных предметов (картон, бумага, шерсть, гипсовые пластинки); твердых природных тел неорганических; твердых тел органических.

Наблюдения во всех случаях, кроме первого, велись при естественном свете. Всего было исследовано 185 образцов. Среди органических веществ были листья и стебли различных растений, цветы, мясо, перья птиц, крылья бабочек и т. д. Опыты проводились описанным прибором, пригодным для всех способов наблюдения.

Умов указывал, что при исследовании прозрачных веществ, находящихся на металлическом зеркале, если слой вещества достаточно тонок, следует учитывать явления интерференции между лучами, отраженными от поверхности слоя, и лучами, прошедшими через слой и отраженными от металлического зеркала. В результате интерференции получаются светлые и темные полосы, перпендикулярные плоскости падения. Но интерференция может иметь место только для лучей, не поглощаемых телом. При поглощении один из интерферирующих лучей будет либо полностью отсутствовать, либо значительно ослабляться. Таким образом, в спектральном разложении света, отбрасываемого тонким слоем лежащего на зеркале

¹⁸⁷ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 36.

вещества, не будет полос интерференции в тех цветах, которые поглощаются телом.

«Отсюда, — пишет Умов, — вытекает новая метода определения светопоглощающей способности тел. Соединяя эту методу с наблюдением с помощью полярископа Савара, мы получаем картину спектра, в которой имеются идущие вдоль него полосы Савара и поперек — полосы интерференции. Наиболее темные и резко выраженные полосы Савара должны явиться в тех местах, в которых отсутствуют полосы интерференции, т. е. в местах наибольшей абсорбции. Наоборот, там, где полосы интерференции наиболее резки, там должны отсутствовать или быть слабыми полосы Савара, так как это суть цвета, слабо или совершенно не абсорбируемые телом»¹⁸⁸.

В бумагах Умова сохранилось много набросков, содержащих теоретические расчеты явлений, наблюдаемых при спектрополярископическом методе исследования тел. К сожалению, законченной теории он создать не успел.

Мы уже упоминали об обширной переписке Н. А. Умова с фирмой Фюсс в 1912—1914 гг. По опубликовании статьи Умова (1912 г.) представитель фирмы Лейсс писал ему: «Надо полагать, Ваш новый метод исследования и основанный на нем аппарат вызовут всеобщий интерес у химиков, занимающихся красками»¹⁸⁹. В другом письме, от 21 сентября 1912 г., Лейсс просил: «Лондонская фирма (Kirch and Comp.) спрашивает у нас об аппарате, который служил бы для испытаний красок на сукне и т. п. Я был бы Вам очень обязан, если бы Вы сообщили, могу ли я рекомендовать этой фирме какой-либо из Вами сконструированных новых аппаратов, либо с этой рекомендацией подождать, пока появится Ваша публикация»¹⁹⁰. В письме от 11 марта 1914 г. он констатировал: «Метод, примененный Вами для наблюдения растворов, несомненно, лучше, чем прежние методы»¹⁹¹.

Из переписки видно, что прибор Умова изготовлялся не в единичных экземплярах. Так, в некоторых письмах Лейсса идет речь о цене той или иной модели прибора, о составлении проспектов для них, о названии аппарата

¹⁸⁸ Там же.

¹⁸⁹ Там же, д. 233, л. 47.

¹⁹⁰ Там же, л. 45.

¹⁹¹ Там же, л. 7.

и т. д. Например, Лейсс указывал, что он хочет внести в проспект, кроме чертежа, изображающего аппарат Умова в разрезе, рисунок, показывающий его в перспективе. Здесь же он спрашивал: «Какое наименование Вы предлагаете для аппарата? Желательно, естественно, чтобы оно было коротким и метким. Спектрополяриметр? Спектрополярископ?»¹⁹².

В 1913 г. в одной из своих статей М. Вагнер, указав, что при исследовании поглощения в проходящем свете не всегда можно решить, объясняется ли видимое исчезновение тех или иных лучей в спектре какого-либо тела поглощением или «металлическим отражением», писал: «Во многих случаях, однако, можно, как показал Умов («Physikalische Zeitschrift», 1912, 13, 962), не производить определения абсорбции в проходящем свете, а установить наименьшее поглощение с помощью отражения поляризованного света»¹⁹³. Вагнер дал описание маленького переносного спектрофотометра, позволяющего удобно изучать и измерять поглощение в красной части спектра. Аппарат был построен фирмой Фюсс и представлял собой, как указывал Вагнер, видоизменение прибора Умова.

Дальнейшее развитие спектрополярископических исследований Умова мы находим в работах Г. П. Воронкова и Г. И. Покровского. Эти авторы не только подтвердили тщательными экспериментами наблюдения Умова, но, кроме того, исследовали влияние поглощения при различных углах падения и отражения на поляризацию света, диффузно рассеянного от матовой поверхности. В качестве объекта они использовали тела, сильно поглощающие (сажа) и не поглощающие (окись магния) свет, а также ряд промежуточных. Определение количества поляризованного света производилось при помощи спектрофотометра Кёнига—Мартенса. Описанию экспериментов и их результатов предпослан ряд теоретических соображений, весьма близких к мыслям, высказанным Умовым в 1905 г.

Например, Воронков и Покровский полагают, что при отражении от тел с матовой поверхностью свет, рассеиваемый в некотором направлении, складывается из двух компонент: света, отраженного от поверхности тела, и света,

¹⁹² Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 233, л. 30.

¹⁹³ *M. Wagner*. Ein neues Spektralphotometer mit Savarschen Polariskop.— *Instrumentenkunde*, 1913, Bd. 33, S. 149.

рассеиваемого изнутри тела. Так как последний «испытывает, прежде чем снова попадет на свободу, многократные отражения и преломления, его можно для большинства случаев рассматривать как неполяризованный. Таким образом, единственным носителем поляризации является свет, который рассеивается поверхностью. Если поглощение тела невелико, то большая часть света рассеивается изнутри тела, если велико — поверхностью тела»¹⁹⁴.

Известно, что при отражении естественного света от гладкой поверхности степень поляризации зависит от угла падения, причем максимум поляризации соответствует величине угла, определяемого законом Брюстера. Г. П. Воронков и Г. И. Покровский установили, что в случае диффузно отражающей поверхности степень поляризации при угле падения i зависит от угла рассеяния r . При этом максимальное значение поляризации соответствует углу рассеяния r , удовлетворяющему соотношению:

$$\frac{i+r}{2} = \varphi, \quad (1)$$

где φ — угол максимальной поляризации для данного тела (угол Брюстера). При различных углах падения, естественно, максимумы поляризации падают на различные величины r .

Справедливо считая, что «установленная Умовым зависимость между поляризацией и поглощением дает возможность предполагать о влиянии поглощения на характер светорассеяния», Воронков и Покровский задались целью исследовать «вопрос о зависимости светорассеяния от поглощения для диффузно отражающих тел».

«До сих пор считалось, — пишут авторы, — что отражение света от достаточно матовой поверхности следует закону косинуса». В результате многочисленных измерений на ряде веществ в различных областях спектра ими было установлено, что для селективно поглощающих тел закон рассеяния зависит от длины волны:

1) для белых тел без селективного поглощения при нормальных и близких к нормальному углах падения очень точно выполняется закон косинуса; отклонения возрастают с увеличением угла падения света.

¹⁹⁴ G. P. Woronkoff, G. I. Pokrowsky. Über die selektive Reflexion des Lichtes an diffus reflektierenden Körpern.— Z. Phys., 1924, Bd. 20, S. 358.

2) для селективно поглощающих тел отклонения от закона косинуса растут в областях длин волн, которые наиболее поглощаются.

В одной из работ Г. И. Покровского было дано теоретическое объяснение наблюдаемых на опыте отклонений от закона косинуса¹⁹⁵. Автор исходил из допущения Умова, что свет, диффузно отраженный от тел с матовой поверхностью, состоит из двух компонент — J'_r и J''_r , из которых J'_r отражается непосредственно от поверхности тела, а J''_r рассеивается изнутри тела. Для компоненты J''_r предполагается, что она следует закону Ламберта; для J'_r , рассматривая матовую поверхность как скопление большого числа элементарных зеркальных площадок, автор получил зависимость в виде

$$J'_r = a \frac{1}{2} \left[\frac{\sin(i' - d)}{\sin^2(i' + d)} + \frac{\operatorname{tg}^2(i' - d)}{\operatorname{tg}^2(i' + d)} \right] = \frac{1}{2} a F(i', d), \quad (2)$$

где $i' = \frac{i+r}{2}$, $d = \arcsin \frac{\sin i'}{n}$, n — показатель преломления, a — константа, i' — угол падения на элементарное зеркало, d — соответствующий угол преломления, i — угол между падающим лучом и нормалью к усредненной поверхности, r — угол отражения, измеренный от той же нормали.

Таким образом, полная интенсивность J_r света, отраженного в данном направлении, будет

$$J_r = J'_r + J''_r = \frac{a}{2} F(i', d) + b \cos r. \quad (3)$$

Формула (3) хорошо согласуется с экспериментальными данными Воронкова и Покровского. Работы этих авторов по диффузному светорассеянию сыграли важную роль в исследовании данного явления и, как правило, им отводится видное место в физических энциклопедиях.

Именно эти исследования имел в виду немецкий астрофизик Эрих Шенберг, когда писал: «То, что формула Ламберта должна основываться на природе диффузного отражения света, следует также из исследований, которые примыкают к некоторым теоретическим соображениям русского физика Н. Умова (Phys. Ztschr., 1905, 6, 674). Хотя

¹⁹⁵ G. I. Pokrowsky. Zur Theorie der diffusen Lichtreflexion.— Z. Phys., 1924, Bd. 30, S. 66.

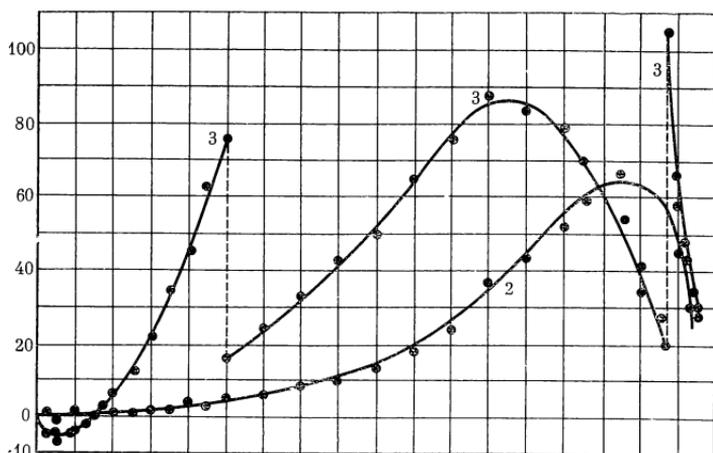


Рис. 16. Поляризационные кривые, полученные в опытах Лио

этот ход мыслей до сих пор не нашел никакого астрономического применения, все же следует о нем здесь упомянуть, поскольку это применение представляется весьма перспективным (aussichtsvoll)¹⁹⁶. В другой работе Шенберг отмечал: «Эти авторы (Г. П. Воронков и Г. И. Покровский. — Д. Г.) целым рядом работ, примыкающих к идеям Умова, способствовали дальнейшему развитию проблемы диффузного рассеяния света»¹⁹⁷.

Явление хроматической поляризации света, установленное Умовым в 1905 г., было подтверждено в 1926 г. французским астрофизиком Б. Лио. Изучая поляризацию света, диффузно рассеянного твердыми телами, он пришел к выводу, что «поляризация является главным образом функцией поглощающей способности тела»¹⁹⁸.

На рис. 16 воспроизведены кривые, полученные Лио для измельченной киновари. По оси абсцисс откладывается угол рассеяния, т. е. угол между падающим и отраженным лучами. Кривая 2 получена при облучении киновари

¹⁹⁶ E. Schoenberg. Photometrie der Gestirne.— Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. IV, T. 2, H. 2, S. 838.

¹⁹⁷ E. Schoenberg. Theoretische Photometrie.— Handbuch für Astrophysik, 1929, Bd. 1, T. 2. S. 48.

¹⁹⁸ B. Lyot. Appareil permettant d'analyser des lumieres très faiblement polarisées.— Rev. opt. theor. et instrum., 1926, v. 5, p. 108.

красным светом, который ею почти не поглощается; кривая \mathcal{Z} — при облучении синим светом, который почти полностью поглощается (ординаты центральной части кривой \mathcal{Z} взяты с пятикратным уменьшением). Поляризация во втором случае достигает значений, в шесть с половиной раз больших, чем в первом. Этот результат находится в полном соответствии с наблюдениями Умова.

Шведский астрофизик И. Эман в 1936 г. предложил изучать поляризацию света, идущего от звезд, методом, совпадающим с методом Умова. «Обычные звезды, — писал он, — не испускают поляризованного света. Лишь β Лиры обнаруживает в своем спектре следы поляризации. Для этих звезд эффект очень мал и, чтобы установить его с абсолютной очевидностью, необходимо использовать чувствительный метод. За последние годы я проделал ряд опытов, чтобы найти наилучший метод, и думаю, что теперь я его нашел [...]

На расстоянии 10 см перед щелью спектрографа вмонтирована пластинка Савара, которая дает интерференционные полосы. Чтобы сделать интерференционные полосы видимыми, используется цилиндрическая линза, которая улучшает спектр. Если падающий свет поляризован в плоскости щели или перпендикулярно к ней, возникают 3—4 интерференционные полосы, которые идут параллельно спектру. Путем фотометрирования таких спектров [...] можно сделать видимыми очень слабые полосы; вот почему метод может быть рекомендован как весьма чувствительный»¹⁹⁹.

Легко видеть, что И. Эман фактически описал здесь метод Умова, еще в 1905 г. предложившего для изучения поляризации пользоваться комбинацией из полярископа Савара и спектроскопа.

Большие возможности применения метода Умова в астрофизике настойчиво подчеркивает известный советский астроном Ю. Н. Липский: «Открытие Умова, — писал он, — сулило широкие возможности для исследования поверхностей планет. Однако его метод на протяжении почти полувека не нашел применения в астрономии, хотя

¹⁹⁹ J. Öhman. Photometrische Eichung von Spektrogrammen unter Benutzung der Polarisation im Spektrograph. — Stockholms Observ. Ann., 1936, Bd. 12, N 6.

поляризационные исследования менее совершенными методами проводились многими»²⁰⁰.

В качестве примера, «позволяющего выявить преимущества метода Умова по сравнению с методикой, применявшейся в астрономии», Липский рассматривает работы французского астронома Ж. Ландерера и советского астронома Н. А. Барабашева. Эти ученые пользовались одной и той же методикой, сущность которой сводилась к следующему. С помощью поляриметра Корню изучалась поляризация света, отраженного сравнительно обширными участками лунной поверхности, и из сравнения с результатами аналогичных наблюдений на земных материалах делались выводы о составе лунной поверхности.

Липский указывает, что эти выводы нельзя считать убедительными, поскольку:

1. Значения поляризации являлись средними значениями для света, отраженного от очень больших областей лунной поверхности, на которых могут встречаться участки с весьма различными абсорбционными свойствами, и, следовательно, по Умову, с различными значениями поляризации. Сопоставление таких осредненных величин с поляризацией, полученной от однородных образцов в лаборатории, нельзя признать правильным.

2. Исследования проводились в общем свете. Между тем, как было показано Умовым, каждое тело обладает своим распределением поляризации по спектру. Изучение средних значений поляризации в общих лучах смазывает характерные особенности свойственные отдельным образованиям, и «делает отождествление с земными материалами физически необоснованным».

3. Земные образцы облучались светом от электрической лампы, спектральный состав которого отличен от солнечного света, освещающего лунную поверхность. Между тем из работ Умова следует, что при прочих равных условиях степень поляризации диффузно-рассеянного света определяется его спектральным составом. «Следовательно, сопоставление степеней поляризации, полученных для различных по спектральному составу лучей, с целью отожд-

²⁰⁰ Ю. Н. Липский. Метод Умова и его применение к исследованию поверхностей планет.— «Сообщения Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга», 1954, № 96, стр. 32.

дествления отражающих поверхностей является неправильным».

Отмеченные недостатки, по мнению Ю. Н. Липского, свойственны и работам Б. Лио.

Подводя итог своей оценке практической возможности применения метода Умова, Липский пишет: «Рассмотрение применяющихся в астрономии методов поляризационных исследований, таким образом, позволяет сделать вывод о том, что: 1) метод Умова обладает большей чувствительностью по сравнению с применявшимися методами; 2) метод Умова дает более разностороннюю характеристику тел, производящих диффузное рассеяние света, поскольку он использует еще один важный параметр, характеризующий световой поток, — кроме распределения энергии по длинам волн, метод Умова предполагает рассмотрение изменения поляризации по спектру.

Нет никакого сомнения в том, что визуальный метод Умова не потерял своей актуальности за прошедшие 50 лет. Применение его в современных условиях даст возможность обогатить наши сведения о поверхностях планет и уточнить поляризационные характеристики земных материалов»²⁰¹.

Применение спектрополярископического метода для изучения плеохроизма минералов. Метод Н. А. Умова нашел интересное применение при исследовании плеохроизма минералов в работах Н. Е. Веденеевой и С. В. Грум-Гржимайло. Эти ученые показали, что данный метод можно использовать без того специального прибора, с которым работал Умов. Достаточно поляризационного микроскопа, снабженного микроспектроскопоокуляром (спектральным окуляром Аббе) и пластинкой Савара, которая при помощи специального приспособления надевается на объектив²⁰².

Если свет, отражаемый телом, положенным на столик микроскопа, частично или полностью поляризован, то наблюдаемая картина вполне аналогична картине, полу-

²⁰¹ «Сообщения Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга», 1954, № 96, стр. 35.

²⁰² Н. Е. Веденеева, С. В. Грум-Гржимайло. Спектрополярископический метод Умова в применении к исследованию минералов под микроскопом.— «Докл. АН СССР, новая серия», 1934, т. 3, стр. 583.

чаемой в приборе Умова. В частности, это будет иметь место, если на столике помещен плеохроичный минерал. В этом случае частичная, а иногда полная поляризация происходит, как известно, вследствие того, что лучи различной поляризации неодинаково поглощаются плеохроичным минералом. Если минерал плеохроичен лишь для определенных длин волн, то темные полосы появятся только в соответствующих частях спектра. Такие спектры авторы называют спектрами плеохроизма.

Наблюдаемая картина позволяет непосредственно судить о том, в каких областях спектра и в какой мере плеохроичен данный минерал, а также определить знак плеохроизма минерала в различных длинах волн ²⁰³. Наряду с исследованием плеохроизма по видоизмененному методу Умова С. В. Грум-Гржимайло одновременно проводил изучение плеохроизма обычным методом, измеряя поглощение в различных частях спектра при помощи спектрофотометра Кёнига — Мартенса и строя кривые поглощения в зависимости от длины волн (кривые плеохроизма). При этом было установлено, что спектрополярископический быстрый метод наблюдения спектров плеохроизма дает результаты, вполне сходные с данными, полученными при помощи спектрофотометра. Спектры плеохроизма, получаемые методом Умова, вполне соответствуют кривым плеохроизма.

«Мы имеем возможность на основании изучения полос Умова, — пишет Грум-Гржимайло, — определить вид кривой плеохроизма и его знак. По спектрам плеохроизма можно определить последний не только качественно, но и ввести некоторую количественную характеристику, оценивая на глаз интенсивность полос Умова» ²⁰⁴.

Автор подчеркивает высокую чувствительность спектрополярископического метода Умова. «Сектрополярископический метод чрезвычайно чувствителен. Появление полос Умова можно наблюдать при очень слабом плеохроизме материала. Плеохроизм заметен даже там, где при наблюдении в спектральный окуляр абсорбция света незаметна» ²⁰⁵.

²⁰³ Плеохроизм принято считать положительным, если более преломляемый луч сильнее поглощается, чем менее преломляемый.

²⁰⁴ С. В. Грум-Гржимайло. Об изучении плеохроизма минералов под микроскопом. — «Минеральное сырье», 1936, № 1, стр. 22.

²⁰⁵ Там же, стр. 20.

В другом месте Веденеева и Грум-Гржимайло пишут: «Присоединяя окуляр Аббе к пластинке Савара, мы получили прибор, позволяющий легко обнаружить и спектрально оценить даже очень слабый плеохроизм»²⁰⁶.

Плеохроизм часто может быть надежно обнаружен при отсутствии заметного для глаз поглощения в спектре и поэтому может быть использован для обнаружения последнего. Авторы установили, например, что в образце искусственного рубина видны «полосы Умова», доходящие до длин волн в 625 *тм*, тогда как непосредственно окуляром Аббе можно регистрировать наличие поглощения лишь до 590 *тм*. Образец ставролита дает резко выраженные полосы плеохроизма по всему спектру, начиная от 600 *тм*, тогда как окуляр Аббе не дает никаких сколько-нибудь характеризующих минерал указаний.

Теоретический расчет Н. Е. Веденеевой и С. В. Грум-Гржимайло показывает, что при определенной разности хода между обоими лучами наблюдается размытие полос Умова: «При вращении объекта или поляризатора полосы в месте размыва то смыкаются, то вновь расходятся, позволяя точно наметить в спектре длину волны, для которой разность хода составляет четное и нечетное число полу-волн. Поэтому умовский метод может быть использован при изготовлении пластинок $\lambda/2$ и для быстрого определения дисперсии двулучепреломления»²⁰⁷. Чтобы, подобно Умову, наблюдать спектры абсорбции в отраженном свете, Веденеева и Грум-Гржимайло сконструировали специальный прибор, содержащий стеклянную полусферу с неподвижной осью. «Этот прибор, подобно столику Федорова, может быть использован для определения минералов в шлифах теодолитным методом». Авторы получили, таким образом, «характерные спектры поглощения минералов в шлифах»²⁰⁸.

В заключение упомянем о работе А. С. Топорца. Для измерения степени поляризации рассеянного света автор воспользовался установкой, содержащей монохроматор, поляризатор в поляриметр. Параллельно спектрофотометром Бекмана измерялось отражение света исследуемыми образцами. Полученные в результате кривые спект-

²⁰⁶ «Докл. АН СССР, новая серия», 1934, т. 3, стр. 584.

²⁰⁷ Там же, стр. 586.

²⁰⁸ «Докл. АН СССР», 1936, т. 3, стр. 383.

рального распределения степени поляризации и ослабления света различными окрашенными образцами полностью подтвердили наблюдения Умова.

Вызывают удивление слова автора: «Наблюдения Умова были чисто качественными и дальнейшего развития не получили»²⁰⁹. Выше было показано, что работы Умова послужили отправным пунктом для целой серии исследований отечественных и зарубежных.

А. С. Топорец, по-видимому, считает, что он впервые дал объяснение «сущности эффекта Умова». Так, в аннотации к статье он пишет: «Исследовано явление селективной деполяризации при отражении поляризованного света от окрашенной матовой поверхности, впервые обнаруженное Умовым. Установлен полный параллелизм между ослаблением света при отражении и степенью его поляризации. Дано объяснение этому явлению»²¹⁰.

В чем же состоит объяснение? Приведем выводы автора дословно.

4) Диффузно отраженный слоем свет состоит из двух компонент — внешней Φ_e и внутренней Φ_i .

2) При отражении поляризованного света внешняя компонента сохраняет состояние поляризации, внутренняя компонента деполяризована.

3) Степень поляризации выражает относительную интенсивность внешней компоненты, степень деполяризации — относительную интенсивность внутренней компоненты; поэтому степень поляризации, как и степень деполяризации, является мерой ослабления света при отражении.

В этом сущность эффекта Умова»²¹¹.

В сообщении о докладе А. С. Топорца в «Известиях АН СССР» читаем: «Для объяснения сущности явления делаются (докладчиком. — Д. Г.) следующие предположения: 1) поляризованный свет при отражении от внешней поверхности остается поляризованным; 2) свет, отражаемый внутренними неоднородностями объекта, целиком деполяризован; 3) отражение от внешней поверхности не изменяется при окрашивании, тогда как «внутренняя» компо-

²⁰⁹ А. С. Топорец. Об эффекте Умова.— ЖЭТФ, 1950, т. 20, вып. 5, стр. 390.

²¹⁰ Там же.

²¹¹ ЖЭТФ, 1950, т. 20, вып. 5, стр. 394.

нента отраженного света ослабляется соответственно поглощению при прохождении света через окрашенные волокна»²¹².

Нетрудно видеть, что предположения автора и его объяснение «эффекта Умова» по существу содержатся в работах самого Умова и уже нашли широкое применение в работах Г. П. Воронкова и Г. И. Покровского.

«Созданная теория,— подчеркивает А. С. Топорец,— устанавливает количественные соотношения между поглощением и изменением деполяризации. Получена возможность определять поглощательные свойства непрозрачных объектов, наблюдая поляризацию при отражении света.

Метод Умова становится новым измерительным принципом»²¹³.

При обсуждении доклада Э. В. Шпольским была высказана мысль, что аналогичный метод может быть применен при изучении поглощения во взвесах.

Работы по теории относительности и теории квант

Большой интерес представляют две работы Н. А. Умова по теории относительности: «Единообразный вывод преобразований, совместных с принципом относительности» (1910 г.) и «Условия инвариантности уравнения волны» (1912 г.).

Во введении к первой работе Умов, останавливаясь на выводе Г. А. Лоренцем его преобразований²¹⁴, пишет: «Вывод его основывается на некоторой совокупности допущений и рассуждений, которые не вытекают сами собой из одного-единственного положения, но, как кажется, связаны между собой остроумием исследователя. По сравнению с простотой преобразования вывод его представляется слишком громоздким. Кроме того, этот вывод не дает ника-

²¹² А. С. Топорец. Явление Умова и его физическое истолкование.— «Изв. АН СССР, серия физ.», 1950, т. 14, № 4, стр. 549.

²¹³ А. С. Топорец. Явление Умова и его физическое истолкование.— «Изв. АН СССР, серия физ.», 1950, т. 14, № 4, стр. 549.

²¹⁴ Преобразования Лоренца — формулы, связывающие между собой пространственно-временные координаты одного и того же события в двух различных инерциальных системах отсчета.

ких опорных пунктов для обсуждения положения, занимаемого лоренцевым преобразованием в ряду других возможных преобразований, и не показывает путей, которые могли бы повести к новым преобразованиям. Обычно употребляемые рассуждения пригодны скорее для разъяснения лоренцева преобразования, чем для вывода его.

Эти мысли побудили меня выработать единообразный метод, который, исходя из одного положения, приводит к общему описанию преобразований, совместных с принципом относительности»²¹⁵.

В качестве исходного единственного положения Умов принимает условие инвариантности волнового уравнения. «Из всех явлений природы, — пишет он, — мы выберем, ввиду его всеобщности, волнообразное движение».

Постановка задачи: рассматриваются два «эквивалентных мира», другими словами, — две инерциальные системы отсчета с пространственно-временными координатами x, y, z, t и x', y', z', t' . Требуется найти связь между величинами (x', y', z', t') и (x, y, z, t) . По мысли Умова, уравнения, дающие эту связь, иначе говоря формулы преобразования, могут быть получены из условия, что функция ψ , описывающая рассматриваемое явление (волновой процесс), выраженная один раз в переменных x, y, z, t и второй раз — в штрихованных переменных x', y', z', t' в двух «физически изотропных и эквивалентных мирах», должны удовлетворять одним и тем же по форме волновым уравнениям:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} &= \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}, \\ \frac{1}{\omega'^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t'^2} &= \frac{\partial^2 \psi}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z'^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь ω означает постоянную скорость распространения волн в обеих системах.

Дальнейшие рассуждения, пишет Умов, сводятся лишь к производству математических выкладок.

Идея этих «математических выкладок» состоит в следующем.

Пусть функция ψ выражена в переменных второго мира $\psi = \psi(x', y', z', t')$. Тогда ее производные по перемен-

²¹⁵ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 192.

ным первого мира будут иметь вид:

$$\frac{\partial \psi}{\partial u} = \frac{\partial \psi}{\partial x'} \frac{\partial x'}{\partial u} + \frac{\partial \psi}{\partial y'} \frac{\partial y'}{\partial u} + \frac{\partial \psi}{\partial z'} \frac{\partial z'}{\partial u} + \frac{\partial \psi}{\partial t'} \frac{\partial t'}{\partial u}. \quad (2)$$

Здесь u — одна из переменных пространства и времени первого мира.

Аналогичным образом получают и выражения вторых производных по x, y, z, t .

Подстановка полученных выражений вторых производных в первое из уравнений (1) преобразует его в сложное уравнение, содержащее первые, вторые и смешанные производные ψ по переменным x', y', z', t' .

Это уравнение должно быть тождественно со вторым из уравнений (1). Поэтому в нем останутся лишь производные второго порядка вида $\frac{\partial^2 \psi}{\partial u^2}$, и их коэффициенты будут удовлетворять известным условиям. Коэффициенты при производных формы $\frac{\partial \psi}{\partial u}$ и $\frac{\partial^2 \psi}{\partial u \partial v}$ обратятся в нуль.

Таким образом, получается система дифференциальных уравнений. Решение этой системы и должно привести, по мысли Умова, к соотношениям, связывающим координаты обоих миров. В общем случае система уравнений оказывается достаточно сложной. Она значительно упрощается в случае, когда лишь одна пространственная координата x' зависит от времени t и временная координата t' зависит лишь от одной пространственной координаты x ; другими словами, когда вторая система движется относительно первой вдоль оси x со скоростью v , причем координатные оси обеих систем ориентированы одинаково.

Для этого случая Умов в конце концов и получает соотношения:

$$\begin{aligned} x' &= \alpha (x - vt), & y' &= \beta y, & z' &= \beta z, \\ t' &= \alpha \left(t - \frac{v}{\omega^2} x \right), & \frac{\alpha}{\beta} &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{\omega^2}}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь β — произвольная постоянная. Если положить $\beta = 1$, то соотношения совпадают с лоренцевыми.

Во второй статье Умов несколько видоизменяет ход вывода преобразований, делает его проще и изящнее ²¹⁶. Он вводит в волновое уравнение вместо переменных времени t и t' мнимые переменные $\tau = i\omega t$ и $t'' = \frac{1}{i} \omega t'$, где $i = \sqrt{-1}$. Этим приемом достигается значительное упрощение записи основной системы уравнений преобразования, которая для случая $z = z'$ принимает вид

$$h_1^2 = h_2^2 = h_4^2 = 1, \quad (4)$$

$$\Delta x' = \Delta y' = \Delta t'' = 0, \quad (5)$$

и три уравнения вида

$$\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial \tau} \frac{\partial v}{\partial \tau} = 0, \quad (6)$$

через h_j^2 обозначена сумма квадратов первых производных какой-либо переменной со штрихом по переменным без штриха;

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

u, v — означают две любые переменные из x', y', t'' . Из уравнений (5) и (6) следует, что если x, y, τ суть параметры прямоугольной декартовой системы координат, то величины x', y', t'' должны быть параметрами изотермической криволинейной триортогональной системы. Решение полученной системы уравнений при некоторых естественных допущениях (в частности, требования линейности искомого соотношений между координатами обоих миров) и приводит к лоренцевым формулам.

Умовская идея вывода преобразований Лоренца из условий инвариантности волнового уравнения была позднее (1911 г.) развита в несколько ином виде М. Лауэ. В книге «Das Relativitätsprinzip» он писал: «Чтобы получить формулы преобразования, найдем такие линейные соотношения между x', y', z', t' и x, y, z, t , которые остав-

²¹⁶ Этой работе дал высокую оценку Н. Е. Жуковский: «По моему мнению, она является лучшим математическим толкованием принципа относительности» (Н. Е. Жуковский. Николай Алексеевич Умов как математик.— Сб. «Протокол чрезвычайного соединенного заседания в память Н. А. Умова». М., 1916, стр. 35).

ляют неизменным волновое уравнение:

$$\Delta\varphi - \frac{1}{c^2} \varphi'' = 0,$$

т. е. для которых имеет место тождество:

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z'^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t'^2} = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} \gg \quad 217.$$

Принимая соответствующие координатные оси в обеих системах параллельными друг другу и оси x и x' — параллельными скорости v , с которой система k' движется относительно системы k , и что значениям $x = 0, y = 0, z = 0, t = 0$ соответствуют значения $x' = 0, y' = 0, z' = 0, t' = 0$, Лауэ записывает искомые соотношения, удовлетворяющие условиям в следующем общем виде:

$$\begin{aligned} x' &= \kappa(v)(x - vt), & y' &= \lambda(v)y, & z' &= \lambda(v)z, \\ t' &= \mu(v)t - \nu(v)x. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $\kappa(v)$, $\lambda(v)$, $\nu(v)$ и $\mu(v)$, подлежащие определению функции от v .

Учитывая равенства (7), можно записать:

$$\varphi(x', y', z', t') = \varphi(\kappa(x - vt), \lambda y, \lambda z, \mu t - \nu x).$$

Отсюда можно получить, как это делал Н. А. Умов, выражение первых и вторых производных $\varphi(x', y', z', t')$ по x, y, z, t . Подстановка полученных выражений в написанное выше тождество позволяет сразу же получить условия для коэффициентов при производных. Коэффициенты при производных вида $\frac{\partial^2\varphi}{\partial u'\partial v'}$, должны равняться нулю, а коэффициенты при производных $\frac{\partial^2\varphi}{\partial x'^2}, \frac{\partial^2\varphi}{\partial y'^2}, \frac{\partial^2\varphi}{\partial z'^2}$ и $\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t'^2}$ — единице.

Это дает:

$$\lambda(v) = \pm 1; \kappa(v) = \mu(v) = \frac{\pm 1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \nu(v) = \mu(v) \frac{v}{c^2}.$$

²¹⁷ *M. Laue. Das Relativitätsprinzip. Braunschweig, 1911, S. 37.*

Оставляя у κ , λ и μ положительные знаки, имеем:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

т. е. формулы преобразования Лоренца. Нетрудно видеть, что М. Лауэ в своем выводе по существу следует схеме Н. А. Умова.

В. А. Фок, формулируя основные положения теории относительности, в качестве одного из исходных пунктов принимает универсальность (для любых инерциальных систем) уравнения распространения фронта электромагнитной волны

$$\frac{1}{c^2} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} \right)^2 - \left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 \right] = 0 \quad (8)$$

$[\omega(x, y, z, t) = 0$ — уравнение поверхности фронта], или «закон распространения фронта электромагнитной волны» (который немедленно обобщается на волны любой природы). Этот закон следует уже из самого определения инерциальной системы Фоком: «Инерциальная система отсчета, по принятому здесь определению, характеризуется следующими двумя свойствами.

1. В инерциальной системе тело при отсутствии сил движется прямолинейно и равномерно (инерциальность в обычном механическом смысле).

2. В инерциальной системе уравнение распространения фронта электромагнитной волны имеет вид (5.01) [у нас (8). — Д. Г.:] (инерциальность в отношении поля)²¹⁸.

Таким образом, при переходе от одной инерциальной системы к другой форма уравнения (8) должна сохраниться.

Фок указывает, что один из двух постулатов теории относительности, а именно принцип независимости скорости света от скорости источника, непосредственно вытекает из этого закона. Ученый дает обобщенное толкование закону распространения фронта волны: «Существует предельная скорость распространения всякого рода действий. Эта скорость численно равна скорости света в свободном пространстве».

²¹⁸ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения. М., Физматгиз, 1961, стр. 28.

Из этого принципа существования общей предельной скорости следует: «Уравнение распространения фронта волны любой природы, идущей с предельной скоростью и способной передавать сигнал, совпадает с уравнением распространения фронта световой волны в свободном пространстве. Таким образом, уравнение

$$\frac{1}{c^2} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} \right)^2 - (\text{grad } \omega)^2 = 0$$

приобретает общий характер»²¹⁹.

В соответствии с определением инерциальной системы в основе вывода формул преобразования при переходе от одной системы с координатами (x_i) к системе с координатами (x_i') лежит выполнение двух условий:

а) прямолинейному и равномерному движению в координатах (x_i) должно соответствовать такое же движение в координатах (x_i') ;

б) уравнению фронта волны (8) в координатах (x_i) должно соответствовать такое же уравнение в координатах (x_i') »²²⁰.

Таким образом, Фок в основу вывода преобразования Лоренца кладет условие инвариантности уравнения распространения фронта волны. Нетрудно заметить, что Фок, формулируя основные принципы специальной теории относительности, в известном смысле развивает идею Умова, который в основу своих построений положил волновое движение, «ввиду его всеобщности»²²¹.

В 1913 г. Умов опубликовал небольшую статью «Возможный смысл теории квант». Здесь он делает попытку вывести формулу для средней энергии резонатора Планка, не прибегая к гипотезе квант.

По мысли Умова, процесс излучения есть процесс обмена энергией между излучающей системой и некоторым «физическим агентом» (эфиром, полем). Поэтому закон излучения должен зависеть не только от свойств излучающей системы, но и от характера взаимодействия между излучающей системой (материей) и полем.

²¹⁹ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения, стр. 31.

²²⁰ Там же, стр. 510.

²²¹ В. А. Фок, решая задачу преобразований и ссылаясь на работу Умова, пишет: «Задача эта рассматривалась также Н. А. Умовым и Н. Вейлем» (стр. 35).

Умов полагает, что в каждом случае взаимодействия с излучающей материальной системой эфир ведет себя как некоторый манометр. Неудачи попыток вывода закона излучения объясняются тем, что «в их основе лежит отождествление эфира с самым грубым манометром», способным воспринимать лишь суммарный импульс всей совокупности молекул, обладающих энергиями от 0 до ∞ . Между тем, по мысли Умова, эфир хотя и не способен реагировать на импульсы отдельных молекул, но может воспринимать импульсы группы молекул, энергии которых в каждой группе могут отличаться в пределах некоторой постоянной для данных индивидов величины ϵ . Таким образом, можно говорить о различной степени чувствительности эфира по отношению к «неупорядоченным движениям материальных систем».

В качестве меры чувствительности эфира (манометра) естественно принять величину $1/\epsilon$. Умов рассматривает граммоль газа с индивидами, обладающими двумя степенями свободы, для которых средняя энергия, согласно кинетической теории, равна kT .

Исходя из закона распределения энергии Максвелла, ученый подсчитывает значение средней энергии в группе молекул, энергии которых лежат между пределами E_i и $E_i + \epsilon$ (величина $E_i + \epsilon = E_j$ будет в свою очередь минимальной энергией следующей группы и т. д.). Оно оказывается равным сумме E_i (т. е. минимуму энергии в группе) плюс постоянная величина ρ :

$$\bar{E} = E_i + \rho,$$

при этом

$$\rho = kT - \frac{\epsilon}{e^{\frac{\epsilon}{kT}} - 1}, \quad (9)$$

т. е. не зависит от E_i .

При излучении молекула из одной группы переводится в другие группы. При этом (поскольку ρ остается постоянной и не участвует в излучении) изменение энергии равно разности $E_i - E_j$, т. е. всегда выражается величинами, кратными ϵ .

Полная энергия граммоля есть NkT (N — число Авогадро). Однако в излучении участвует не вся эта энергия, но лишь ее часть:

$$U = NkT - N\rho$$

или, учитывая формулу (9),

$$U = N \frac{\varepsilon}{e^{kT} - 1}.$$

Таким образом, средняя энергия одной молекулы, связанная с излучением, равна:

$$\bar{U} = \frac{\varepsilon}{e^{kT} - 1}. \quad (10)$$

Если положить $\varepsilon = h\nu$, то полученное выражение есть не что иное, как известная формула Планка.

Как было отмечено А. С. Предводителевым, в представлениях Умова о средней чувствительности эфира (поля) содержится идея о приближенном характере измерений параметров, определяющих состояние системы, идея, которая играет существенную роль в современной квантовой механике ²²².

Из рассуждений Н. А. Умова, в частности, вытекает, что обмен энергиями (связанный с переходом молекул из одной группы в другую) может иметь место только при условии

$$\Delta E \geq \varepsilon = h\nu.$$

или

$$\Delta ET \geq h.$$

Здесь нетрудно усмотреть в некотором смысле интересную интерпретацию известного соотношения неточностей между энергией и временем — $\Delta E \Delta t \geq h$, фигурирующего в современных квантовомеханических воззрениях.

Краткий обзор некоторых других научных работ Н. А. Умова

Первая научная работа Умова «Законы колебаний в неограниченной среде постоянной упругости» была напечатана в 1870 г. в «Математическом сборнике». Уже в этой работе, по образному выражению А. С. Предводителева,

²²² См. Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 509.

Умов «обнаружил когти льва». Вопрос о распространении упругих волн в изотропных средах поставлен в ней очень широко и своеобразно. Используя метод криволинейных координат Ламе, с которым он основательно ознакомился еще будучи студентом, Умов сумел упростить основные уравнения упругих колебаний и отделить задачи о волнах с продольными колебаниями от задач о волнах с поперечными колебаниями.

С этой целью он преобразует основные уравнения, введя систему трех ортогональных поверхностей, из которых одна представляет собой волновую поверхность. Исследуя сначала общие свойства волн в средах постоянной упругости, Умов доказывает две общие теоремы относительно дифференциальных параметров поверхностей.

1. Если принимаем за параметр волны отрезок луча между начальным и последующим положением волны, то ее дифференциальный параметр первого порядка есть во всем пространстве величина постоянная и равная единице.

2. Дифференциальные параметры первого порядка поверхностей, ортогональных к волне, пропорциональны ее радиусам кривизны.

Во второй части работы исследуется случай распространения волн с поперечными колебаниями.

Умов ставит и решает задачу «определения по данному виду волны поперечных колебаний, ею распространяемых». Дифференциальные уравнения для этого случая получаются из уравнений общего вида, записанных в криволинейных координатах, если принять равными нулю слагающие колебаний по нормалям к волновым поверхностям и кубическое расширение. Интеграция полученных уравнений приводит к весьма интересным выводам. Оказывается, что в случае изотропной среды постоянной упругости все волновые поверхности, несущие поперечные колебания, могут быть разделены на три группы. Они отличаются способностью допускать прямолинейную поляризацию по направлениям линий кривизны ²²³.

К первой группе относятся поверхности, допускающие прямолинейную поляризацию (и, соответственно, колебания) по любой из двух линий кривизны. Такими поверхностями являются только сфера и круглый цилиндр. Ко

²²³ Плоскость поляризации считается перпендикулярной к плоскости колебаний.

второй группе принадлежат поверхности, допускающие прямолинейную поляризацию по одной из линий кривизны. К таковым относятся, во-первых, все поверхности вращения, кроме названных выше, поскольку они допускают прямолинейную поляризацию только в меридиональных плоскостях (что соответствует колебаниям в плоскости, перпендикулярной оси вращения — симметрии); во-вторых, все цилиндрические поверхности, кроме круглого цилиндра, так как они допускают прямолинейную поляризацию только в плоскости, перпендикулярной образующей (колебания могут совершаться только параллельно образующей).

Наконец, все поверхности, не допускающие прямолинейной поляризации ни по одной из линий кривизны, составляют третью группу.

Далее исследуются продольные волны. Умов получает условия, которые должны выполняться для волновых поверхностей, распространяющих продольные колебания. При этом оказывается, что этим условиям удовлетворяют только сфера, круглый цилиндр и плоскость.

Если колеблющаяся поверхность или начальная волновая поверхность не принадлежат к указанным поверхностям, то в непосредственной близости от них происходят смешанные колебания, но на значительных расстояниях волна приближается к одной из перечисленных выше поверхностей и несет лишь продольные колебания. «Это заключение, — замечает Умов, — было выведено иным путем Пуассоном».

Рассматривая затем случай сферической волновой поверхности, Умов приходит к некоторым выводам, также ранее полученным Пуассоном, в частности к выводу, что в этом случае «квадрат амплитуды, т. е. напряжение звука, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния».

В заключение Умов прилагает полученные им выводы относительно поперечных колебаний к случаю, когда две изотропные среды различной плотности и упругости проникают друг в друга. Этот случай, по мысли Умова, имеет место, в частности, при распространении световых колебаний в изотропной материальной среде. При этом световые колебания рассматриваются как упругие колебания в среде весьма малой плотности и чрезвычайно большой упругости (световой эфир). Преобразуя известные урав-

нения оптики Буссинеска к криволинейным координатам, Умов показывает их тождественность с полученными им уравнениями.

Известный специалист по тепловым процессам проф. А. С. Предводителев следующим образом оценил эти исследования Умова: «В настоящее время одной из существенных проблем молекулярной физики является построение теории тепловых явлений в твердых и в особенности в жидких телах. Все более и более укрепляется в науке тот взгляд на природу теплоты, по которому тепло рассматривается как ультразвуковые колебания, беспорядочно распространяющиеся в жидком или твердом теле. Для укрепления и развития этих идей цитируемая работа Умова принесет несомненную пользу. Несмотря на восьмидесятилетнюю давность, мысли, развиваемые в ней, так свежи и существенны, что эта работа, безусловно, может выйти из прошлого и стать в ряды современных работ, трактующих о природе тепла»²²⁴.

Во время заграничной поездки летом 1875 г. Умов представил Кирхгофу свое исследование о распределении стационарных электрических токов в произвольно изогнутых пластинках.

До Умова эта задача была решена лишь для отдельных, сравнительно простых случаев. Так, Г. Кирхгоф рассмотрел случай плоской пластинки, Л. Больцман — случай сферы и круглого цилиндра.

Умов получил решение в самом общем виде. При этом он воспользовался изящным методом конформного отображения рассматриваемой поверхности на плоскость (задача, решенная Гауссом) и тем самым сумел свести решение вопроса о распределении электрических токов на поверхности произвольного вида к решению вопроса о распределении электрических токов в плоской пластинке.

В том же году Кирхгоф от своего имени опубликовал результаты умовского исследования в «Записках Берлинской академии наук». При этом он лишь изменил математический прием доказательства. Хотя Кирхгоф и упомянул имя Умова, все же заслуга последнего в решении

²²⁴ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 530.

труднейшей задачи, не поддававшейся усилиям выдающихся западноевропейских ученых, осталась в тени, отбрасываемой знаменитым немцем. Не вполне этичный поступок Кирхгофа огорчил молодого Умова. Он упоминает о нем в своей автобиографии. По словам А. И. Бачинского, не раз с огорчением Умов рассказывал эту историю своим русским коллегам. По-видимому, этим объясняется и то, что Умов не сразу опубликовал свою работу. Она увидела свет спустя два года, в 1878 г. Во введении ученый писал: «В июне 1875 года мною была представлена проф. Кирхгофу работа, носящая заглавие настоящей статьи. Результаты этой работы помещены были проф. Кирхгофом в «*Monatsberichte der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin*» за 1875 г. под заглавием: «*Über die stationären elektrischen Strömungen in einer gekrümmten leitenden Fläche*». Доказательство же этих результатов дано было проф. Кирхгофом отличное от моего [...] Я считаю не лишним привести здесь мне принадлежащее доказательство найденных мною результатов»²²⁵.

В 1885 г. Н. А. Умов издал работу «Геометрическое значение интегралов Френеля». Обратившись к предмету, казалось бы давно и всесторонне решенному (что нового можно было усмотреть в интегралах Френеля?), он сумел подойти к нему с иной точки зрения, обнаружив замечательную геометрическую интуицию, сыгравшую роль и в ряде других работ (например, в работах по земному магнетизму).

Интегралы Френеля берутся от произведения синуса или косинуса квадрата дуги на элемент дуги и имеют вид:

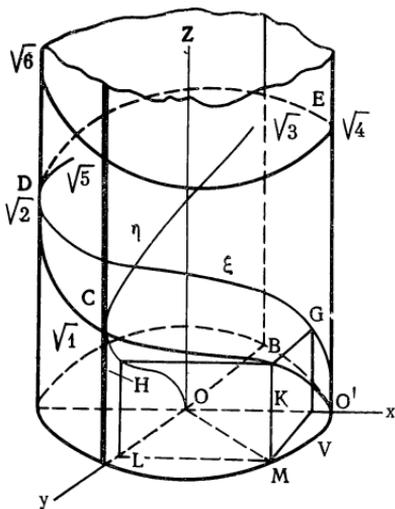
$$A = \int_0^z \sin \frac{\pi}{2} z^2 dz, \quad B = \int_0^z \cos \frac{\pi}{2} z^2 dz.$$

Введя новую переменную $v = \frac{\pi}{2} z^2$, (1), получим

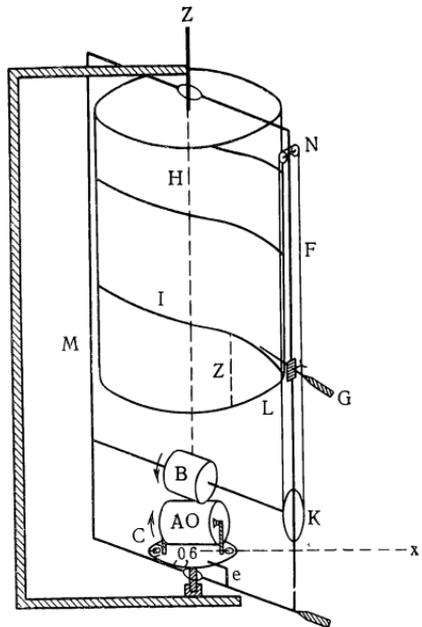
$$A = \int_0^z \sin v dz, \quad B = \int_0^z \cos v dz.$$

Нетрудно видеть, что (1) представляет собой уравнение

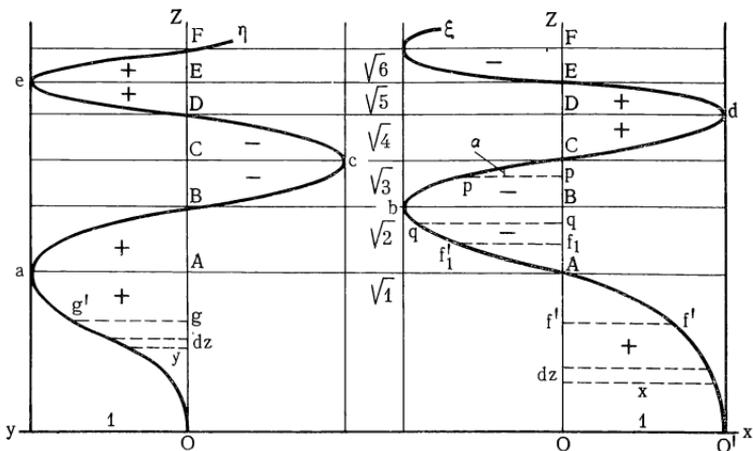
²²⁵ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 447.



18



20



19

Рис. 18. К геометрической интерпретации интегралов Френеля: круглый цилиндр, поверхность которого обвивает парабола

Рис. 19. Проекция винтовой линии на координатные плоскости

Рис. 20. Прибор Н. А. Умова для вычисления интегралов Френеля

параболы (рис. 17) (здесь за единицу длины принята некоторая произвольная длина).

Представим себе затем круглый вертикальный цилиндр (рис. 18) с радиусом, равным выбранной единице длины, и навернем на него плоскость с параболой таким образом, чтобы ось параболы расположилась по окружности основания цилиндра, а вершина параболы совпала с точкой

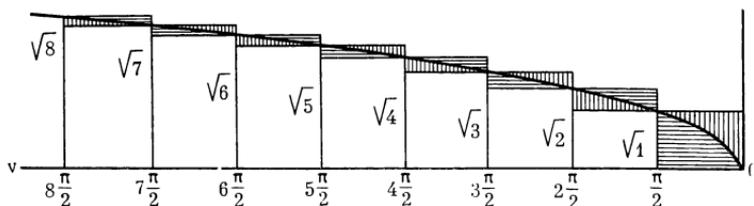


Рис. 17. Параболическая кривая $v = \frac{\pi}{2} z^2$

пересечения поверхности цилиндра и оси x . Полупарабола, обвивая цилиндр, образует винтовую линию $O'BCDE$. Эта линия может быть спроектирована на координатные плоскости zx и zy , что дает две кривые — ξ и η (рис. 19). Координата x для кривой ξ и соответственно координата y для кривой η будут равны:

$$x = OK = \cos v, \quad y = OL = \sin v,$$

а интегралы Френеля примут вид:

$$A = \int_0^z y dz, \quad B = \int_0^z x dz.$$

Каждый из них представляет собой выражение площади, лежащей соответственно на плоскостях zx и zy , между кривыми ξ и η и осью z , и ограниченными ординатами, соответствующими пределам интегрирования. При этом площади, лежащие по ту сторону оси z , которая соответствует положительным x и y , считаются положительными, а лежащие по другую сторону — отрицательными.

Умов указывает простой геометрический способ расчета и правок к значениям интегралов, вычисленных самим Френелем, и получает приближенные формулы для вычисления интегралов Френеля. Затем он применяет их для

отыскания максимумов и минимумов интенсивности света в дифракционной картине, получаемой от прямолинейного края безграничного экрана.

В заключение Умов описывает интегратор — прибор, позволяющий отыскивать значения интеграла Френеля и основанный на исходной идее его работы (рис. 20). На оси z неподвижно укреплен круглый барабан H . На его поверхности начерчена парабола $v = \frac{\pi}{2} z^2$ (за единицу длины принят радиус барабана). Если вращать раму M так, чтобы указатель-штифт ϕ двигался по параболе, то валик B будет участвовать в двух движениях: поворачиваться вместе с рамой M на угол, пропорциональный z^2 , и вращаться вокруг горизонтальной оси. При этом путь, пройденный нулевым делением валика A , дает интеграл Френеля. Валик A может быть заменен линейкой, движущейся на колесиках по рельсам. Перемещения нуля линейки будут давать величины интегралов Френеля ²²⁶.

Прибор Умова демонстрировался им в Париже на заседании Французского физического общества в 1896 г. В автобиографическом очерке Умов, между прочим, писал: «В поездку 1896 г. он (Н. А. Умов. — Д. Г.) сделал 3 доклада в заседании 19 июня Французского физического общества в Париже, членом которого состоит [...] Доклад, дававший простое геометрическое толкование одной работы Френеля, произвел особое впечатление» ²²⁷.

Большой интерес представляют исследования Н. А. Умова в области диффузии водных растворов.

В 1888 г. ученый опубликовал обширное экспериментальное исследование «Диффузия водного раствора поваренной соли». Изучение диффузии Умов осуществлял с помощью известного метода Фарадея — Томсона. Раствор поваренной соли при помощи пипетки вводился на дно цилиндрического сосуда с водой. Предварительно в воду помещались небольшие стеклянные шарики, содержащие внутри воздух и различные количества ртути, благодаря чему они имели различное отношение веса к объему (т. е. разный удельный вес или плотность). При этом плотность

²²⁶ Некоторые дополнительные подробности были сообщены Умовым в статье «Interprétation géométrique des integrales de Fresnel», опубликованной в 1897 г.

²²⁷ Сб. «Научное наследство», т. II. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1951, стр. 376.

всех шариков была больше плотности воды и меньше плотности исследуемого раствора. В ходе диффузии шарики всплывали и каждый из них располагался в том слое, где плотность раствора была равна плотности шарика. Перемещение шариков, наблюдавшееся изо дня в день, позволяло судить о ходе диффузии.

Умов в течение четырех месяцев проводил наблюдения. В результате он вывел ряд простых интегральных законов, характеризующих процесс диффузии. Умов установил эмпирическую формулу для концентрации q в зависимости от времени и координаты z

$$q = a - bc^{-k(z-c)},$$

где k — функция времени, a, b, c — постоянные.

Уже в этой работе Умов приходит к выводу о приближенном характере известного закона Фика, согласно которому поток диффундирующего вещества пропорционален градиенту концентрации этого вещества, причем фактор пропорциональности, называемый коэффициентом диффузии, принимается не зависящим от температуры.

В 1888—1891 гг. Умов продолжает наблюдение над диффузией поваренной соли, с осени 1890 г. изучает еще и диффузию серной и соляной кислот в воду. Итогом этих опытов явилась обширная экспериментально-теоретическая статья «Дополнение закона гидродиффузии и новые диффузиометры», опубликованная в 1891 г.

«Настоящая статья, — пишет Умов во введении, — преследует двоякую цель: во-первых, указать новые методы, упрощающие наблюдение явлений гидродиффузии и дающие возможность следить за ними непрерывно в течение произвольно долгого времени, не нарушая хода явления, во-вторых, указать на дополнение, которое должно быть сделано к уравнению диффузии Фика, чтобы оно действительно соответствовало наблюдению»²²⁸.

Критикуя закон Фика, ученый указывал, что Фик не принимает во внимание изменение суммарного объема смешиваемых объектов — сжатие или расширение. Учет этого изменения Δ единицы объема приводит к уравнению:

$$\frac{\Delta}{dt} \rho = \frac{\partial \rho}{\partial t} - \mu \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}.$$

От уравнения Фика оно отличается членом $\frac{\Delta}{dt} \rho$.

²²⁸ Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 317.

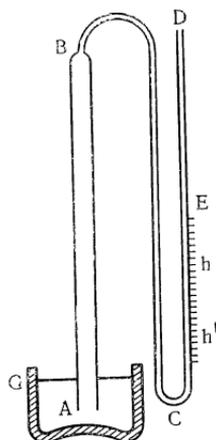


Рис. 21. Сифонный диффузиометр Умова

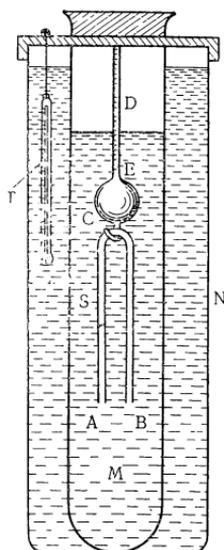


Рис. 22. Диффузионный ареометр Умова

В статье описан ряд остроумных приборов, разработанных Умовым для наблюдения явлений гидродиффузии: «сифонный диффузиометр», «диффузионный крючок», «диффузионный ареометр» и др.

Интересно устройство сифонного диффузиометра (рис. 21). К диффузионному цилиндру *B* припаян U-образный капиллярный сифон *B, C, D*. В цилиндр насыщается растворитель, например вода, заполняющая и смежное с трубкой колено сифона; в другом колене она поднимается до некоторой высоты *h* под действием капиллярных сил. Если затем погрузить нижний конец диффузионного цилиндра в диффундирующую жидкость, она начнет подниматься вверх. В результате вес жидкости в *B* и соответственно давление будут увеличиваться и уровень растворителя в капилляре *CD* опускается. По изменению *h* можно судить о количестве растворенного вещества, поступившего в цилиндр.

Диффузионный ареометр Умова (рис. 22) представляет собой стеклянный сифон *AB*, наполненный водой и подвешенный на крючок *C* ареометра *E*. Весь прибор опуска-

ется в диффундирующую жидкость, налитую в сосуд *М*. По мере диффузии сифон *АВ* становится тяжелее. Число делений, на которое опускается шейка ареометра, служит указанием хода диффузии.

«Работы Умова о диффузии в своей совокупности представляют образцовое физическое исследование, равно замечательное как по выработке новых экспериментальных методов, так и по глубине теоретического анализа явления», — писал А. И. Бачинский, крупный специалист по физике тепловых и молекулярных явлений²²⁹.

В 1895 г. Умов опубликовал экспериментально-теоретическую работу «Образование и истечение капель в магнитном и электрическом поле».

Наблюдая за падением капель диа- и парамагнитных жидкостей из вертикальной трубки, конец которой находился между двумя горизонтально поставленными коническими полюсами электромагнита, он установил, что время падения определенного числа капель диамагнитной жидкости увеличивается в тех местах поля, где поле убывает в направлении, противоположном направлению силы тяжести, и, напротив, уменьшается, если оба направления совпадают. Для парамагнитной жидкости результат оказался обратным. Умов дал изящное теоретическое обоснование полученным результатам, привлекая к рассмотрению теорию магнитного поля и теорию капиллярных явлений.

В работе содержится также описание наблюдений для случая, когда на падение капель влияло не магнитное, а электрическое поле. В этом случае влияние поля оказалось эффективнее и теория явления более сложной. Открытый Умовым эффект впоследствии был использован французским физиком Е. М. Бути как основание для метода определения напряженности магнитного поля.

²²⁹ А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова, стр. 35.

Естественнонаучные и философские взгляды Н. А. Умова

Физику поистине причисляет
звание философа.

Н. Умов

Он был первейшим русским
физиком-философом.

О. Хвольсон о Н. А. Умове

Н. А. Умов проявлял большой интерес к философским проблемам, в частности к вопросам теории познания. И в этом не было ничего удивительного: в своей работе ученый всегда стремился к широким естественнонаучным и философским обобщениям. Наблюдая за развитием науки, Умов пытался осмыслить внутренние процессы, происходившие в естествознании в конце XIX — начале XX в., понять основы мироздания и построить физическую картину мира. К этим вопросам он вновь и вновь возвращался в своих блестящих по форме и весьма глубоких по содержанию статьях и выступлениях.

Несомненный интерес для характеристики философских взглядов Умова представляют и материалы его личного архива¹, рукописи неопубликованных статей, наброски лекций и т. п. Особенно интересна рукопись нового издания учебника физики, над которой Умов работал, по-видимому, в 1909—1910 гг. (первое издание вышло в 1902 г.) и в которой заметное место занимают общеполитические вопросы и вопросы теории познания. Об этом, в частности, говорят и названия отдельных параграфов учебника: «Внешний мир», «Объем познаваемого», «Характер гипотез современной физики», «Объяснение явлений» и т. п.

В развитии философских взглядов Н. А. Умова с достаточной отчетливостью можно различать два периода. Первый — от начала его научной деятельности (1870 г.) и приблизительно до середины 90-х годов, второй — все последующие годы до смерти ученого (1915 г.).

¹ Архив АН СССР, ф. 320.

В первый период Н. А. Умов был материалистом-механистом, глубоко убежденным в возможности построения единой механической картины мира и видевшим в этом основную задачу науки. Позднее под влиянием революционного развития науки на рубеже XIX—XX вв. он утратил веру в возможность механистического объяснения мира, но вместе с тем, не овладев диалектическим материализмом, не сумел до конца правильно понять революционные события в физике конца XIX в. Это повлекло за собой некоторую философскую непоследовательность, отступления в ряде вопросов от позиций материализма. Эволюция взглядов Умова характерна, по-видимому, для многих ученых-естествоиспытателей того времени.

Исходный пункт мировоззрения Умова — признание объективной реальности, признание существования, независимо от сознания человека, природы, внешнего мира, материи. «Материя, как вне нас существующее...» — пишет Умов в наброске лекции для студентов-медиков. По мнению ученого, «под внешним миром мы разумеем все, о чем свидетельствуют наши чувства [. . .] Рассматривая себя как обособленный от остальной природы индивидуум, мы различаем в природе индивидуумы, вещи, тела. Способность их действовать на наши органы чувств мы отмечаем названием: физическое тело, вещество, материя, материальность»². «Ничто в мире не находится в покое, все движется, — утверждает он. — Тот объект, который рисует нашим чувствам или нашей мысли движение, другими словами, *то, что движется, есть материя, вещество*»³.

Умов, как и большинство естествоиспытателей, избегал употреблять термины «материализм» и «идеализм». По-видимому, лишь однажды он прямо говорит об идеализме (в статье «Значение опытных наук»): «В высокой степени любопытно, что охранители идеализма противопоставляют моделям научным другие, которые отличаются тем, что не соответствуют основному правилу знания, преграждая возможность дальнейшего мышления о рассматриваемых вещах...»⁴ Обычно же Умов говорил о научных и ненаучных взглядах, научном и ненаучном мировоззрении, естественных и неестественных точках зрения и т. п.

² Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 88, л. 3.

³ Там же, д. 84, л. 169 (курсив мой. — Д. Г.).

⁴ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 231.

Умов отчетливо сознавал, что на протяжении всей истории человеческой мысли происходила борьба двух противоположных мировоззрений. «Научная мысль постепенно овладевала, однако, явлениями природы и полвека назад подошла во всеоружии к кардинальному вопросу всякого мировоззрения — вопросу о месте человека в природе — этому центральному пункту борьбы двух мировоззрений»⁵. Правильное понимание этого вопроса состоит, по мнению Умова, в сознании того, что «мир существует не для человека, а что человек есть продукт этого мира»⁶. Умов рассматривает человека и его психическую духовную жизнь как неотъемлемую часть и продукт природы. Обоснованию этого материалистического положения он уделяет большое внимание.

Среди его неопубликованных материалов имеется рукопись целой статьи, посвященной этому вопросу. Она называется «Человеческое и сверхчеловеческое» и направлена против веры человека в некий «бесплотный мир духов». В частности, Умов писал: «Считая себя сыном неба или носящим печать божества, подчиняя свои судьбы не природе, а миру не- или сверхъестественному, считая силы, поддерживающие жизнь, неестественными, человек в сущности оставил себе представление о человеческом мире как мире сверхъестественном»⁷.

Ученый категорически отвергал дуалистические представления о независимом существовании двух начал — материального и духовного. Полемизируя с виталистом С. М. Лукьяновым⁸, который в своем выступлении на XI съезде русских естествоиспытателей и врачей (1901 г.) выдвинул тезис: «Жизнь есть нечто не только материальное, но и духовное», Умов говорил: «Эта фраза вызывает большое недоумение: если под словом «духовный» разумеется всем известная категория явлений жизни — мысль, чувство, воля и т. д., то она не представляет никакого вывода, так как утверждает то, что нам известно; нужно думать, что здесь речь идет о том, что в живом имеются два различных начала, из которых одно называется мате-

⁵ Там же, стр. 335.

⁶ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 168, л. 8.

⁷ Там же, л. 7.

⁸ С. М. Лукьянов — профессор-патолог, реакционер, впоследствии товарищ министра народного просвещения и обер-прокурор св. синода.

риальным, а другое — духовным [...] Лукьянову, говоря откровенно, следовало сказать бы так: «Жизнь есть нечто не только естественное, но и неестественное»⁹.

Умов произнес на съезде блестящую речь «Физико-механическая модель живой материи», в которой показал полную несостоятельность виталистических идей о некоей мистической «жизненной силе».

В своих воспоминаниях о Н. А. Умове проф. А. К. Тимирязев приводит интересный эпизод, происшедший во время XI съезда русских естествоиспытателей и врачей. Группа ученых, настроенных против материализма, добилась того, чтобы речь от имени биологов произнес на этом съезде С. Лукьянов. Ввиду того что биологам-материалистам не было предложено прочитать доклады на общих собраниях съезда, К. А. Тимирязев, отец автора воспоминаний, решил не ехать на съезд (который происходил в Петербурге). Однако для реакционеров-виталистов гроза пришла с другой стороны: в качестве второго оратора на общем собрании съезда физиками был выдвинут Н. А. Умов. Его речь «Физико-механическая модель живой материи» была прямым ответом ученого-материалиста на речь Лукьянова и произвела на присутствующих ошеломляющее впечатление. Прочитав на другой день в газете «Русские ведомости» отчет о речи Н. А. Умова, К. А. Тимирязев немедленно выехал на съезд и демонстративно записался в секцию физики¹⁰.

Борьба Умова с неовитализмом достаточно освещена в литературе. Мы лишь отметим, что против витализма Умов выступал не только в публичных речах и статьях, но даже на своих лекциях в университете, в особенности на лекциях для студентов-медиков.

Кроме основного порока витализма — признания мистической «жизненной силы», Н. А. Умов видел в нем еще один «предрассудок» — признание некоего, столь же мистического, целеполагающего начала, якобы обуславливающего наблюдающуюся в природе целесообразность. Умов же указывал на естественные причины, которые в ходе развития природы привели к этой целесообразности. В рукописном наброске вводной лекции для студентов-

⁹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 609.

¹⁰ А. К. Тимирязев. Мои воспоминания о Николае Алексеевиче Умове. — «Вестн. МГУ», 1954, № 9, стр. 149.

медиков он писал: «Учение о целесообразности, или телеология, предполагает, что при построении животных и растений таинственные силы природы руководятся целями. Мы вступим на почву благодарную, если в целесообразности устройства органов человеческого тела, животных и растений будем видеть *действие не лежащей вне нашей власти и понимания силы*, а будем усматривать *неизбежные условия существования и развития организма*. Из многообразных форм, которые могла бы воспроизвести природа, переживают, закрепляются и передаются только те, которые сфабрикованы природой в согласии с условиями окружающего нас мира»¹¹. В своем выступлении «Физико-механическая модель живой материи» Умов подробно обосновывал тезис: «природа произвела психику».

В статье «Эволюция природы в связи с учением Дарвина» он писал, что учение Дарвина «упразднило дуализм в природе человека, пропасть между силами психическими и силами неорганизованной материи. Это упразднение вытекает из постоянных упрощений психики по мере того, как мы спускаемся по лестнице живых существ, пока ее следы и следы жизни не исчезают в мертвой природе»¹². Здесь Умов высказывает мысль о неразрывной связи «психического аппарата» живого существа с «материальной структурой его нервной системы», о том, что психическое, духовное суть производные от физического, материального.

Таким образом, в вопросе о взаимоотношении психического и физического Умов прочно стоял на материалистических позициях и пошел дальше большинства естествоиспытателей его времени.

Природа, по представлениям Умова, бесконечна в пространстве и времени и находится в вечном движении и изменении. Все мировоззрение ученого проникнуто идеей развития. «Ничто в мире не находится в покое», — писал он¹³. Отвергая концепцию о существовании начала и конца мира как противоречащую научному мышлению, он утверждал: «Представление о законченности и неизменяемости мира в прошлом и будущем исключало мысль о том, что в нем же скрыта причина его современных форм.

¹¹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 108, л. 1 (курсив мой. — Д. Г.).

¹² И. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 194.

¹³ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 169.

Происхождение мира оставалось поэтому искать только в причине внеестественной»¹⁴.

В наброске вводной лекции для студентов-медиков Умов писал: «Все движется и меняется в глубинах природы, доступных и недоступных нашим чувствованиям, и в том удивительном непостижимом еще для нас мире, который мы называем человеческим сознанием. И несмотря на это разнообразие перемен, все нас окружающее не представляет собой быстрых и неожиданных смен, не представляет калейдоскопа вычурных, не связанных между собой хаотических картин, а все говорит нам о существовании непрерывного процесса развития, идущего в одну и ту же сторону, подобно тому, как перегружаемая чашка весов неизменно склоняется к земле. Раскрыть законы этого развития составляет конечную задачу науки, использовать эти законы для направления и урегулирования этих процессов на пользу человечества составляет задачу прикладных знаний»¹⁵.

В своей статье «Специальное образование» Умов говорил о необходимости того, чтобы в сознании будущего специалиста запечатлелся «ряд истин более общего философского характера и в первую очередь твердое убеждение «в непреложности» и в необходимости законов природы и в возможности изменять процессы, происходящие в природе»¹⁶. Таким образом, Умов считал, что природа развивается закономерно и все процессы, происходящие в природе, подчиняются объективным законам, не зависящим от человека и от его сознания.

В системе взглядов Н. А. Умова важное место занимала материалистическая идея единства мира. Умов высоко ценил учение Дарвина за то, что оно включило органический мир в естественный процесс развития единой природы, доказало, что живое произошло из неорганической природы, и разрушило непроходимую грань или, как выразился Умов, «демаркационную линию» между органической и неорганической природой.

Умов писал: «Исходя из единства мира, не только внешнего, но и нашего внутреннего, мы должны признать, что возможность познания ограниченным числом органов

¹⁴ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 332.

¹⁵ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 75.

¹⁶ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 207.

чувств такого множества тел и явлений, которые не поддаются никакому подсчету, указывает на то, что тела внешнего мира или природы обладают общими свойствами, а совершающиеся явления или перемены обуславливаются общими причинами»¹⁷. По мнению ученого, «природа есть единая, и кто хочет понять ее части, должен быть в состоянии обозревать ее в ее связях; нужно овладеть великими едиными законами, которые с одинаковой необходимостью управляют живой и неживой материей»¹⁸.

Умов говорил о необходимости изучения процессов, явлений, вещей природы в их связи с другими явлениями, вещами. Признание всеобщей взаимосвязи и взаимообусловленности вещей Умов считал одним из основных принципов естествознания. «И этот принцип есть основа естественнонаучного познания [...] *Все существующее в мире связано между собой*»¹⁹. Умов говорит о познании, основанном на принципе взаимосвязи вещей и явлений. Эту мысль он настойчиво проводил во многих произведениях.

Принцип взаимосвязи — это тот стержень, та основа, которая позволяет человеку познавать явления природы, причем даже явления, непосредственно недоступные для его органов чувств. «Основанием для верования в окончательное познание природы может служить только предположение, что между недоступным нашему чувству явлением *A* и одним из наших ощущений *B* всегда может быть установлена цепь посредников C_1, C_2, C_3, C_4 », — писал Умов в рукописи своего учебника²⁰.

Уверенность Умова в познаваемости природы основывалась на идее о взаимосвязи вещей, на признании объективного существования законов, регулирующих процессы природы, и на доверии к человеческому разуму. По мысли ученого, «естествознание исходит из положения, что все явления природы рациональны, т. е. находятся во взаимных зависимостях и подчинены законам, доступным нашему разуму»²¹. «Где кроется поистине несокрушимая сила естествознания [...] эта сила в его основном принципе, в той великой истине, которую не видят только слепые.

¹⁷ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 5.

¹⁸ Там же, д. 114, л. 26 (оборот).

¹⁹ Там же, д. 179, л. 40 (курсив мой. — Д. Г.).

²⁰ Там же, д. 83, л. 96.

²¹ Там же, д. 124, л. 4.

Этот принцип — доверие к самому дивному произведению природы — разуму человеческому, к тому, что удивительный аппарат — мозг человека — *своими естественно протекающими в нем процессами* ведет к познанию истины»²².

Умов видел глубокую связь, существующую между физикой и теорией познания. В своей статье «Современное состояние физических теорий» он, давая краткий очерк развития основных направлений физики во второй половине XIX в., прямо указывал: «Изображенные судьбы физических учений, естественно, выдвигали вопросы, касающиеся теории познания. Влияние новых методов на теорию познания мы встречаем впервые у Кирхгофа [...] Начавшаяся критика принципов познания природы не была априорной: она вынуждалась успехами экспериментальной науки»²³.

Как материалист Умов справедливо считал, что процесс познания начинается с ощущений: «В основе нашего познания природы лежат свидетельства наших органов вкуса, обоняния, осязания, слуха и зрения»²⁴. Что же такое, по мнению Умова, ощущение? «Мы определили вещество как причину наших ощущений, — писал он в рукописи учебника. — Ощущение есть раздражение наших органов чувств, дошедшее до нашего сознания»²⁵. Это определение Умова перекликается с известными ленинскими словами о том, что ощущение «есть превращение энергии внешнего раздражения в факт сознания»²⁶.

Умов справедливо проводил различие между раздражением и ощущением: «Не всякое раздражение — ощущение. Мы можем утверждать, что нет ощущения без раздражения, но не можем выставлять обратное положение, что всякое раздражение органов чувств доходит до нашего сознания. Не говоря о том, что всякое испытываемое нашими органами чувств действие должно пробегать не только короткие, но и длинные дистанции, чтобы достигнуть центральных частей нервной системы, и на этом пути может рассеиваться, но мы — наследники разнообразных

²² Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 77 (курсив мой.— Д. Г.),

²³ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 171—172.

²⁴ Там же, стр. 186.

²⁵ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 338.

²⁶ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 46.

свойств живого царства — можем обладать целым рядом бессознательных чувствований»²⁷.

Мысль, что ощущения являются единственным источником наших знаний о природе, которая принимается объективно существующей, является правильной и материалистической. По словам Умова, «чем бы человек не мыслил, идеями или образами действительности, как те, так и другие имеют одно общее происхождение — область чувствований»²⁸.

Но вместе с тем мышление — продукт исторического развития и включает в себя опыт предыдущих поколений. «Формула, что ничего нет в сознании, чего бы не было в ощущении, — писал Умов, — должна быть добавлена фразой: чего не было бы в ощущении в течение миллионов веков. Наше сознание в своих чувствованиях и волевых актах опирается не только на непосредственно ощущаемое, но и на те наслоения, которые откладывались не в нас, а переданы нам»²⁹.

Эти замечательные слова Н. А. Умова созвучны следующему высказыванию Ф. Энгельса: «Современное естествознание расширило тезис об опытном происхождении всего содержания мышления в таком смысле, что совершенно опрокинуты были его старая метафизическая ограниченность и формулировка. Современное естествознание признает наследственность приобретенных свойств и этим расширяет субъект опыта, распространяя его с индивида на род: теперь уже не считается необходимым, чтобы каждый отдельный индивид лично испытал все на своем опыте; его индивидуальный опыт может быть до известной степени заменен результатами опыта ряда его предков»³⁰.

Конечно, Умов не мог подняться до марксистского понимания сознания человека как продукта общественной жизни, включающего вековой опыт общественно-исторической практики человечества. Однако он, несомненно, делал шаг в этом направлении, высказывая следующую мысль: «Содержание психики каждого живого организма неизмеримо богаче и обширнее сравнительно с тем ее объектом, который доступен его индивидуальному сознанию.

²⁷ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 338.

²⁸ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 226.

²⁹ Там же, стр. 342.

³⁰ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 581--582.

В этом смысле мы можем говорить о несознаваемой психике. Она есть *продукт накопления техники и опыта жизни в течение миллиардов лет* ³¹.

Итак, процесс познания начинается с ощущений, но он отнюдь ими не исчерпывается. «Замыкаясь в свои чувствования и придавая им исключительную ценность, мы живем лишь призраками» ³², — отмечал Умов.

Признавая ощущения исходным пунктом процесса познания и, соответственно, опытное исследование, эксперимент — отправным пунктом естествознания, Умов в то же время придавал большое значение теоретическому мышлению, которое дает основные идеи, гипотезы, представления о моделях и т. д. Теория и опыт должны гармонически сочетаться и дополнять друг друга. В конце своей статьи «Современное состояние физических теорий» Умов писал, что стремился здесь «изобразить роль теории в физике» и вместе с тем «выяснить неразрывную связь и взаимодействие двух приемов познания природы — теории и опыта» ³³.

Большое значение Умов придавал научным гипотезам. В рукописи его учебника по физике имеется специальный параграф под названием «Характер гипотез современной физики». Умов писал, что к гипотезе физик должен прибегать в тех случаях, когда он встречается с явлением, объяснение которого не может быть сведено к уже известным более простым явлениям, законам и т. п. Мы «должны для его объяснения сделать предположение, касающееся *не формальной стороны, а сущности явления*. Такое предположение носит название гипотезы» ³⁴.

Если для объяснения того или иного явления приходится выдвигать несколько гипотез, то в таком случае, по мнению Умова, надо следовать правилу Максвелла: «Из всех гипотез, которые могут быть составлены для известной группы явлений, выбирайте ту, которая не пресекает дальнейшего мышления об исследуемых вещах» ³⁵.

К числу гипотез, которые «пресекают дальнейшее мышление о предмете» и потому должны быть отвергнуты, Умов относит гипотезу о дальнедействующих силах, гипотезу о жизненной силе, якобы управляющей жизнью живых

³¹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 340 (курсив мой. — Д. Г.).

³² Там же, стр. 342.

³³ Там же, стр. 180.

³⁴ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 83, л. 110 (курсив мой. — Д. Г.).

³⁵ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 609.

организмов, и гипотезу о целеполагающем начале в природе.

Правильность гипотез и теорий проверяется опытом. Умов считал, что теории, гипотезы, модели, «кроме того, явления, которые вызвали их создание, дают еще указания или открывают возможность предсказывать новые явления. Подтверждение опытом подобных предсказаний увеличивает достоверность руководящих умозрений, несогласие же с опытом ведет к отрицанию гипотезы»³⁶.

Гипотеза, по мысли Умова, есть «предположение, касающееся не формальной стороны, а сущности явления». Как было сказано выше, Умов считал, что наука не должна ограничиваться формальным описанием явлений природы. Он критиковал Кирхгофа, который «провозглашает идеи, отставляющие физику в область описательных наук [...] Задача физики низводится на представление и описание простейшими формулами непосредственно наблюдаемых явлений...»³⁷.

В своем отзыве на диссертацию известного геофизика Э. Е. Лейста, посвященную вопросам земного магнетизма, Умов, в частности, писал: «Не могу не отметить, что автор не усматривает в задаче о нормальном геомагнетизме именно той ее стороны, которая представляется наиболее важной с научной точки зрения. Так, на стр. 122 [...] автор говорит, что для него не важно, каким путем получается нормальный геомагнетизм, а важно только его существование. Я придерживаюсь взгляда, что установка критерия для изыскания цифровых данных, определяющих нормальный геомагнетизм, неотделима от вопроса о его причинах»³⁸.

Правильным пониманием роли теории и опыта в научных исследованиях были обусловлены взгляды Умова на вопрос о взаимоотношении между наукой и техникой. Этому вопросу Умов уделял большое внимание. Он многократно указывал, что наука должна служить целям подчинения природы человеку и удовлетворения практических потребностей людей. «Имеется афоризм — «наука для науки», — писал он, — ему нет более места в области физических наук: настолько они сплелись с глубочайшими интересами человечества, что самое специальное исследо-

³⁶ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 83, л. 114.

³⁷ *Н. А. Умов. Собр. соч.*, т. 3, стр. 70—71.

³⁸ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 173, л. 9.

вание в их области, помимо воли производящего его лица, неизменно послужит и миропониманию, и материальному успеху»³⁹.

«История науки показывает, что научные истины, казавшиеся отвлеченными, далеко отстоящими от жизни, оказывались в высшей степени плодотворными в смысле практических приложений»⁴⁰.

Замечательно, что Умов правильно понимал взаимодействие науки и практики: наука не только дает практике, технике и т. д., но в свою очередь сама многим обязана им. Ученый писал: «...История наук показывает, что установлением своих основных истин и частью своим дальнейшим ростом они обязаны запросам жизни. Геометрия вышла из потребности съемки планов, возведения зданий и т. п., механика — из потребности перемещать значительные тяжести, ограждать себя от нападения врагов [...] точные исследования свойств газов вышли из потребности усовершенствовать паровую машину. Потребности в передаче мысли на расстояние, в передаче сил и т. д. послужили быстрому развитию наших знаний об электричестве. Химия зародилась при выплавке и обработке металлов, приготовлении лекарственных снадобий»⁴¹.

Чтобы показать глубину этого высказывания Н. А. Умова, приведем отрывок из известного письма Ф. Энгельса к В. Боргиусу: «Если, как Вы утверждаете, техника в значительной степени зависит от состояния науки, то в гораздо большей мере наука зависит от *состояния* и *потребностей* техники. Если у общества появляется техническая потребность, то это продвигает науку вперед больше, чем десяток университетов. Вся гидростатика (Торричелли и т. д.) была вызвана к жизни потребностью регулировать горные потоки в Италии в XVI и XVII веках. Об электричестве мы узнали кое-что разумное только с тех пор, как была открыта его техническая применимость»⁴².

На материалистической идее единства науки и практики основывались взгляды Умова на задачи образования как университетского, так и техвического.

³⁹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 140.

⁴⁰ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 108, л. 11.

⁴¹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 208—209.

⁴² К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 39, стр. 174.

В годы, когда под влиянием революции в естествознании конца XIX и начала XX в., вызвавшей крушение многих казавшихся незыблемыми научных теорий и представлений, стали раздаваться голоса о банкротстве науки, о ее неспособности дать истинное представление о природе, Умов сохранил научный оптимизм. В 1905 г. он писал: «Жизнь внутреннего мира атома открывает нам свойства и законы, быть может, отличные от тех, которые составляют содержание старой, уже древней физики. Не звучит ли над нами нота разочарования? Мы были уже у самой истины, мы ее захватывали, и неожиданно она отодвинулась от нас на неопределимое по своей дальности расстояние!»

Да, но мы обнаружили, что задача физики заключается не только в описании явлений и изыскании соединяющих связей, т. е. законов. Силою своих экспериментальных и теоретических методов она приближает нас к единой реальности, лежащей далеко за пределами осязаемого.

Мы сознали еще раз величие и недосыгаемую высоту истины, и это сознание является залогом непрерывающегося развития и незатухающей жизни научной мысли»⁴³.

Из этих слов видно, что Умов понимал познание как непрерывный исторический процесс, в ходе которого падают устаревшие теории, взгляды, принципы, уступая место новым, более совершенно отражающим действительность. «...Научные теории,— писал Умов,— не имеют значения навсегда установленных догматов; напротив того, они подвижны, что и должно быть, так как познание есть нечто движущееся и остановка его движения была бы глубочайшим несчастьем для человечества»⁴⁴.

Враг всякого догматизма и косности, Умов пристально следил за развитием науки, за появлением новых открытий, новых теорий и течений научной мысли и сам смело пересматривал свои взгляды в соответствии с новыми открытиями в науке.

Известно, что, как и большинство естествоиспытателей XIX в., Н. А. Умов весьма долго стоял на почве механистического материализма, верил в возможность построения единой механистической картины мира и видел в этом

⁴³ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 284.

⁴⁴ Там же, стр. 228.

цель и задачу науки. В этом заключалась ограниченность материализма Умова.

В продолжение многих лет Умов был сторонником картезианского направления в механической физике. Он высоко ценил Декарта и отвел изложению и развитию его идей немало места в своих произведениях. Умова привлекали в физике Декарта ее материалистическая направленность, стремление изгнать из науки мистические «потаенные» силы, отрицание пустоты, признание понятий материи и движения достаточными для объяснения явлений природы.

В своей речи «Значение Декарта в истории физических наук» (1896 г.), посвященной 300-летию со дня рождения Декарта, Умов говорил: «Он изгоняет из природы все наследие схоластики: потаенные качества, самости, аппетиты, влечения в другие понятия, заимствованные из духовной жизни человека»⁴⁵. Идеи Декарта сыграли большую роль в формировании мировоззрения Умова.

Картезианское направление Умов противопоставлял ньютоновскому, или «динамическому», направлению в физике. «Ньютон, — писал он, — впервые с совершенной ясностью формулировал представление о силах, действующих между телами на расстоянии, не привлекая к этой формулировке представления о посредствующем материальном посреднике [...] Эта идея возвращает умы к потаенным свойствам, против которых так настойчиво боролся Декарт [...] Понятно, что ньютоновское направление должно было вызвать сочувствие теологов и религиозно настроенных кружков Англии»⁴⁶. Как видно из этих слов, Умов понимал, что безоговорочное принятие концепции непосредственного дальнего действия прямым путем ведет к теологии.

Однако, как мы уже говорили, Н. А. Умов не ограничился отрицанием доктрины дальнего действия из одних только философских соображений. В начале 70-х годов XIX в., когда идеи дальнего действия еще признавались большинством естествоиспытателей, Умов предпринял попытку обойтись без них при объяснении всех известных видов взаимодействия тел. Этой цели, имеющей глубокое методологическое значение, был посвящен цикл теорети-

⁴⁵ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 102.

⁴⁶ Там же, стр. 104.

ческих работ ученого, итогом которых явилась монография «Уравнения движения энергии в телах».

В этом труде Н. А. Умов заложил основы учения о движении и локализации энергии. Мы уже подробно говорили о физическом содержании этого исследования. Теперь же попытаемся установить, каким образом правильные философские посылки, от которых отправлялся ученый, привели к основным идеям его учения о локализации и движении энергии.

Несомненно, что к этим идеям Умов пришел в поисках материалистического объяснения взаимодействий.

В самом деле, с точки зрения последовательных сторонников концепции дальнего действия, взаимодействие пространственно разделенных тел, т. е. передача энергии от одного тела к другому, происходит так, как будто энергия либо исчезает в одном месте, но одновременно и в таком же количестве (закон сохранения энергии при этом формально не нарушается) возникает в другом; либо энергия передается от одного тела к другому сама по себе, без какого-либо материального носителя, являя собой некую самостоятельную субстанцию, оторванную от материи.

Умов отвергает и ту, и другую точки зрения. Он считает, что энергия передается одним из взаимодействующих тел соседствующей среде, затем передается от точки к точке в среде и, наконец, — второму из взаимодействующих тел. Энергия неразрывно связана с материей, она характеризует, по словам Умова, интенсивность движения материи. Всякое изменение энергии в каком-либо объеме тела, среды непрерывно связано либо с передачей энергии соседним объемам, либо, напротив, с приходом энергии из соседних объемов. Отсюда Умов получает исходное уравнение своей теории — уравнение закона сохранения энергии в форме уравнения непрерывности.

Совершенно необоснованны попытки некоторых ученых представить Умова как идейного предшественника Оствальда, основателя философской «энергетики», которая подверглась резкой критике в книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Как известно, В. И. Ленин писал, что «энергетическая физика есть источник новых идеалистических попыток мыслить движение без материи...»⁴⁷.

⁴⁷ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 290.

Так, Т. П. Кравец в своей статье «Эволюция учения об энергии» в сущности приписывает Умову в качестве его заслуги роль идейного предшественника Оствальда. В частности, он утверждает: «Умов развивал [...] воззрение, что энергия представляет собой нечто, как тогда говорили, субстанциональное [...] Мы видим, таким образом, что именно в те годы, 75 лет тому назад, в умах передовых физиков созрела мысль о субстанциональности энергии»⁴⁸. До Кравца с аналогичным утверждением об Умове выступил А. И. Бачинский: «Никто до сих пор с такой определенностью не говорил об энергии как о субстанции»⁴⁹. В таком же смысле высказывался и П. П. Лазарев.

В действительности же Н. А. Умов в своих работах, посвященных разработке учения о движении энергии, всюду с определенностью подчеркивал, что за энергетическими процессами стоят материальные процессы, движение материи. Формулируя цель своего исследования, он говорит, что ставит задачей переход от законов движения энергии, которые могут быть найдены из опыта, к «частичным» движениям частиц материи, которые и представляют собой то или иное физическое явление. Умов указывает на относительность аналогии между энергией и веществом: «Насколько движение энергии и движение сжимаемого вещества обуславливаются законом их сохранения, настолько мы имеем право уподоблять движение энергии движению подвижного и сжимаемого вещества»⁵⁰.

Умов нигде не говорил о «частицах энергии», как это впоследствии делали О. Лодж, Г. Гельм и др. Под скоростью движения энергии он понимал не скорость движения «частиц» энергии, а скорость распространения — «пертурбаций», т. е. возмущений в среде.

Таким образом, в первые годы своей научной деятельности, в годы создания учения о движении энергии, Н. А. Умов прочно стоял на материалистических позициях в толковании энергии. Ученого можно упрекнуть лишь в некотором механистическом оттенке его воззрений, но отнюдь не в приверженности «энергетике» типа оствальдовской. Лишь значительно позднее, в самом конце XIX в.,

⁴⁸ Т. П. Кравец. «Усп. физ. наук», 1948, т. 36, вып. 3, стр. 344.

⁴⁹ А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова. М., 1916, стр. 20.

⁵⁰ Н. А. Умов. Избр. соч. М., Гостехиздат, 1950, стр. 152.

Умов допустил ряд противоречивых, философски непоследовательных высказываний об энергии, о которых будет сказано ниже.

Умов критиковал ньютоновскую классическую физику не только за содержащееся в ней представление о далекодействующих силах. Ученому было чуждо и метафизическое ньютоновское толкование пространства как геометрического пространства, существующего само по себе, независимо от материи. Умов считал, что абсолютно пустое пространство — это фикция; следовательно, и ньютоновское представление о телах, находящихся в пустоте, должно быть отвергнуто.

В наброске вводной лекции для студентов-медиков (дата неизвестна) Умов записал: «Основные понятия или символы. Их три: материя как вне нас существующее, пространство как внешняя и время как внутренняя формы, под которыми мы познаем материю»⁵¹. Здесь Умов, по видимому, делает определенный шаг в сторону диалектико-материалистического понимания пространства и времени как форм бытия материи.

Замечательно, что Умов был одним из первых крупных физиков, выступивших задолго до создания специальной теории относительности против абсолютизации основных законов ньютоновской классической механики. Он показал их приблизительный, ограниченный характер и подверг критике ньютоновское метафизическое представление об абсолютном пространстве. Так, в 1900 г. Умов писал: «Классическая (т. е. ньютоновская.— Д. Г.) механика неудовлетворительна по существу положенных в ее основу определений: эти определения содержат в себе произвольно допущенную гипотезу действия сил на конечных расстояниях. Эта гипотеза [...] проходит [...] красной нитью через все аксиомы Ньютона»⁵².

В самом деле, рассуждает Умов, первый закон движения, закон инерции, рассматривает движение тела, оторванного от всей природы и движущегося в пустом пространстве. «Но силы не могут действовать в пустоте, поэтому является вопрос — что сохраняет тело? [...] Можем ли мы вообще говорить о существовании материи в пустом пространстве?» Второй закон Ньютона также неудовлетвори-

⁵¹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 108, л. 10.

⁵² Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 173.

телен, поскольку он предполагает независимость действий сил друг от друга и от состояния движения или покоя, в котором находится тело, что «справедливо опять только при допущении сил, действующих через пустоту». Умов развивает глубокую идею о том, что действие тех или других сил на тело будет неодинаково в зависимости от того, находится ли тело в покое или движется и как движется. Эта идея покоится на признании необходимости промежуточной материальной среды при любом взаимодействии тел, при любой передаче сил.

Умов считал, что аксиома о независимости силы от состояния движения тела находится в тесной связи с индифферентным отношением Ньютона к вопросу о материальности или нематериальности причины тяготения и сил вообще. «Известно, — говорил Умов, — что гениальный мыслитель представил его решение усмотрению читателя»⁵³.

Смысл аксиомы Ньютона, по мысли Умова, зависит от нашей точки зрения на источник силы. Если сила есть нематериальное свойство тел, то ясно, что, например, сила, с которой Земля действует на камень, не зависит от движения камня. Однако, говорил Умов, следует признать, что необходимым условием взаимодействия тел является присутствие материального посредника, среды. Действие одного тела на другое передается через материальную среду и связано с определенным изменением состояний этой промежуточной среды. Если принять эту точку зрения, то, «вообще говоря, движение тел может изменить состояние среды, а вместе с тем и действие этой среды на тело, приписываемое обыкновенно силам, исходящим из тел»⁵⁴. Так, изменение скорости движения магнита, падающего перед медным листом, зависит от этой скорости.

«Мы не можем также утверждать, — писал Умов, — что аксиома Ньютона сохранится и в простом случае падения тел, если тела будут двигаться со скоростями, сравнимыми со скоростью света»⁵⁵. Дальнейшее развитие науки, как известно, подтвердило эту замечательную догадку, высказанную Умовым еще в 1896 г.

Подобным образом решался вопрос и о второй части «аксиомы Ньютона», утверждающей независимость дей-

⁵³ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 115.

⁵⁴ Там же.

⁵⁵ Там же, стр. 116.

ствия сил, приложенных к телу. Умов считал, что такое мнение может быть возведено в аксиому лишь при условии, что под силой понимается нематериальное свойство тел. «Мы видим отсюда,— заключил ученый,— что решение вопроса о материальности или нематериальности источника силы далеко не безразлично, как думал гениальный Ньютон»⁵⁶.

Третий закон механики Ньютона также неявно содержит гипотезу о далекодействующих силах. Поскольку, рассуждал Умов, действие одного тела на другое не может быть мгновенным и его передача от действующего тела к телу, воспринимающему действие, требует некоторого конечного промежутка времени, то получается, что «3-я аксиома утверждает равенство между следствием и несуществующей уже причиной»⁵⁷. Противоречие исчезает, если допустить существование действия в течение этого промежутка в промежуточной среде, разделяющей тела, «но тогда не очевидно, почему все оно должно быть воспринято вторым телом».

С тех же позиций критикует Умов и ньютоновское представление о массе: «Ньютонианец смотрит на тела как на находящиеся в абсолютной пустоте, а потому и масса этих тел представляет абсолютную неизменную величину»⁵⁸. «Представление о первичности и неизменности массы могло возникнуть только при отрицании связи между материей и окружающим ее пространством; последнее представлялось творцам механики пустотой, не нуждалось ни в какой схеме, кроме геометрической, и было нулем в жизни вселенной. Мир в представлении ньютонианской механики раскололся на две, друг с другом не связанные части — материю и пустоту»⁵⁹.

Допуская присутствие промежуточных сред, «скрытой материи», с которой связаны тела, мы не можем наперед исключить случай, что если подвергать тело действию сил, различных по своему происхождению, то неодинаковые количества скрытой материи примут участие в движении тела и масса не представится одной и той же величиной. С этой точки зрения «недостаточно определить массу тела

⁵⁶ Там же.

⁵⁷ Там же, стр. 398.

⁵⁸ Там же, стр. 117.

⁵⁹ Там же, стр. 488—489 (курсив мой.— Д. Г.).

как отношение действующей на нее силы к ускорению; нужно прибавить, к какому классу сил принадлежит эта сила и еще — в каких пределах скорости делается это определение»⁶⁰.

В рукописи неизданного учебника по физике Умов так пишет о массе: «Становясь на точку зрения отсутствия непосредственных действий тел на расстоянии через пустоту и вводя представление о передатчиках или передающих системах, мы приходим к заключению, что масса тела не только определяет его механическую индивидуальность, но и дает меру связи тел со всей вселенной»⁶¹.

Как в первом, так и во втором законе Ньютона, замечает Умов, содержится допущение, что само движение не может быть источником силы, что сила может быть только причиной, а не следствием движения. Для Умова же сила — лишь термин, означающий передачу движения от одного тела к другому. Изменение состояния покоя или движения тела «может произойти только передачей движения от другого движущегося тела»⁶².

Несомненно, что умовское понимание силы близко к определению силы, данному Ф. Энгельсом: «Материя без движения так же немыслима, как и движение без материи. Движение поэтому так же несотворимо и неразруσιμο, как и сама материя [...] Следовательно, движение не может быть создано, оно может быть только перенесено. Когда движение переносится с одного тела на другое, то, поскольку оно переносит себя, поскольку оно активно, его можно рассматривать как причину движения, поскольку это последнее является переносимым, пассивным. Это активное движение мы называем *силой*, пассивное же — *проявлением силы*»⁶³.

Однако критика ньютоновской механики отнюдь не означала, что Умов в ту пору отказался от механистических взглядов⁶⁴. Наоборот, Умов критиковал механику Нью-

⁶⁰ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 117.

⁶¹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 336.

⁶² Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 105.

⁶³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 59.

⁶⁴ К такому неправильному выводу приходит А. И. Компанеец, многократно утверждающий, что Н. А. Умов с самого начала своей научной деятельности отчетливо понимал невозможность механического объяснения природы (А. И. Компанеец. Борьба Н. А. Умова за материализм в физике. М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 53, 56, 57).

тона за ее неспособность дать последовательное механическое описание мира. Об этом однозначно свидетельствуют слова Умова из его речи «Значение Декарта в истории физических наук»: «...Аксиомы Ньютона извлечены из частного явления, а потому не могут быть полагаемы в основу механического объяснения всей природы»⁶⁵.

В эти годы Умов еще продолжал верить в возможность последовательного распространения принципов механики на всю природу и в этом смысле возлагал свои надежды на механику Декарта. В упомянутой речи «Значение Декарта в истории физических наук» он с сожалением говорил: «После упорного умственного труда в течение двух веков мы не находим еще строго выдержанного построения явлений в духе Декарта [...] Однако, несмотря на всю трудность, задача строго и последовательно провести идеи Декарта не оставлена. Существенное препятствие для последовательного проведения картезианских идей заключалось в том, что до последнего врем*я*: была известна только ньютоновская механика»⁶⁶.

Умов с энтузиазмом отнесся к появлению «Механики» Герца, в которой увидел последовательное проведение идей Декарта: «Новые принципы механики найдены и раскрыты в замечательном труде Герца», — писал Умов⁶⁷.

Однако под влиянием новых выдающихся открытий в физике ученый был вынужден отказаться от идеи, которую вынашивал долгие годы. «Механическое представление об эфире как твердой упругой среде, положенное в основу классической оптики, — писал он в 1900 г., — не поддается до сих пор усилиям человеческого ума объяснить электромагнитные явления»⁶⁸. «Механическое мировоззрение являлось однобоким», — констатировал он в одной из своих статей⁶⁹.

Любопытно, что Умов, перерабатывая учебник «Опытная физика» в период 1902—1910 гг., везде заменяет места, где говорится о сведении физических явлений к механическим движениям и о построении механических моделей явлений, новым материалом, свидетельствующим о перемене ученым точки зрения. Так, в первом издании он писал:

⁶⁵ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 124 (курсив мой.— Д. Г.).

⁶⁶ Там же, стр. 115 (курсив мой.— Д. Г.).

⁶⁷ Там же, стр. 117.

⁶⁸ Там же, стр. 169.

⁶⁹ Там же, стр. 398.

«Такое механическое объяснение явлений представляется и наиболее удовлетворяющим нашу потребность понимания природы, так как сводит все явления к простейшему перемещению тел в пространстве. Законы движения являются основными законами физики». В новом варианте этот текст выглядел иначе: «Такое построение (механических моделей.—Д. Г.) *рассматривалось еще недавно* как механическое объяснение явлений...» Далее фразу «сводит все явления» он заменил фразой «*сводило все явления*», вместо «законы движения являются» поставил «законы движения *являлись...*».

Или еще один пример. Старый текст: «На основании вышесказанного предмет физики есть изучение движений вещества; задача физики — представление явлений с помощью простейших механических моделей» в новом варианте звучал так: «С этой точки зрения задача современной физики *сравнительно до недавнего времени определялась* следующей формулой [...] предмет физики [...]» и т. д. «...неизменяемые атомы оказались рождающимися и умирающими, наряду с представлениями механики явились *новые элементы природы, подчиняющиеся законам, отличным от законов механики.* Мы должны признаться, что построенные нами механические модели явлений имеют частное, а не общее значение»⁷⁰. «Аксиомы механики представляются обрывками и пользование ими равнозначно суждению по одной фразе о содержании целой главы»⁷¹, — писал Умов в другом месте.

Однако ломка старых представлений не прошла для Умова безболезненно. Но об этом мы расскажем позднее. Сейчас же остановимся на понимании Умовым эволюции взглядов на картину мира.

В статье «Эволюция атома» (1905 г.) Умов указывает, что с открытием электронов, «этих электрических атомов», к двум основным понятиям, которыми оперировала физика, — «материя» и «эфир», прибавилось третье — «электричество». Электричество состоит из электрических атомов — электронов. С каждым электроном неизменно связано некоторое количество материи, иначе говоря, электрон есть «вещь, объединяющая в себе и материю, и электричество».

⁷⁰ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 83, лл. 113, 114 (курсив мой.— Д. Г.).

⁷¹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 398.

При этом, по Умову, «дуализм» — материя и эфир — сохранится, если предположить, что электрон осуществляет связь между материей и эфиром. «Материя волнует эфир через связанные с нею электроны». Свет порождается не просто колеблющимися материальными частицами пламени или раскаленных тел, как это считалось раньше, а возникает потому, что эти материальные частицы связаны с электронами. Сделанное в то время открытие, что «масса электрона имеет электромагнитное происхождение», Умов объяснял с картезианских позиций. Поскольку электрон связан с эфиром, то изменение его движения должно вызывать перемещения в эфире, а изменение состояния эфира порождает некоторые электромагнитные явления. Отсюда можно было заключить, что электрон обладает некоторой электромагнитной массой, тем большей, чем больше скорость электрона. Подсчет показывал, что материальная масса электрона настолько мала, что ею можно пренебречь по сравнению с электромагнитной массой.

«Но что такое электроны, не обладающие материальной массой? Не представляют ли они часть эфира, выделяющуюся от остальных своим движением — вихревым или коловратным? Один за другим теснятся вопросы: не есть ли вообще всякая материальная масса не более как электромагнитная, не есть ли материя только собрание особых форм движения или состояний эфира, род узлов в эфире? [...] Мы сами, вся природа являемся как бы построенными из эфира»⁷².

Эти высказывания Н. А. Умова показывают, что его понимание материи было в те годы ограниченным; под материей он понимает не все то, что существует вне нас, а лишь то, что ощущается. В представлении Умова материя и эфир находились в примерно таком же отношении, как вещество и поле в представлении многих современных физиков. «Материальность со всеми признаками, — писал Умов, — является лишь на границах бесконечно разнообразных волнений эфира совершенно так, как мы не видим зеркальной поверхности обширного водоема, пока она не всколыхнется и не покроется рябью»⁷³. Эту же мысль Умов высказывает в рукописи учебника «Опытная

⁷² Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 281.

⁷³ Там же, стр. 292.

физика»: «Наиболее простое разрешение вопроса о природе связи между веществом и эфиром мы нашли бы в предположении, что вещество есть состояние эфира, в котором он ощущается нами»⁷⁴.

Поскольку эфир (электромагнитное поле) подчиняется особым законам, отличным от механических, то на смену механической картине мира приходит электромагнитная картина. Несколько позднее Умов, по-видимому, оставляет точку зрения, сводящую все физические явления к колебаниям эфира, к полю. В статье «Характерные черты современной естественнонаучной мысли» он признает за «электрическими индивидами» самостоятельное существование. Более того, он считает, что они являются носителями электромагнитного поля. Но что же такое поле?

По мнению Умова, существуют две точки зрения: поле представляет собой только силовой архитектурный образ, который следует неизменно за электрическим индивидом внутри некоторого субстрата, — назовем его эфиром, наполняющим пустоту; или же оно — некоторая пространственно беспредельная единица, составляющая неизменную принадлежность индивида, часть его сущности. При втором воззрении представление об особом субстрате, наполняющем пустоту, — эфире, излишне. Сам Умов склоняется ко второй точке зрения. «Скрытая в телах энергия должна быть колоссальна, — пишет он. — Мы не удивимся такому заключению, вспоминая, что последние элементы материи — электрические индивиды — простираются на всю вселенную [...] Вселенная состоит из положительных и отрицательных индивидов, связанных электромагнитными полями»⁷⁵.

Итак, на смену понятию эфира приходит понятие электромагнитного поля как некоторого пространственно беспредельного продолжения электрических зарядов.

О структуре поля Умов не делал никаких гипотез. Этот вопрос в то время почти не затрагивался наукой. Впрочем, и в наше время он в значительной мере остается открытым. Физики XX в. видят в электромагнитном поле не состояние некоторой среды, как считалось во времена Фарадея — Максвелла; а особого вида материю, отличную от обычного вещества. К этой точке зрения склонялся и Умов, как

⁷⁴ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 84, л. 236.

⁷⁵ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 404, 405.

видно, например, из его слов: «Электромагнитная точка зрения отличается от картезианской тем, что она, признавая, что силы не могут действовать через пространство, которое обладает только геометрическими свойствами, не наполняет вселенную эфиром-материей, а, оставляя вопрос этот открытым, различает пространство, наполняющее вселенную, от его геометрического образа в нашем представлении. В отличие от последнего, пространство реальное называется деятельным эфиром, электромагнитным полем»⁷⁶.

В последней фразе Умов называет поле пространством, но из предыдущих слов видно, что это «реальное» пространство не есть только геометрическое пространство. Нетрудно заметить, что здесь, правда в несовершенной с философской точки зрения форме, Умов в сущности приближается к современной точке зрения на электромагнитное поле, о которой мы говорили выше.

В статьях и выступлениях Умова можно встретить высказывания, которые могут вызвать недоразумения и неправильную характеристику взглядов ученого. Так, в статье «Характерные черты современной естественнонаучной мысли» Умов говорит об «исчезновении» материи. «Но не пора ли изгнать материю?» — спрашивает он и, указав, что наука пришла к выводу об электромагнитной природе «материальной массы» и к представлению о вселенной как состоящей из «положительных и отрицательных индивидов, связанных электромагнитными полями», заявляет: «Материя исчезла; ее разновидности заменены системами родственных друг другу электрических индивидов, и перед нами рисуется вместо первичного, материального, глубоко отличный от него мир электромагнитный»⁷⁷.

Причина такого вывода заключалась в том, что материальный мир Умов отождествлял, как и многие его современники, с «механическим» миром, в котором все явления могли быть объяснены с позиций механики. Крушение этого последнего он представлял себе как крушение материального мира. «Механическое мировоззрение являлось однобоким... — писал Умов. — В образе мира не было единства. Мир электромагнитный не мог оставаться чем-то чуждым по отношению к материи. Материальный мир с его

⁷⁶ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 82, л. 81.

⁷⁷ *Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 403.*

неизменными камнями мироздания не имел достаточной гибкости, чтобы через него и его принципы осуществилось слияние. Оставался один выход — пожертвовать одним из двух миров — *материальным (механическим)* или электромагнитным [...] Последующее развитие физики есть процесс против материи, окончившийся ее изгнанием»⁷⁸.

Здесь понятия «материальный» и «механический» Умов, по-видимому, считает синонимами. При этом, назвав материю «исчезнувшей», он не имеет ни тени сомнения в объективной реальности «электрических индивидов» и «электромагнитного мира».

Отказ от механической картины мира отнюдь не означал отказ от реального существования «механического мира». Но это последнее понятие потеряло свой всеобщий, универсальный характер. Если раньше Умов считал, что вся природа, во всех ее проявлениях есть мир «механический», т. е. поддающийся механическому объяснению, то теперь оказалось, что в природе есть вещи и явления, необъяснимые с позиций механики. Следовательно, «механический мир» объемлет уже не всю природу, а лишь то, что поддается механическому объяснению. Параллельно этому ограничению и сужению понятия «механический мир» произошло сужение понятия «материальный мир», «материя». Эти понятия также утратили свой универсальный первичный характер и перестали охватывать всю природу: все вещи, которым оказалось невозможным дать механическое объяснение, потеряли право называться «материальными». Так, электромагнитное поле «нематериально», поскольку оно не поддается механическому объяснению. Но поскольку «механический мир» продолжает реально существовать в «усеченном» смысле этого слова, постольку продолжает объективно существовать и «материальный мир» как его синоним.

Поэтому, заявив об «исчезновении материи», Умов в той же самой речи продолжает употреблять слова «материя», «материальный мир» и т. п. Он говорит о материи и в более поздних статьях. Таким образом, Умов не считал нужным изгнать самый термин «материя», однако теперь он понимал под материей лишь предметы, чувственно воспринимаемые и поддающиеся объяснению с помощью законов механики. «Материя не есть уже нечто первичное в мире. Она постро-

⁷⁸ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 398 (курсив мой.— Д. Г.).

ена из элементов, непосредственно непознаваемых нашими чувствами»⁷⁹.

Позиция Умова прекрасно подтверждала правильность ленинских слов об истинном смысле возгласов об «исчезновении» материи, которые раздавались на рубеже XIX и XX вв.

«Когда физики говорят: «материя исчезает», — писал В. И. Ленин в своей замечательной книге «Материализм и эмпириокритицизм», — они хотят этим сказать, что до сих пор естествознание приводило все свои исследования физического мира к трем последним понятиям — материя, электричество, эфир; теперь же остаются *только* два последние, ибо материю удастся свести к электричеству [...]. Чтобы поставить вопрос с единственно правильной, т. е. диалектически-материалистической, точки зрения, надо спросить: существуют ли электроны, эфир *и так далее* вне человеческого сознания, как объективная реальность или нет? На этот вопрос естествоиспытатели так же без колебания должны [будут ответить и отвечают постоянно *да*, как они без колебаний признают существование природы до человека и до органической материи. И этим решается вопрос в пользу материализма, ибо понятие материи [...] не означает гносеологически *ничего иного*, кроме как: объективная реальность, существующая независимо от человеческого сознания и отображаемая им»⁸⁰.

Эти замечательные по своей глубине ленинские слова можно целиком отнести к Н. А. Умову. Он был одним из тех физиков, которые говорили «материя исчезла» и в то же время без колебаний отвечали «да» на вопрос об объективной реальности мира.

По-видимому, с философски неправильным пониманием Умовым «материи» и «материальности» связаны и отдельные его высказывания об энергии, которые, если не учитывать этого обстоятельства, могут быть истолкованы неправильно. В качестве примера приведем его слова из статьи «Характерные черты и задачи современной естественнонаучной мысли»: «Мы имеем еще одну форму энергии, странствующую в пространстве *без всякого материального носителя* с неизменной скоростью, — лучистую энергию»⁸¹.

⁷⁹ Там же, стр. 487.

⁸⁰ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 274—276.

⁸¹ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 397 (курсив мой. — Д. Г.).

При поверхностном подходе легко сделать вывод, что здесь содержится прямая попытка оторвать энергию от материи, иначе говоря, «мыслить движение без материи».

Однако если учесть, что под материей Умов понимал лишь ту часть объективной реальности, составляющей мир, которая чувственно воспринимается человеком, то становится ясным истинный смысл слов Умова — он утверждал отсутствие у лучистой энергии «материального» (лишь в его, умовском понимании, т. е. чувственно воспринимаемого), а не любого носителя вообще. Иначе говоря, излучение есть распространяющееся электромагнитное поле, но поле, по Умову, не «материально», хотя он несколько не сомневался в его объективной реальности.

Подчеркнем еще раз, что в высказываниях Умова об «исчезновении» материи, об энергии, странствующей без материального носителя, следует видеть не философские колебания ученого, не крен в сторону идеализма, как это можно было бы заключить, не вдаваясь в суть дела, а лишь незнание философски правильной терминологии, непонимание сущности фундаментального философского понятия материи.

Однако было бы неправильным полагать, что революционные потрясения в физике конца XIX — начала XX в. прошли для философских взглядов Умова безболезненно. Философская непоследовательность ученого сказалась в решении вопроса о познаваемости мира. Так, он писал в 1903 г.: «Абсолютное познание или познание вещей в себе нам недоступно [...] Все наше мирозерцание [...] представляет собой собрание моделей, образующих более или менее удачный отклик существующего, соответствующих или несоответствующих тем вещам, которые имели в виду при их построении»⁸². И в другом месте (также в 1903 г.): наука пришла к убеждению, «что сущность вещей для нас недостижима и что мы можем только строить образы или воспроизводить отвлеченные подобию — модели соотношений между явлениями природы»⁸³. Эти модели могут либо «говорить нашим чувствам и воображению» (модели Кельвина, Максвелла), либо представлять условные символы, связанные математическими соотношениями, ничего не говорящие нашему чувству и воображению (модели Гельмголь-

⁸² *Н. А. Умов*. Собр. соч., т. 3, стр. 226.

⁸³ Там же, стр. 247.

ца, Герца и др.). Ито и другое направление, указывал Умов, имеют в числе своих приверженцев великих мыслителей.

Сам Умов тяготел к первому направлению. Позднее он писал: «Мы считаем природу рациональной, для всех ее явлений мы можем или надеемся построить механические модели, т. е. цепи, звенья которых взяты из ощущений наших органов чувств и между которыми установлены связи, дающие возможность воспроизвести процесс явления [...] Наши ожидания возможности постепенного построения моделей для всех явлений мира неизменно оправдывались наукой»⁸⁴.

Как видно из приведенных слов, Умова, может быть, можно упрекнуть в сохранившейся еще в ту пору некоторой механистичности воззрений, но отнюдь не в агностицизме. Что касается слов Умова о недостижимости сущности вещей, то некоторый свет на смысл, вкладываемый ученым в эти слова, может пролить следующее его высказывание в ненапечатанной полемической статье «Несколько слов по поводу новых течений в биологии»: «Виталисты еще заняты разысканием начал или сущностей в явлениях живой материи. Подобные розыски уже оставлены в области неорганизованной природы: мы не задаемся более вопросом о сущности вещи, а стремимся строить модели, символически представляющие нам как отношением своих частей, (так и) их ролью в общем механизме и происходящими в них движениями, — процессы, происходящие в природе»⁸⁵.

Таким образом, Умов восставал против признания некоторых метафизических «сущностей» как в явлениях живой природы, так и вообще в любых явлениях и вещах природы.

Как бы то ни было, допуская противоречивые высказывания о нестижимости «сущности вещей», о невозможности познания «вещей в себе», Умов сделал определенные уступки кантианству. Впрочем, эти уступки носили у Умова временный характер. Об этом свидетельствует, например, высказывание ученого, приведенное нами на стр. 271 и относящееся к 1905 г.

Умов резко возражал против возгласов о банкротстве науки и до конца своих дней сохранил веру в могущество

⁸⁴ Там же, стр. 355.

⁸⁵ Там же, стр. 609. Статья была написана в ответ на фельетон некоего Л. Попова (Эльпе) в газете «Новое время», в которой автор защищал виталиста Лукьянова и нападал на Умова.

науки, в ее развитие и прогресс. Этой верой проникнуты последние слова его последней речи: «Перед вами развернута картина высоко напряженной работы познающего разума! Для ее полноты следовало бы включить в нее и этот разум. Он простер свою руку и на свою психологию, на свои суждения, поскольку они вытекают из чувствований, участвующих в жизни явлений. Он раскрыл относительность картины мира; его работа не окончена...»⁸⁶.

Несмотря на отдельные колебания и непоследовательность, Умов в основном оставался на позициях материализма. При этом мы считаем, что было бы неправильным называть Умова стихийным естественноисторическим материалистом. Напомним, что естественноисторическим материализмом В. И. Ленин называл «стихийное, несознаваемое, неоформленное, философски бессознательное убеждение подавляющего большинства естествоиспытателей в объективной реальности внешнего мира, отражаемой нашим сознанием»⁸⁷.

Нам кажется, что это определение В. И. Ленина не всегда правильно истолковывается: из него иногда делают вывод, что естествоиспытатели того времени в лучшем случае могли быть лишь естественноисторическими материалистами. Это, конечно, неверно. Определение В. И. Ленина не исключало возможности того, что тот или иной естествоиспытатель, помимо занятий в своей специальной области, стремится философски осмыслить выводы этой науки и естествознания вообще и становится, таким образом, философом. История науки и философии знает немало примеров таких естествоиспытателей-философов. Применение к такой категории ученых (мы говорим, конечно, об ученых-материалистах) названия «стихийные материалисты» не вполне соответствует существу дела. Их надо считать сознательными (пусть ограниченными, непоследовательными и т. д.) материалистами, поскольку их убеждение в объективной реальности внешнего мира, отражаемого нашим сознанием, уже не просто является «стихийным, несознаваемым, неоформленным, философски бессознательным» — это убеждение основано у них на опыте, философски осознанном в той или иной мере.

К этой категории ученых относился и Н. А. Умов. Он

⁸⁶ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 517.

⁸⁷ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 367.

был естествоиспытателем-философом; его система философских взглядов на природу и на ее познаваемость человеком была в основном материалистической. Поэтому мы считаем, что Умов был сознательным материалистом, он сумел подняться над узким естественноисторическим материализмом большинства своих современников-естествоиспытателей, но не смог до конца преодолеть метафизическую и механистическую ограниченность этого материализма. Хотя Умов не был знаком с диалектическим материализмом, он все же значительно продвинулся на пути к нему.

Его непримиримая борьба против мистико-религиозного мировоззрения, его блестящие выступления в защиту естественности всех явлений (в том числе и психических), против метафизической «демаркационной» линии между неживой и живой природой, против мистических «жизненных сил» и «духовных начал», выступления в защиту идеи развития живой и мертвой природы, идеи всеобщей взаимосвязи и взаимообусловленности явлений, идеи единства природы и ее подчиненности единым объективным законам, глубокая вера в силу и возможности науки — все это позволяет отнести Н. А. Умова к числу наиболее выдающихся и оригинальных мыслителей-естествоиспытателей конца XIX и начала XX в.

Педагогические воззрения и деятельность Н. А. Умова

Николай Алексеевич Умов был выдающимся педагогом, одним из самых блестящих и глубоких среди русских физиков того времени. В течение многих лет он читал лекционные курсы по экспериментальной и теоретической физике сначала в Новороссийском (Одесском), а затем в Московском университете.

Судя по многочисленным свидетельствам, Н. А. Умов был талантливым лектором, превосходно сочетавшим высокую научность и глубину содержания лекций с блестящей формой изложения.

А. И. Бачинский, известный физик, ученик Н. А. Умова, писал о его лекциях: «В 1897—1899 гг. мне довелось слушать у Николая Алексеевича теоретическую (или математическую) физику. Он читал этот трудный предмет с замечательным искусством; изложение было очень точное, но сжатое — все в целях изложить как можно больше материала в отведенное время; в свой курс Н. А. вводил изложение результатов свежих научных исследований. Слушать его было истинным наслаждением»¹.

«Лекции Николая Алексеевича, — подчеркивал Бачинский, — были чрезвычайно обильны содержанием, не только опытным, но и теоретическим; чтобы следить за ними и усвоить их, надо было много напряжения и труда (на что, конечно, роптали иные из слушателей); но кто их усвоил, тот делался обладателем огромного умственного сокровища»².

¹ А. И. Бачинский. Николай Алексеевич Умов. — «Временник общества им. Х. С. Леденцова», 1915, т. 6, вып. 1, стр. 16.

² Там же, стр. 14.

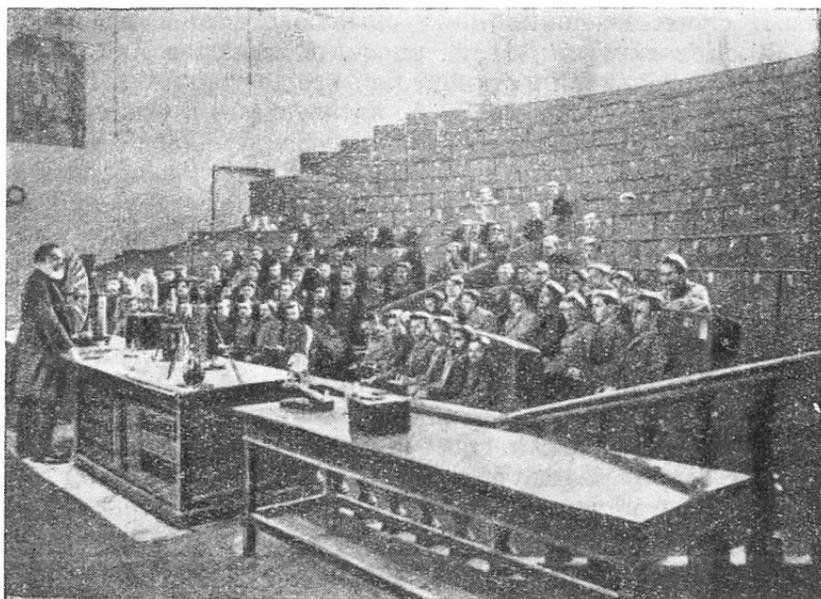
В своих воспоминаниях об Умове математик проф. В. Ф. Каган писал: «Н. А. вносил в преподавание новые идеи, как только они становились его достоянием. Я хорошо знал курс, который Н. А. читал здесь, в Одессе. Лет пять тому назад я имел потребность ознакомиться с курсом математической физики, который он читал в последние годы в Москве. Я получил его лекции и совершенно не узнал этого курса. Эти лекции были свежим выражением того, что содержала текущая научная литература»³.

Писатель А. Белый, сын профессора Н. В. Бугаева, в книге «На рубеже двух столетий» говорит: «Я потому останавливаюсь на Умове как лекторе, что, пожалуй, из всех профессоров он был самый блестящий по умению сочетать популярность с научной глубиной, «введение» — с детализацией: редкая способность [...] Умов в лучшем смысле был не только философ, но и бард физики; он заставил меня на всю жизнь с глубоким трепетом прислушиваться к развитию физической мысли [...]. И через двадцать лет, вспоминая его, я отразил Николая Алексеевича в стихах:

*И было: много, много дум
И метафизики, и шумов,
И строгой физикой мой ум
Переполнял профессор Умов.
Над мглой космической он пел,
Развив власы и выгнув вью,
Что парадоксами Максвелл
Уничтожает энтропию,
Что взрывы, полные игры,
Таят Томсоновы вихри
И что огромные миры
В атомных силах не утихли [...]*

Высокий, полный, седой, с огромным челом, с развевающимися «саваофовыми» власами, с прекрасной седой бородой и с мечтательными голубыми глазами, воздетыми горе, с плавно дирижирующей каким-то кием рукой — кием или жезлом, которым он показывал то на доску, то на машины, приводимые в движение таким в свое время знаменитым ассистентом Усагиным, он — пел, бывало; и некое «да будет свет» слетало с его уст [...].

³ «Вестник опытной физики и элементарной математики», 1915, № 4—5, стр. 75.



*Н. А. Умов читает лекцию по опытной физике
(весенний семестр 1897 г.)*

Лекции Умова по механике напоминали мне космогонию; ход физической мысли делался воочию зримым; формулы вылеплялись и выгранивались, как почти произведение искусства; кинетическая теория газов была им, так сказать, соткана перед нами из формул, как тонкая шаль, которой он попытался окутать и мир жидких тел, и мир твердых, как ступени осложнения тех же простейших газовых законов. Огромная область физики была им высечена перед нами как художественное произведение, единообразное по стилю; мы почти видели, как из хаоса молекулярных биений свайвалась предметность обставшей видимости»⁴.

Н. А. Умов с исключительной тщательностью готовился к лекциям. Об этом свидетельствуют многочисленные черновые наброски лекций, сохранившиеся в архиве ученого, со множеством исправлений и изменений. Один из учеников Умова, известный физик-популяризатор

⁴ А. Белый. На рубеже двух столетий. М.—Л., 1930, стр. 52—54.

А. В. Цингер, в речи на заседании московских ученых обществ, посвященном памяти Н. А. Умова, говорил: «Несмотря на многолетнюю лекторскую привычку и опытность, Н. А. всегда заново обдумывал и тщательно готовил каждую свою лекцию, постоянно внося новые изменения и дополнения не только в свои известные курсы теоретической физики [...], но и в самые элементарные отделы опытной физики [...]

Студенчество видело и чтило в Н. А. одного из наиболее уважаемых, авторитетных и популярных профессоров, влияние которого далеко не исчерпывалось лекциями и лабораторными беседами.

Вокруг Н. А. нередко собиралась молодежь, приходившая к нему не с одними только вопросами научного и учебного характера: его помощи и совета искали и в столь жгучих в свое время вопросах политики, и в интимных вопросах душевных сомнений, иногда в вопросах материальной нужды и даже семейных горестях»⁵.

Бывшему студенту Новороссийского университета М. И. Бруну принадлежат следующие строки об Умове: «Я впервые узнал его в 1880 г., когда он был профессором университета в Одессе. Хотя как студент историко-филологического факультета я не был его учеником, тем не менее меня вместе с другими товарищами по университету, в котором тогда не было перегородок между факультетами, охватывали чувства любви и благоговения уже при одном упоминании о профессоре Умове. Все студенчество видело в нем свою гордость и украшение родного своего университета: при взгляде на его густые светлые кудри, голубые, светившиеся умом и добротой глаза и красивую статную фигуру нам представлялось, что таким был бы сошедший на землю бог науки. И таким распространяющим вокруг себя сияние духовной красоты и мощи он представлялся мне во все последующие 35 лет»⁶.

Академик П. П. Лазарев вспоминает: «Я живо помню первую лекцию Умова в университете, которую он читал в понедельник от 12 до 2 часов. Лекции читались в так называемом «новом здании университета», где помеща-

⁵ «Протокол чрезвычайного соединенного заседания московских ученых обществ и учреждений в память Н. А. Умова». М., 1916, стр. 53.

⁶ А. И. Бачинский. Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова. М., 1916, стр. 39.

лись физический кабинет, большая аудитория и термическая лаборатория В. Ф. Лугинина. Вход в аудиторию был с утра заперт и студентов начинали впускать только в 12 часов, за 20 минут до начала самой лекции. Уже в первые лекции образовалась большая очередь, и студенты стремились занять лучшие, ближайšie к кафедре места в большой физической аудитории, чтобы лучше видеть все демонстрации, которые производились на лекциях.

Ровно в 20 минут первого из прохода с правой стороны амфитеатра показалась величественная фигура Умова. Он быстрыми шагами вошел в аудиторию, причем студенты встретили его долгими аплодисментами. Большой открытый лоб, седые развевающиеся волосы придавали Умову своеобразную красоту, и он сразу же без всяких предисловий о значении физики и о ее роли в медицине начал знакомить нас с сущностью преподаваемой им науки, с указанием на общие философские основы физики»⁷.

Большое значение Умов придавал лекционному эксперименту. Об этом говорит и П. П. Лазарев: «Умов умел некоторые демонстрации так расположить и предпослать им такое физическое и общеполософское введение, что самый опыт производил исключительное впечатление. Он оставался в памяти студента на всю жизнь»⁸.

По свидетельству А. В. Цингера, Умов постоянно изобретал, а частью собственноручно выполнял немалое количество оригинальных приборов, моделей и приспособлений. В физическом кабинете Московского университета до сих пор сохранилась коллекция остроумных и поучительных умовских приборов. В частности, именно Умов предложил ныне широко используемый метод показа гидростатического парадокса: короткий отрезок стеклянной трубки, сильно расширяющийся книзу, закрывается в этом месте стеклянной пластинкой и опускается в воду. При этом пластинка настолько прочно удерживается давлением воды, что на нее можно поставить гиру значительного веса. Если же вместо гири в трубу вливается вода в количестве, по весу равном весу гири, то пластинка отрывается. В этом опыте исключительно наглядно обнаруживается различие между весом жидкости и силой давления жидкости на дно сосуда.

⁷ П. П. Лазарев. Очерки истории русской науки. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950, стр. 208.

⁸ Там же, стр. 209.

Наиболее эффектно из лекционных опытов, разработанных Умовым, были опыты по демонстрации явления поляризации света, о которых мы подробно говорили на стр. 208. Эти опыты и в настоящее время демонстрируются при чтении лекций на физическом факультете Московского университета.

В процессе работы над лекционными демонстрациями Умов разработал принцип изготовления улучшенного проекционного экрана. Изложение этого принципа послужило содержанием одной из его статей⁹. Недостатком обычно употреблявшихся до Умова экранов (например, полотно, матовая белая бумага и т. п.) было то, что они разбрасывали свет слишком широко, так, что значительная часть света отражалась в направлениях, где нет зрителей. Умов весьма остроумным и простым путем добился уменьшения угла разброса света экраном и тем самым увеличения яркости изображения.

Экран Умова состоит из двух отражающих поверхностей: передней — матовой и задней — зеркальной: для получения такого экрана достаточно заматировать переднюю поверхность обыкновенного зеркала: свет, падающий на такой экран, частью диффузно рассеивается передней матовой поверхностью, частью проникает внутрь стекла и, отразившись от задней зеркальной поверхности, возвращается наружу. Благодаря такому соединению диффузного и зеркального отражения достигается большая концентрация света в направлениях, не слишком далеких от нормали к поверхности экрана.

С помощью такого экрана Умов сумел демонстрировать такие явления, как броуновское движение, опыты Френеля с интерференцией света и другие, которые раньше удавалось показывать лишь с большим трудом из-за малой яркости света, отбрасываемого обычными экранами. А. А. Эйхенвальд писал, что эта идея Умова «впоследствии была реализована в экранах кинематографов. Здесь та же цель — усиление яркости изображения путем уменьшения угла разбрасывания света — достигается особой алюминиевой краской; при этом отдельные частицы алюминия частью образуют гладкую поверхность, частью шероховатую, так что две поверхности, которые у Н. А.

⁹ *N. Umov. Über einen Projektionsschirm.— Berichte d. Deutsch. Phys. Gesellsch., 1904, Jahrg. 11, H. 10, S. 184.*

расположены друг за другом, здесь расположены рядом, в одной плоскости»¹⁰.

Будучи университетским профессором, Н. А. Умов в то же время глубоко интересовался вопросами преподавания физики и естественных наук вообще в средней школе. Он был одним из учредителей и товарищем председателя Педагогического общества, возникшего при Московском университете в 1898 г., и председателем физико-математического отделения общества. Общество сыграло большую роль в деле объединения передового русского учительства, в разработке прогрессивных педагогических идей.

По словам А. В. Цингера, «Умов был главным идейным руководителем и самым деятельным участником 1-го съезда преподавателей физико-химических наук средних учебных заведений Московского учебного округа, состоявшегося в 1899 г.»¹¹ Съезд оказал глубокое влияние на всю постановку преподавания физики в русской средней школе и дал толчок к оживлению методической мысли. Особое внимание съезд уделил вопросу о физических демонстрациях и лабораторных занятиях в школе. Большую роль в этом смысле сыграла организованная, по инициативе и под непосредственным руководством Умова, выставка физических приборов на базе физического кабинета университета. Выставка была устроена таким образом, что каждый из участников съезда мог сам воспроизводить те или иные физические опыты и демонстрации. Как видно из протоколов съезда, Умов принимал живое и направляющее участие в обсуждениях животрепещущих вопросов преподавания физики в школе.

Перед закрытием съезда председатель комитета съезда В. Ф. Давыдовский в своей заключительной речи выразил благодарность Н. А. Умову за его труды на пользу съезда: «Среди нас, членов съезда, есть лица, к которым мы не можем отнестись иначе, как с чувством самой глубокой благодарности за их особенно плодотворное, деятельное участие в самой жизни съезда. В этом отношении съезд прежде всего приносит свою искреннюю, сердечную, глубокую благодарность председателю Отделения пре-

¹⁰ «Протокол чрезвычайного соединенного заседания... в память Н. А. Умова», стр. 40.

¹¹ Там же, стр. 55.

подавателей физико-химических наук, проф. Н. А. Умову, в течение длинного ряда дней не щадившему трудов на устройство бесценной в педагогическом отношении выставки приборов — выставки, давшей поучительную картину многих остроумных, простых и в то же время целесообразных приспособлений для экспериментальной иллюстрации физических явлений, не щадившему еще более трудов при объяснениях и демонстрациях выставленных коллекций; заботливо предоставившему членам съезда самим экспериментировать с выставленными приборами и, наконец, доставившему всем нам в одном из вечерних заседаний высокое наслаждение своей содержательной, блестящей лекцией»¹².

В 1898 г. Умов возглавил так называемую Комиссию по вопросу о мерах к лучшей постановке преподавания физики при Московском учебном округе, которой были выработаны программа по физике для средней школы и список 125 обязательных демонстраций при преподавании физики с перечнем необходимых приборов.

Н. А. Умов, как и многие передовые русские естествоиспытатели, такие, как А. Г. Столетов, Д. И. Менделеев, К. А. Тимирязев и др., активно выступал за равноправие классического и реального образования. Он резко восставал против недооценки значения преподавания естественных наук в школе. В письме попечителю Московского учебного округа в ответ на просьбу высказать свое мнение о постановке преподавания в гимназии, Умов писал: «Нигде как в естествознании ученик приобретает убеждения в шаткости априорных умозаключений и приходит к сознанию, что контролем истинного суждения является не сам человек, а нечто, лежащее вне его, подчиненное непреложным законам, и что истина не может быть выдуманна, а является только в результате детального и серьезного умственного труда. Изучение природы, давая конкретный материал, способный завладеть духовными интересами ученика, дает опору для его мышления и в других отраслях [...] Знакомство с природой в форме наглядного обучения должно практиковаться и в низших классах гимназии ввиду существования естественного интереса ко всему окружающему в возрасте пробуждения умственной деятельности, иначе, оставляя без поддержки это

¹² См. Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 598.

естественное стремление и навязывая одиннадцатилетнему ребенку этимологию древнего языка, мы заглушаем его природное влечение и осуждаем его мысль на занятие, ей совершенно несвойственное; можно сказать с уверенностью, что если бы естествознание стояло в античном мире на той же высоте, как в наше время, древний грек не ставил бы своего ребенка в таком неведении окружающего мира, как это делает наша школа»¹³. Здесь же Умов высказывает утверждение, что для поступающих на физико-математические факультеты университетов «требование знания латинского языка не представляется необходимым».

Умов считал одним из важнейших элементов образования и воспитания «развитие наблюдательности, умения обращаться с фактами, упражнение в операциях над фактами» и указывал, что этот элемент «мало культивируется в нашей школе». В объяснительной записке к списку обязательных демонстраций по физике, составленному комиссией под председательством Умова, в частности, говорилось: «Задача, выпадающая на долю преподавания физики и химии в ряду других предметов гимназического курса, заключается, помимо передачи полезных сведений, еще в упражнении способностей ума, отличных от постоянноотождествленных себе актов запоминания, усвоения, умозрения. К таким способностям следует отнести наблюдательность, способность расчленять и группировать факты, умение восходить от подмеченных связей к закону явления и, наконец, навык в объяснении новой формы явления с помощью ранее открытых закономерностей»¹⁴.

Умов придавал огромное значение воспитанию в учащихся активного, творческого подхода к изучаемым явлениям природы, стремление подчинять природу человеку. «Всякое знание,— писал он,— остается мертвым, если в учащихся не развивается инициатива и самостоятельность: учащегося нужно приучать не только к мышлению, но и к хотению»¹⁵.

Мы уже говорили, что Умов глубоко интересовался общепhilософскими проблемами, вопросами теории по-

¹³ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 227, л. 7.

¹⁴ «Совещание, происходившее в 1889 г. в Московском учебном округе по вопросам о средней школе», вып. 2, стр. 178.

¹⁵ Н. А. Умов, Собр. соч., т. 3, стр. 208.



Н. А. Умов в последние годы жизни

знания, решая их в основном с материалистических позиций: он отчетливо видел органическую связь между физикой и философией; правильные, исходные философские посылки сыграли немалую роль в научном творчестве ученого, в частности в создании и обосновании учения о локализации и движении энергии.

Идея о взаимосвязи физики и философии пронизывает всю деятельность Умова как педагога. В его учебниках уже сами названия некоторых параграфов носят философский характер. Высказывания философского характера то и дело встречаются в записях его лекций, сохранившихся в его архиве.

Умов считал необходимым уже в средней школе вносить в преподавание по существу элементы материалистической философии, воспитывать в учащихся убеждение в объективном существовании, независимо от человека, природы, внешнего мира, в существовании «непреложных законов природы», «в сложности явлений и в многообразии их причин».

Он считает, что такие знания необходимы при воспитании любого специалиста, будь то ученый, техник или инженер.

Н. А. Умов пользовался огромным авторитетом среди преподавателей физико-математических наук. Об этом свидетельствуют крупные педагоги-физики — А. В. Цингер, И. И. Соколов и др. Когда в 1900 г. Умов отказался баллотироваться на должность товарища председателя Педагогического общества, председатель общества профессор П. Г. Виноградов писал ему: «Высоко ценя участие такого видного и светлого представителя русской науки, каким являетесь Вы, Общество в заседании своем 22 марта единогласно постановило выразить Вам глубокую признательность за сочувственное отношение к его интересам и за двухлетнюю работу в качестве товарища председателя»¹⁶.

В 1902 г., когда Виноградов выехал в Англию, Умов был избран председателем Педагогического общества. Однако по прошествии года он, по причинам, которые нам неизвестны, решил сложить с себя обязанности председателя Общества и выйти из числа его членов. Небезынтересно привести выдержку из письма, направленного Умову в связи с этим группой видных профессоров, в числе которых были И. Жегалкин, С. Блажко, Н. Жуковский, А. Эйхенвальд, А. Сперанский, Д. Галанин, П. Лазарев, К. Рашевский, А. Реформатский и др.

«Обозревая свыше пятилетние труды Ваши как председателя отделения, всегда высокоценные Ваши сообщения в его собраниях; вспоминая Ваше энергичное плодотворное участие в работе первого окружного съезда преподавателей и особенно труды по устройству на этом съезде драгоценнейшей в педагогическом отношении выставки физических приборов, отделение физико-математических наук единодушно признает, что в лице Вашем оно теряет опытного руководителя, компетентного ученого, доброжелательного, отзывчивого к нуждам педагогического дела человека. Для удовлетворения этих нужд Вы не жалели трудов, щедро жертвовали своим досугом профессора, чтобы принести посильную пользу в области практических вопросов по преподаванию физики в средней школе»¹⁷.

¹⁶ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 240, л. 112.

¹⁷ Там же, д. 200, л. 1—2.

В 1912 г. Н. А. Умов (к тому времени покинувший университет) возглавил только что организованное Московское общество изучения и распространения физических наук и руководил им до самой смерти. После его смерти общество стало носить имя своего первого председателя и руководителя и именоваться: Московское общество распространения физических знаний имени Николая Алексеевича Умова.

Н. А. Умов был председателем Московского комитета по организации 1-го Всероссийского съезда преподавателей физики, химии и космографии. На самом съезде, который происходил в декабре 1913 г. в Петербурге, Умов был избран председателем съезда как «старейший из русских профессоров физики, глубокий мыслитель и славный ученый». Это избрание сопровождалось единодушной горячей овацией участников съезда.

На одном из собраний съезда Умов произнес свою последнюю публичную речь «Эволюция физических наук и их идейное значение».

Заканчивая свою речь на чрезвычайном соединенном заседании Московских ученых обществ и учреждений, посвященном памяти Н. А. Умова, А. В. Цингер сказал: «Если возможно единым словом охватить величавый облик Николая Алексеевича Умова в его благородном жизненном подвиге, то этим словом может быть только в самом широком и самом высоком смысле понимаемое слово — *учитель*»¹⁸.

Педагогические взгляды Н. А. Умова, на которых мы остановились лишь самым беглым образом, заслуживают специального изучения. Однако и сказанное выше позволяет сделать вывод, что Умов был одним из выдающихся педагогов России, последователем великих Н. И. Пирогова и К. Д. Ушинского.

¹⁸ «Протокол чрезвычайного соединенного заседания... в память Н. А. Умова», стр. 56.

Заключение

Вся научно-общественная деятельность Умова была пронизана идеей служения народу.

В черновом наброске заключительной речи при закрытии Менделеевского съезда он писал: «Это собрание имеет своей конечной целью сближение науки с обществом, народом, т. е. тем объектом, для духовного и материального благосостояния которого существует наука и в котором она черпает своих работников и прозелитов»¹.

Ученый-патриот, Умов страстно боролся за расцвет отечественной науки, видя в ней необходимое условие национальной независимости России, технического и экономического прогресса страны.

В статьях, публичных речах и выступлениях он неутомимо призывал к широкому развитию естественных наук, к соревнованию с другими нациями на поприще науки, к созданию современных научных институтов и лабораторий.

«Русские химики давно уже сделали ценные вклады в науку, поставившие Россию на один уровень с западноевропейскими государствами. Такому блестящему положению русской химической науки много способствовали давно существующие химические лаборатории», — писал он. Указав, что русская физика не имеет сколько-нибудь сносных условий для своего развития, Умов с гневом восклицает: «Такое положение дел, несогласное ни с обязанностями, ни с достоинством русской нации, должно окончиться»².

¹ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 127, л. 3.

² Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 578.

В одном из вариантов доклада о проекте нового здания Физического института Московского университета Умов, с горечью указывая на скудность условий для лабораторных занятий студентов, писал: «Молодежь не чувствует себя в той научной атмосфере, которая невольно поднимала бы ее личную энергию в благородном соревновании с другими нациями в важном деле создания национальной науки с ее важным значением для промышленного прогресса страны»³. Он не уставал призывать: «Пора и нам на всемирном рынке знания занять почетное и достойное нашей нации место»⁴.

Умов считал несправедливым и недостойным положение, когда русские молодые физики вынуждены для совершенствования в знаниях и для выполнения научных исследований ездить за границу. В одном из вариантов доклада комиссии по сооружению Физического института он писал: «Крайне прискорбно указывать на иностранные университеты тем ученым, которые тяготеют к Московскому университету в надежде найти в нем необходимые пособия и поддержку для своей научной деятельности»⁵.

Правильно видя одно из условий развития русской научной мысли в возможности широкой публикации научных работ и научного обмена с зарубежными учеными, Умов в то же время считал нетерпимым положение, когда русские ученые были вынуждены публиковать свои труды в иностранных журналах. Он писал в письме к секретарю Общества им. Леденцова Н. Ф. Чарновскому: «Я думаю, что наше общество имеет задачей содействие опытным наукам и прежде всего русской науке и ученым [...] вместо того, чтобы наши ученые рассовывали свои статьи по иностранным журналам, подвергались разным случайностям, выбрасывая вместе с тем свои работы из среды русской научной литературы, не лучше ли нам самим, не пользуясь услугами, иногда сомнительными, иностранных комиссионеров, издавать в России журнал на иностранных языках... Ведь это тоже своего рода избавление русского ученого от иностранного засилия!»⁶.

³ Там же.

⁴ Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, д. 124, л. 4.

⁵ Там же, д. 210, л. 108.

⁶ Там же, оп. 2, д. 159.

В 1911 г. в статье «Программные вопросы и предложения», посвященной деятельности Общества им. Леденцова, Н. А. Умов выдвигает идею создания в России музеев опытных наук и техники, имея в виду, что такие музеи, «развертывая перед глазами нации картины научно-го и технического прогресса, сплетенные из трудов ее же сограждан», служили бы не только поднятию культурного уровня населения, но и средством воспитания чувства национального достоинства. Этой же цели, по мысли Умова, должно служить «собрание и охранение памятников гениальных и выдающихся тружеников науки и техники нашей родины». Таким выдающимся тружеником науки был и сам Николай Алексеевич Умов.

Напомним, что в статье «Физический институт Московского университета» Умов между прочим писал: «Желательно, чтобы центральный сквер на месте бывшего университетского сада украсился со временем памятниками, напоминающими работников русской научной мысли»⁷.

Прошли годы, и желание ученого сбылось — такие памятники украшают замечательный сквер перед фасадом нового здания Московского университета на Ленинских горах. Мраморный бюст Н. А. Умова встречает всех входящих в здание физического факультета Университета. Имя его навсегда останется в летописи отечественной и мировой науки и культуры.

⁷ Н. А. Умов. Собр. соч., т. 3, стр. 144.

Приложения

Печатные труды Н. А. Умова

А. Работы специального содержания

1. Законы колебаний в неограниченной среде постоянной упругости.— Матем. сборник, 1870, т. 5, стр. 189—220 и 252—270. Перепечатка: Избр. соч., стр. 31—74.
2. Теория термомеханических явлений в твердых упругих телах. М., 1871, 75 стр. Перепечатка: Избр. соч., стр. 31—74.
3. Исторический очерк теории света.— Зап. Новорос. ун-та, 1873, т. 9, стр. 1—19. Отд. изд.: Одесса, 1873, 19 стр.
4. Теория простых сред и ее приложение к выводу основных законов электрических и электродинамических взаимодействий.— Зап. Новорос. ун-та, 1873, т. 10, прилож., стр. 1—60, Отд. изд.: Одесса, 1873, стр. 60.
5. Заметка по поводу сочинения г. Лигина: «Геометрическая теория абсолютного движения неизменяемой системы».— Зап. Новорос. ун-та, 1873, т. 10, прилож., стр. 61—81.
6. Теория взаимодействий на расстояниях конечных и ее приложение к выводу электростатических и электродинамических законов.— Матем. сборник, 1873, т. 6, стр. 361—404. Отд. изд.: М., 1873, 44 стр.
7. Ein Theorem über die Wechselwirkungen in endlichen Entfernungen.— Z. Math. Phys., 1894, Bd. 19, S. 97—114.
8. Уравнения движения энергии в телах. Одесса, 1874, 56 стр. Перепечатка: Избр. соч., стр. 151—201.
9. Прибавление к статье: «Уравнения движения энергии в телах». М., 1874, 28 стр. Перепечатка: Избр. соч., стр. 201—227.
10. Ableitung der Bewegungsgleichungen der Energie in continuirlichen Körpern.— Z. Math. Phys., 1874, Bd. 19, S. 418—431.
11. О фиктивных взаимодействиях между телами, погруженными в среду постоянной упругости.— Матем. сборник, 1878, т. 9, стр. 73—108.
12. О стационарном движении электричества в проводящих поверхностях произвольного вида.— Матем. сборник, 1878, т. 9, стр. 121—127.
13. Курс математической физики. 1. Введение.— Зап. Новорос. ун-та, 1878, т. 26, часть ученая, стр. 1—139. Отд. изд.: М., 1878, 139 стр.

14. Вывод законов электродинамической индукции.— Журнал Русск. физ.-хим. об-ва, ч. физ., 1881, т. 13, стр. 87—91.
15. Ableitung der electrodynamischen Inductionsgesetze.— Ann. Phys., 1881, Bd. 13, S. 185—191.
16. Из лекций математической физики. I. Теория бесконечно малых колебаний консервативной системы около положения устойчивого равновесия. II. Колебания системы с одною степенью свободы. Созвучие и абсорбция. Одесса, 1883, 71 стр.
17. О возможности наблюдать облака в тех случаях, когда они невидимы невооруженному глазу.— Протоколы VII съезда русск. естествоиспыт. и врачей в Одессе. Протокол 1-го заседания физ.-хим. секции. Одесса, 1883, стр. 2—3.
18. Частный случай неустойчивого равновесия консервативной системы.— Протоколы VII съезда русск. естествоиспыт. и врачей в Одессе. Протокол 6-го заседания секции физики. Одесса, 1883, стр. 2—4.
19. Геометрическое значение интегралов Френеля.— Зап. матем. отд. Новорос. об-ва и естествоиспыт., 1885, т. 6, стр. 57—86. Отд. изд.: М., 1885, 30 стр.; Избр., соч., стр. 454—484.
20. Отзыв о сочинениях на факультетскую тему.— Зап. Новорос. ун-та, 1885, т. 43, стр. 589—596 (совместно с Ф. Н. Шведовым).
21. О различных системах электрического освещения лампами каления.— Зап. Одесского отд. Русск. техн. об-ва. 1886, март-апрель, стр. 95—121. Отд. изд.: Одесса, 1886, 70 стр.
22. Законы растворимости некоторых солей.— Зап. Новорос. об-ва естествоиспыт., 1887, т. 12, вып. 1, стр. 121.
23. Диффузия водного раствора поваренной соли.— Там же, 1888, т. 14, вып. 1, стр. 1—67.
24. Термопотенциал соляных растворов.— Журнал Русск. физ.-хим. об-ва, ч. физ., 1889, т. 21, стр. 103—128.
25. Дополнение закона гидродиффузии и новые диффузиометры.— Журнал. Русск. физ.-хим. об-ва, ч. физ., 1891, т. 23, стр. 335—349.
26. Антитермы изопиестических и изотермических процессов совершенных газов.— Зап. матем. отд. Новорос. об-ва естествоиспыт., 1893, т. 15, стр. 87—96.
27. Опыт изыскания законов тепловой энергии химических реакций.— Зап. Новорос. ун-та, 1893, т. 58, часть ученая, стр. 209—236. Отд. изд.: Одесса, 1893, 28 стр.
28. К вопросу об электрострикции.— Матем. сборник, 1893, т. 17, стр. 797—800.
29. Отзыв о диссертации А. П. Грузинцева: «Электромагнитная теория света».— Уч. зап. Моск. ун-та, отдел физ.-мат., 1899, вып. 14, стр. 1—5.
30. Об одном методе исследования диффузии жидкости.— Дневник IX съезда русск. естествоиспыт. и врачей, 1894, № 10, стр. 16—17.
31. Une expression générale du potentiel thermodynamique.— Bull. Soc. Natur. Moscou [Ann. 1894], 1895, v. 8, N 1, p. 138—145. Перепечатка: Избр. соч., стр. 484—492.
32. Образование и истечение капель в магнитном и электрическом поле.— Труды отд. физич. наук Моск. Об-ва любителей ест., антр. и этногр., 1896, т. 8, вып. 2, стр. 1—19; Отд. изд.: М., 1896, 21 стр.

33. Sur la formation et écoulement des gouttes dans un champ électrique ou dans un champ magnétique (résumé).— Séances Soc. Phys. Paris, 1896, p. 212.
34. Электрические образы в поле трубки Гитторфа.—Труды физиол. ин-та Моск. ун-та, 1896, т. 5, вып. 1, стр. 53—66 (совместно с А. Ф. Самойловым).
35. N. O u m o f f and A. Samoiloff. Electric images in the field of a Hittorf's (Crooke's) tube.— Phil. Mag., 1896, v. 42, p. 308.
36. Та же работа на франц. языке в Séances. Soc. France Phys., Paris, 1896, p. 177.
36. Interprétation géométrique des intégrales de Fresnel.— Séances Soc. Phys. Paris, 1896, N 4, p. 322—340.
37. Sur l'application de la méthode de M. Ludimar Hermann à l'analyse des courbes périodiques.— Physiologiste russe, 1898, v. 1, p. 52—64.
38. Sur des expériences d'optique.— Séances Soc. Phys. Paris, 1899, v. 1, p. 52—64.
39. Über eine Methode objektiver Darstellung der Eigenschaften des polarisierten Lichtes.— Z. phys. Chem., 1899, Bd. 30, S. 711—715. Та же статья с некоторыми дополнениями. Ann. Phys., 1900, Bd. 2, S. 72—77.
40. Ein Versuch die magnetischen Types des Erdmagnetismus zu ermitteln.— Bull. Soc. Natur. Moscou, 1902, v. 16, N 1—2. p. 1—72. Перепечатка: Избр. соч., стр. 227—311.
41. Über einen Projektionsschirm.— Berichte (Verhandlungen) Deutsch. phys. Ges. 1904, Jahrg. 11, H. 10, S. 184.
42. Построение геометрического образа потенциала Гаусса как прием изыскания законов земного магнетизма.— Труды отд. физич. наук Моск. об-ва любителей ест., антроп. и этногр. 1904, т. 12, стр. 1—26. Перепечатка: Избр. соч., стр. 311—371.
43. Die Konstruktion des geometrischen Bildes des Gauss'schen Potentials als Methode zur Erforschung der Gesetze des Erdmagnetismus.— Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, 1904, v. 9, N 3, p. 106—112.
44. Chromatische Depolarisation durch Lichtzerstreuung.— Phys. Z., 1905, Bd. 6, S. 674—676.
45. Гидростатический опыт.— Физическое обозрение, 1908, т. 9, стр. 48.
46. Über eine Methode zur Erforschung der Körper des Planetensystems, besonders auf die Anwesenheit des Chlorophylls.— Phys. Z., 1909, Bd. 10, S. 259—260.
47. Zur Analyse der Dispersionsformeln.— Phys. Z., 1909, Bd. 10, S. 950—953.
48. Einheitliche Ableitung der Transformationen, die mit dem Relativitätsprinzip verträglich sind.— Phys. Z., 1910, Bd. 11, S. 905—908.
49. Действие различных веществ на фотографическую пластинку (по поводу работы Г. Д. Ярошенко).— Временник об-ва им. Леденцова, 1911, вып. 3, стр. 55—60.
50. Die Bedingungen der Invarianz der Wellengleichung.— Phys. Z., 1912, Bd. 13, S. 292—293.
51. Условия инвариантности волнового уравнения.— Журнал Русск. физ.-хим. об-ва, ч. физ., 1912, т. 44, стр. 349—354. Перепечатка: Избр. соч., стр. 500—503.

52. Eine spektropolaroskopische Methode zur Erforschung der Lichtabsorption und der Nature der Farbstoffe.— *Phys. Z.*, 1912, Bd. 13, S. 962—971.
53. Возможный смысл теории квант.— *Вестник оп. физ. и элем. матем.*, 1914, т. 50, стр. 290—294. Перепечатка: *Избр. соч.*, стр. 423—474.
54. Ein möglicher Sinn der Quantentheorie.— *Временник об-ва им. Леденцова*, 1914, год 5, прилож. 5, стр. 67; *Phys. Z.*, 1914, Bd. 15, S. 380—382.

Б. Учебники и учебные пособия

1. Курс математической физики. Вып. 1. Введение.— *Зап. Новорос. ун-та*, 1878, т. 26, часть ученая, стр. 1—139. Отд. изд.: М., 1878, 139 стр.
2. Курс математической физики. Одесса, 1887 (изд. литогр.).
3. Курс физики. Ч. 1. Механика, М., 1893, 388 стр. (изд. литогр.).
4. Электричество и магнетизм. М., 1895 (изд. литогр.)
5. Теория света. Лекции. М., 1895, 258 стр. (изд. литогр.).
6. Механическая теория теплоты. М., 1895, 228 стр.
7. Курс физики. Т. 1. Механика, молекулярная физика, теплота. М. 1898, 738 стр. (изд. литогр.).
8. Курс физики. Т. 2. Звук, свет, электричество, магнетизм. М., 1899, 425 стр.
9. Курс физики. Лекции. Т. I. Механика. Молекулярная физика. Теплота. М., 1901, 408 стр.
10. Курс физики. Лекции. Т. II. Звук. Свет. Электричество. Магнетизм. М., 1902, 441 стр.

В. Речи и статьи естественнонаучного, философского и педагогического содержания *

1. Вопросы познания в области физических наук. Речь, произнесенная в общем собрании IX съезда русских естествоиспытателей и врачей 4 января 1894 г. *Дневник IX съезда*.— *Вопросы философии и психологии*, 1894, т. 5, кн. 2, стр. 214—229.
2. La mécanique cartésienne.— *Rev. scient.* 1896, v. 6, p. 97—101.
3. Значение Декарта в истории физических наук. Речь, произнесенная на заседании Психологического общества.— *Вопросы философии и психологии*, т. 7, стр. 489—520, 1896; *Сборник по философии естествознания*. М., 1906, стр. 1—26.
4. Несколько мыслей по поводу высшего технического образования.— *Русские ведомости*, 1897, № 287, 17/IX, стр. 4.
5. Речь при открытии съезда преподавателей физико-химических наук.— *Протоколы заседания съезда препод. физ.-хим. наук ср. уч. зав. Моск. уч. окр. в 1899 г.* М., 1900, стр. 5—6.
6. О статье Швальбе «Практические курсы для подготовки и дальнейшего образования преподавателей естественных наук».— Там же, стр. 60—81.
7. Мысли об естествознании. (По поводу вопроса о преобразовании средней школы).— *Русские ведомости*, 1900, № 14, 14/I, стр. 2.

* Статьи раздела «В» вошли в *Собр. соч.*, т. 3.

8. Современное состояние физических теорий.— Матем. сборник, 1900, т. 21, стр. 551—569.
9. Физико-механическая модель живой материи. Речь, произнесенная на первом общем собрании XI съезда русск. естествоиспыт. и врачей 20 декабря 1901 г.— Дневник XI съезда. СПб., 1902, стр. 678—690; Русская мысль, 1902, № 2, стр. 1.
10. По поводу статьи А. А. Киреева: «О предстоящей реформе нашего образования».— Русские ведомости, 1902, № 18, 18/1, стр. 3.
11. Специальное образование.— Русские ведомости, 1902, № 51, 20/11, стр. 3.
12. Автоматизм и сознательная деятельность.— Русские ведомости, 1902, № 247, 7/X, стр. 3.
13. Значение опытных наук.— Научное слово, 1903, № 1, стр. 13—26.
14. Предисловие к переводу книги А. Пуанкаре «Наука и гипотеза». М., 1904, стр. III—VIII.
15. Недоразумения в понимании природы.— Научное слово, 1904, № 10, стр. 21—30.
16. Эволюция атома. Речь, подготовленная для торжественного акта Московского ун-та в 1905 г. Отчет Моск. ун-та за 1904 г. М., 1905.— Научное слово, 1905, № 1, стр. 5—27; Физическое обозрение, 1906, т. 7, стр. 67—92.
17. Из истории союза науки и техники.— Научное слово, 1905, № 7, стр. 14—20.
18. Предисловие ко второму изданию книги И. И. Мечникова «Этюды о природе человека» (М., 1905, стр. VII—X).
19. Эволюция живого и задача пролетариата мысли и воли. М., 1906, изд. «Творческая мысль», 37 стр.
20. Предисловие к «Автобиографическим запискам» И. М. Сеченова (М., 1907, стр. III—V).
21. Эволюция мировоззрений в связи с учением Дарвина. Введение к книге Каруса Штерне «Эволюция мира» (М., 1909, стр. 1—36).
22. Эволюция мировоззрений в связи с учением Дарвина (сокращенное изложение).— Bull. Soc. Natur. Moscou [Ann., 1908], 1910, 22, № 3—4 (приложение к протоколам), стр. 35—38.
23. Предисловие к сборнику «Памяти Дарвина» (М., 1910, стр. 1—7).
24. Характерные черты и задачи современной естественнонаучной мысли. Речь, произнесенная на общем собрании II Менделеевского съезда 21 декабря 1911 г. Дневник съезда, № 5, стр. 1.— Журнал русск. физ.-хим. об-ва, физич. отд., 1912, т. 44, стр. 117—144. Особая брошюра: СПб., 1914, 47 стр.
25. Что говорит человеку естественнонаучная мысль; ее характерные черты и задачи.— В кн.: Лекции, читанные на курсах для агрономов в 1912 г. М., 1913, стр. 1—43.
26. Роль человека в познаваемом им мире.— Природа, 1912, стр. 309.
27. Задачи техники в связи с истощением запасов энергии на земле.— Временник об-ва им. Леденцова, 1912, № 3, стр. 44.
28. Культурная роль физических наук. Речь, произнесенная при открытии Московского общества изучения и распространения физических наук 18 ноября 1912 г.— Математическое образование, 1912, № 8, стр. 341—349.

29. Физические науки в служении человечеству.— Природа, 1913, стр. 149.
30. Вступительное слово в публичном собрании Об-ва изучения и распространения физич. наук 1 февраля 1913 г. по поводу трехсотлетия телескопических исследований солнца.— Физика, 1915, № 3—4, стр. 1—3.
31. Эволюция физических наук и ее идейное значение. Речь, произнесенная на 1-м Всероссийском съезде преподавателей физики, химии и космографии в Петербурге в 1913 г.— Русская мысль, 1914, № 2, стр. 1—27; Вестник оп. физ. и элем. матем., 1914, сем. I, 2 сер., № 7, стр. 177—191, № 8, стр. 209—223. Особая брошюра: Одесса, 1913, 43 стр.

Г. Статьи общего содержания *

1. Еще новое применение артельных начал.— Русская летопись, 1870, № 6, стр. 249.
2. Агапи (Ἀγάπη) — Одесский листок, 1891, № 38.
3. Физический институт Московского университета.— Русские ведомости, 1898, № 122, 5/VII.
4. Дар Физическому институту Московского университета.— Русские ведомости, 1898, № 202, 23/IX.
5. Криогенная лаборатория Морозовых при Московском университете.— Русские ведомости, 1899, № 246, 6/IX.
6. Стереоскопический дальномер.— Физическое обозрение, 1903, т. 4, № 4, стр. 125—138.
7. 12 января 1905 года.— Научное слово, 1905, № 1, стр. 1—3.
8. Насущная потребность.— Русские ведомости, 1911, № 49, 2/III; сб. «К вопросу о Московском научном институте». М., 1911.
9. Вступление к статье «Машины вечного движения» (наиболее интересные идеи бесплодных изобретений подобного рода).— Временник об-ва им. Леденцова, 1911, № 1, стр. 70—71.
10. Несколько слов о деятельности Общества имени Х. С. Леденцова.— Русские ведомости, 1911, № 161, 14/VII.
11. Программные вопросы и предложения. Вступительная статья к отчету о деятельности об-ва им. Леденцова за первую половину 1911 г.— Временник об-ва им. Леденцова, 1911, № 2, стр. 5—10.
12. Речь на юбилее «Русских ведомостей». — Русские ведомости, 1913, № 231; Пятидесятилетний юбилей газеты «Русские ведомости». М., 1915, стр. 25.

Д. Воспоминания и некрологи **

1. Воспоминания о Якове Игнатьевиче Вейнберге.— Bull. Soc. Natur. Moscou [Ann., 1896], 1897, t. 10, N 4 (протоколы), p. 4—14.
2. Николай Алексеевич Любимов.— Журнал. мин. нар. просв., 1897, июль, ч. 312, стр. 129.

* Статьи раздела «Г» вошли в Собр. соч., т. 3.

** Воспоминания вошли в Собр. соч., т. 3.

3. Слово, произнесенное на могиле Ф. А. Слудского.— Bull. Soc. Natur. Moscou [Ann., 1897], 1898, t. 11, N 4 (протоколы), p. 72—73.
4. Памяти учителя и товарища (к кончине Н. В. Бугаева).— Русские ведомости, 1903, № 148, 31/V.
5. Речь в память Г. И. Фишера фон Вальдгейма, произнесенная в заседании Московского общества испытателей природы.— Bull. Soc. Natur. Moscou [Ann., 1903], 1903, t. 18, N 4 (протоколы), p. 54—55.
6. Сергей Николаевич Трубецкой.— Научное слово, 1905, № 8—9, стр. 1—4.
7. Предисловие к кн. И. М. Сеченова «Автобиографические записки» (М., 1907, стр. III—IV). Характеристика личности и творчества И. М. Сеченова.
8. Предисловие к сб. «Василий Ключевский. Характеристики и воспоминания» (М., 1912, стр. 1—4). Характеристика личности и творчества В. О. Ключевского.
9. Тяжелая утрата (по поводу кончины П. Н. Лебедева).— Русские ведомости, 1912, № 51, 2/III, стр. 1—2.
10. К кончине П. Н. Лебедева.— Природа, 1912, № 3, стр. 305—306.

Е. Заметки и рецензии

1. Потенциал, потенциальная функция.— Настольный энцикл. словарь Граната, изд. 4, 1899, т. 7, стр. 4041—4043.
2. Новое открытие в области радиоактивных явлений.— Научное слово, 1903, № 8, стр. 127—128.
3. Явление радиоактивности.— Научное слово, 1904, № 7, стр. 93—98.
4. Рентгеновский конгресс (Берлин, 30/IV — 3/V 1905).— Научное слово, 1905, № 7, стр. 140—142.
5. Радий и жизнь.— Научное слово, 1905, № 8—9, стр. 161—162.
6. XII съезд русских естествоиспытателей и врачей.— Временник об-ва им. Леденцова, 1910, № 1—2, стр. 97—98.
7. О книге Н. С. Дрентельна «Физика в общедоступном изложении».— Русские ведомости, 1910, № 55, 9/III, стр. 5.
8. О книге А. А. Эйхенвальда «Электричество».— Русские ведомости, 1911, № 210, 13/IX, стр. 5.
9. Издания Об-ва им. Х. С. Леденцова.— Русские ведомости, 1912, № 209, 11/IX, стр. 5 (Критико-библиографический обзор).
10. О книге А. В. Цингера «Задачи и вопросы по физике».— Утро России, 1912, № 289, 15/XII, стр. 6.
11. О книге А. И. Бачинского «Учение о силах и о движении».— Русские ведомости, 1914, № 99, 30/IV, стр. 5.

Ж. Работы о жизни, деятельности и научных трудах Н. А. Умова

1. Умов Н. А. Автобиографический очерк. Сборник статей по вопросам физ.-мат. наук и их преподавания, т. 1. М., 1924, стр. 84—105.
2. Умов Н. А. Автобиография. По окончательному варианту. Публикация В. П. Зубова.— Научное наследство. Естествен-

- нонаучная серия, 1951, т. 2, стр. 355—397. Вступит. статья В. П. Зубова «Работа Умова Н. А. над своей автобиографией», стр. 355—362; примеч., стр. 389—397.
3. *Агабабов Х. А.* Николай Алексеевич Умов.— Вестник Высшей школы, 1953, № 5, стр. 40—46.
 4. Архив Академии наук СССР. Обзорение архивных материалов, т. 3. Физико-математические науки. М.— Л., 1950.
 5. *Бачинский А. И.* К истории русской науки. Взгляды Н. А. Умова на потенциальную энергию, на силы, действующие на расстоянии, и на массу.— Успехи физ. наук, 1923, т. 3, № 2—3, стр. 256—261.
 6. *Бачинский А. И.* Николай Алексеевич Умов. Биографический очерк и перечень печатных трудов с указанием времени и места их появления. М., Об-во им. Леденцова, 1915, 40 стр.
 7. *Бачинский А. И.* Очерк жизни и трудов Николая Алексеевича Умова. М., 1916, 84 стр., библиография.
 8. *Бачинский А. И.* Характеристика Н. А. Умова как ученого, как мыслителя и как человека. М., 1916. Оттиск из «Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы», 1916, т. 29, прилож. к протоколу за 1915 г., стр. 76—95.
 9. *Бачинский А. И.* Замечательный русский ученый Н. А. Умов.— Русская мысль, 1916, февраль, раздел 3, стр. 26—34.
 10. *Бачинский А. И.* Николай Алексеевич Умов.— Вестник инженеров, 1915, т. 1, № 5, стр. 169—171, портр.
 11. *Бачинский А. И.* Николай Алексеевич Умов.— Математическое образование, 1915, т. 4, № 2, стр. 49—57, портр.
 12. *Бачинский А. И.* Николай Алексеевич Умов.— Природа, 1915, № 2, стр. 285—306.
 13. *Бачинский А. И.* Список печатных трудов Н. А. Умова.— В кн.: Сборник статей по вопросам физ.-мат. наук и их преподавания. М., 1924, стр. 98—105.
 14. *Веденеева Н. Е.* и *Грум-Гржимайло С. В.* Спектрополярископический метод Умова в применении к исследованию минералов под микроскопом.— Доклады Академии наук СССР, новая серия, 1934, 3, стр. 583—585.
 15. *Гуло Д. Д.* Работы Н. А. Умова по оптике.— Труды Ин-та истории естествознан. и техники АН СССР, 1956, т. 10, стр. 269—298.
 16. *Гуло Д. Д.* Естественнонаучные и философские взгляды Н. А. Умова.— История и методология естественных наук. Изд. МГУ, вып. 1, физика, 1960, стр. 115—140.
 17. *Гуло Д. Д.* Из истории учения о движении энергии.— История и методология естественных наук. Изд. МГУ, вып. 2, 1963, физика, стр. 135—181.
 18. *Гуло Д. Д.* Развитие идей Н. А. Умова о движении энергии в работах советских ученых.— История и методология естественных наук. Изд. МГУ, вып. 3, 1965, стр. 214—241.
 19. *Гуло Д. Д.* О работах Н. А. Умова по локализации и движению энергии.— Actes du XI Congrès international d'histoire des sciences. Varsovie — Cracovie, 1968, v. III, p. 414—417.
 20. *Гуло Д. Д.* Труды Н. А. Умова по земному магнетизму.— История и методология естественных наук, вып. 10, физика. Изд. МГУ, 1971, стр. 201—207.

21. *Друянов Л. А.* Философские взгляды Н. А. Умова. Автореферат дисс. канд. философ. наук. М., 1951, 15 стр. (Моск. гор. пед. ин-т им. В. П. Потемкина).
22. *Жуковский Н. Е.* Умов как математик. — В кн.: *Жуковский Н. Е.* Собр. соч., т. 7. М.—Л., Гостехтеоретиздат, 1950, стр. 279—285. Впервые напечатано в Матем. сборнике (1916, т. 30, стр. 51—56).
23. *Каган В. Ф.* Памяти Николая Алексеевича Умова.— Вестник опытно-физики и элементарн. математики, 1915, 3 сем., № 4—5, стр. 75—99.
24. *Кессених В. Н.* Вектор Умова и присоединенная масса.— Вестник МГУ, 1949, № 5, стр. 71.
25. *Компанеев А. И.* Борьба Н. А. Умова за материализм в физике.— Вопросы философии, 1952, № 2, стр. 128—139.
26. *Компанеев А. И.* Борьба Н. А. Умова за материализм в физике. М., Изд-во АН СССР, 1954, 128 стр., с портр.
27. *Красуская О. Н.* (дочь Н. А. Умова). Воспоминания о Н. А. Умове.— Физическое обозрение, 1915, т. 16, № 3, стр. 147—163.
28. *Кулаков А. А.* О вековом ходе геомагнетизма по методу профессора Н. А. Умова. М., 1917.
29. *Лазарев П. П.* Николай Алексеевич Умов.— В кн.: *Лазарев П. П.* А. Г. Столетов, Н. А. Умов, П. Н. Лебедев, Б. Б. Голицын. Л., Научн. хим. изд-во, 1937, стр. 20—30.
30. *Лазарев П. П.* Н. А. Умов.— В кн.: *Лазарев П. П.* Очерки истории русской науки. М.—Л., 1950, стр. 191—231, с портр.
31. *Лазарев П. П.* Н. А. Умов в Московском университете.— В сб.: Московский ун-т в воспоминаниях современников. М., 1956, стр. 357—360.
32. *Лазарев П. П.* Николай Алексеевич Умов, президент Моск. об-ва испыт. природы (1846—1915). М., Изд. Моск. об-ва испыт. природы, 1940, 40 стр.
33. *Левашов А. Е.* и *Иваницкая О. С.* Величины, не приведенные к нормальной системе отсчета и значение работ Н. А. Умова по теории относительности.— Труды физ.-техн. ин-та АН УзССР, 1950, т. 3, стр. 20—31.
34. *Лейст Э. Е.* Труды Н. А. Умова по земному магнетизму. Речь. М., 1916. Отд. оттиск из Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, новая серия, 1916, т. 29, протоколы, стр. 29—42.
35. *Липский Ю. Н.* Метод Умова и его применение к исследованию поверхностей планет.— Сообщ. Астроном. ин-та им. П. К. Штернберга, 1954, № 96, стр. 25—35.
36. *Максимов А. А.* Очерки по истории борьбы за материализм в русском естествознании. М., Госполитиздат, 1947, стр. 321—334.
37. *Мануйлов А. А.* Н. А. Умов как общественный деятель. М., 1916. Отд. оттиск из Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы за 1915 г., 1916, т. 29, стр. 64—66 (прилож. к протоколам).
38. *Махов А. В.* Философские воззрения Н. А. Умова. Диссертация б. м. и Г.
39. *Медведев К. Ф.* Борьба Умова за материализм в естествознании во второй половине XIX и начале XX столетий. Автореферат дисс. канд. философ. наук. Харьков, 1956, 15 стр. (Харьк. гос. ун-т им. А. М. Горького).

40. Мензбир М. А. Н. А. Умов как руководитель ученого общества. — Бюлл. Моск. об-ва испытат. природы, новая серия, 1916, т. 29, протоколы, стр. 23—29.
41. Де Метц Г. Г. Памяти Н. А. Умова. — Физическое обозрение, 1915, т. 16, № 3, стр. 121—146. Отд. изд.: Киев, 1915, 25 стр.
42. Мечников И. И. Памяти Н. А. Умова. — В кн.: Мечников И. И. Страницы воспоминаний. М., 1946, стр. 67—69.
43. Предводителей А. С. Николай Алексеевич Умов. 1846—1915. Изд. МГУ, 1950, 55 стр.
44. Предводителей А. С. Николай Алексеевич Умов. — Уч. зап. Моск. гос. ун-та, юбил. серия, 1940, вып. 52, стр. 81—105.
45. Предводителей А. С. Николай Алексеевич Умов (1846—1915). — В кн.: Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники, т. 1. М.—Л., 1948, стр. 143—151.
46. Предводителей А. С. Русский ученый — физик Н. А. Умов. — Советская наука, 1940, № 7, стр. 121—133.
47. Протокол чрезвычайного Соединенного заседания Московских учебных обществ и учреждений в память Н. А. Умова. М., 1916. 76 стр., с илл.
48. Rasvolsky L. Nicholai Alexeevich Oumov. — Science, 1915, v. 42, 1073, p. 113—145.
49. Рукавов В. П. Педагогические и философские воззрения Н. А. Умова. М.—Л., 1948, 36 стр.
50. Слепян Л. Б. Вектор Умова и вектор Пойнтинга. — Зап. Сев.-зап. заочн. политехн. ин-та, 1957, вып. 2, стр. 135—154.
51. Соколов И. А. Памяти профессора И. И. Боргмана (19 мая 1914) и Н. А. Умова (12 января 1915). Казань, 1915, 20 стр. Отд. отт. из Изв. физ.-матем. об-ва при Казанском ун-те, т. 21, 2-я серия, 1915, № 2, стр. 35—52.
52. Соколов И. И. Профессор Н. А. Умов как руководитель учителей физики. — Физика в школе, 1946, № 1, стр. 65—90.
53. Тимирязев А. К. Мои воспоминания о Николае Алексеевиче Умове. — Вестник Моск. ун-та, 1954, № 9, серия физ.-мат. и естеств. наук, вып. 6, стр. 149—152.
54. Топорец А. С. Об эффекте Умова. — Журнал эксперим. и теоретич. физики, 1950, т. 20, вып. 5, стр. 390—394.
55. Топорец А. С. Явление Умова и его физическое истолкование. — Известия АН СССР, серия физич., 1950, т. 14, № 4, стр. 549.
56. Федоров С. А. Значение и труды Н. А. Умова в Об-ве им. Леденцова. Речь. М., 1916, Отд. оттиск Бюлл. Моск. об-ва испытат. природы за 1915 г., 1916, т. 29, протоколы, стр. 42—50.
57. Хвольсон О. Д. Н. А. Умов. — Журнал Русск. физ.-хим. об-ва, ч. физ., 1915, т. 47, вып. 2, стр. 37—49.
58. Хвольсон О. Д. Н. А. Умов. — Природа, 1915, январь, стр. 153—154.
59. Хвольсон О. Д. Памяти Н. А. Умова. — Вестник Европы, 1915, февраль, стр. 366—373.
60. Цингер А. В. Н. А. Умов как учитель. Речь. — Бюлл. Моск. об-ва испытат. природы за 1915 г., новая серия, 1916, т. 29, протоколы, стр. 66—75.
61. Цингер А. В. Памяти Николая Алексеевича Умова. — Вестник воспитания, 1915, т. 26, № 1 (отд. 3), стр. 97—99.
62. Чертов А. Г. Неизвестная статья Н. А. Умова. — Вестник Моск.

ун-та, 1954, № 2, серия физ.-мат. и естеств. наук, вып. 1, стр. 133—134.

63. Шпольский Э. В. Николай Алексеевич Умов (1846—1915).— Успехи физ. наук, 1947, т. 31, вып. 1, стр. 129—146.
64. Эйхенвальд А. А. О научных работах Н. А. Умова по физике, Речь. М., 1916, Отд. оттиск из Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы за 1915 г., 1916, новая серия, № 29, прилож. к протоколам стр. 55—64.

Собрания сочинений Н. А. Умова

1. Собрание сочинений под ред. и с примеч. А. И. Бачинского, т. 3. Речи и статьи общего содержания. М., 1916, 666 стр., с илл., портр.
2. Избранные сочинения. Под ред. и с пред. чл.-корр. АН СССР проф. А. С. Предводителяева. М.—Л., Гостехтеоретиздат, 1950, 554 стр.

Основные даты жизни и деятельности Н. А. Умова

- Николай Алексеевич Умов родился 23 января (4 февраля н. с.) 1846 г. в г. Симбирске.
- 1858 Поступил в 3-й класс 1-й Московской гимназии.
- 1863 Окончил гимназию с золотой медалью и поступил на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета.
- 1867 Окончил университет со степенью кандидата. Оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию.
- 1868 Приступил к преподаванию физики (2-я женская гимназия, затем Лубяньские женские курсы) и арифметики (народная женская школа А. С. Семичевой).
- (апрель)
- 1869 Участвовал (вместе с братьями Б. Б. и Г. Б. Фишер) в организации в Москве Общества по распространению технических знаний.
- 1870 Выступил с первым сообщением в Московском математическом обществе, напечатанным в том же году в «Математическом сборнике» под заглавием «Законы колебаний в неограниченной среде постоянной упругости».
- (21 марта)
- 1871 Избран доцентом Новороссийского (Одесского) университета по кафедре физики.
- (22 ноября)
- 1871 Защитил магистерскую диссертацию «Теория термомеханических явлений в твердых упругих телах».
- (7 декабря)
- 1872 Приступил к чтению курса математической физики в Новороссийском университете (вступительная лекция «Исторический очерк теории света»).
- (15 января)
- 1872 Вступил в брак с Еленой Леонардовной Новицкой.
- (25 июня)
- 1874 Защитил в Московском университете докторскую диссертацию «Уравнения движения энергии в телах».
- (27 сентября)

- 1874—1876 Летние поездки в Германию, Францию, Англию
 1875 Утвержден экстраординарным профессором.
 1877 Организация студенческого физического практикума в Новороссийском университете.
- 1880 Утвержден ординарным профессором.
 1883 Участвовал в работе VII съезда русских естествоиспытателей и врачей.
- 1889—1893 Член комитета «Когановских учреждений».
 1891—1893 Заведующий убежищем для бесприютных детей.
 1893 Возвратился в Москву на кафедру физики Московского университета.
 (осень)
- 1894 Речь «Вопросы познания в области физических наук» на IX съезде русских естествоиспытателей и врачей в Москве.
 (4 января)
- 1895 Поездка за границу с целью ознакомления с устройством физических институтов (Сорбонна, Страсбург, Цюрих).
- 1896 Назначен (в связи со смертью А. Г. Столетова) заведующим кафедрой физики и физическим кабинетом университета. Организовал физическую лабораторию.
- 1896 Участвовал в юбилейных торжествах по случаю 50-летия научной деятельности В. Томсона (лорда Кельвина) в Глазго. Присуждение Умову почетной степени доктора прав Глазговского университета.
 (июнь)
- 1896 Выступил в Париже на заседании Французского физического общества с тремя докладами.
 (июнь)
- 1896 Получил звание заслуженного профессора.
 (22 ноября)
- 1896—1903 Возглавлял комиссию по выработке плана и в дальнейшем по строительству нового Физического института при Московском университете.
- 1897—1914 Президент Московского общества испытателей природы.
- 1898 Участвовал в организации Педагогического общества при Московском университете. Избран товарищем председателя и председателем отделения физико-химических наук.
- 1899 Участвовал в организации и проведении I съезда преподавателей физико-химических наук средних учебных заведений Московского учебного округа.
- 1900 Речь «Современное состояние физических теорий» на торжественном заседании Московского математического общества.
 (21 марта)
- 1901 Речь «Физико-механическая модель живой материи» на XI съезде русских естествоиспытателей и врачей в Петербурге.
 (20 декабря)
- 1902—1903 Председатель Педагогического общества.
 1903—1906 Редактор журнала «Научное слово».
 1906 Избран почетным членом Московского общества испытателей природы.
 (11 февраля)

- 1908
(3 октября) Речь «Эволюция мировоззрений в связи с учением Дарвина» на годовом заседании Общества испытателей природы.
- 1909 Участвовал в работе XII съезда русских естествоиспытателей и врачей.
- 1909 Избран товарищем председателя, а в дальнейшем почетным членом Общества им. Х. С. Леденцова, в организации которого принимал самое активное участие.
- 1910—1914 Редактор журнала «Временник» Общества им. Х. С. Леденцова.
- 1911
(весна) В знак протеста против реакционной политики царского министра Кассо в числе большой группы профессоров и преподавателей покинул Московский университет.
- 1911 Участвовал в организации «Общества Московского научного института». Избран членом совета Общества.
- 1911
(декабрь) Избран председателем II Менделеевского съезда. Выступил на съезде с речью «Характерные черты и задачи современной естественнонаучной мысли».
- 1912—1914 Председатель и почетный член Московского общества изучения и распространения физических наук.
- 1913 Председатель I Всероссийского съезда преподавателей физики, химии и космографии, где выступил с последней публичной речью «Эволюция физических наук и ее идейное значение».
- 1913 Избран почетным членом Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии.
- 1915
(10 октября) Николай Алексеевич Умов скончался.
- 1915
(2 января)

Именной указатель

- Авенариус М. П. 11, 12
Ампер А. М. 107, 108
Аррениус С. 63
Ауэрбах Ф. 150, 151
- Бачинский А. И. 30, 31, 35, 48, 54, 58, 74, 75, 140, 141, 258, 274, 290
Белинский В. Г. 7, 18, 24
Белый Андрей 68, 291
Бидлингмайер Ф. 206, 207
Био Ж. Б. 107
Биркеланд К. 148
Болховитинов В. 20, 45
Бредихин Ф. А. 19
Бредиг Г. 215
Бугаев Н. В. 19, 22, 23, 62, 121
- Ван-дер-Ваальс Я. Д. (мл.) 177—179
Вебер В. Э. 28, 107, 118
Вейнберг Я. И. 17
Веденева Н. Е. 236, 238
Вериго А. А. 28, 40
Вернадский В. И. 71
Вин В. 110, 124—126, 129, 148—151, 154—157, 161—164
Вольтерра В. 124, 149, 161
Воронков Г. П. 220, 230—233
Вяльцев А. Н. 110
- Гаусс К. Ф. 181—183, 189, 196, 202, 203, 207, 251
Гельм Г. 149, 274
Гельмгольц Г. 34, 35, 46, 100, 108—111, 118, 142, 169, 286
Герц Г. 109, 110, 116, 142, 162—164, 287
Герцен А. И. 7, 17
Голицын Б. Б. 12, 45, 46
Гольдгаммер Д. А. 11, 12, 69
Григорьян А. Т. 110
Грум-Гржимайло С. В. 236—238
- Давидов А. Ю. 19, 22, 27, 95
Дарвин Ч. 60, 264
Декарт Р. 272, 279, 307,
Де-Метц Г. Г. 39, 43, 67
Добролюбов Н. А. 7
- Дюамель Ж. 76—79, 83, 84, 95
Дювернуа Н. Л. 28, 29
- Зелинский Н. Д. 71, 72
Златовратский Н. Н. 58, 220
- Жуковский Н. Е. 20, 57, 243
- Иваненко Д. Д. 6, 118, 119, 141, 180
- Каган В. Ф. 21, 27, 291
Карастелев К. И. 33, 34, 145
Кессених В. Н. 6, 118, 141
Кирхгоф Г. 28, 35, 111—114, 132, 133, 160, 251, 252, 266
Клаузиус Р. 22, 28, 80, 90, 94
Клебш А. 22, 28
Ковалевский А. О. 8, 28, 34
Компанеев А. И. 17, 21, 278
Коши О. Л. 81
Кравец Т. П. 117, 126, 127, 152, 274
Красуская О. Н. 36, 37
Кудрявцев П. С. 20, 21, 46, 108, 109
Кулаков А. А. 204, 205
Күллон Ш. О. 106, 108
- Лазарев П. П. 10, 11, 20, 21, 36, 60, 61, 225, 226, 274, 293, 294, 300
Ламе Г. 22, 26, 77, 249
Лаплас П. С. 107, 131
Лауэ М. 110, 149, 161, 173, 177—180, 243
Лебедев Н. Н. 98, 100
Лебедев П. Н. 9, 12, 44, 52, 57, 63, 71, 171
Леденцов Х. С. 62
Лейст Э. Х. 181, 183, 195, 196, 207, 269
Ленин В. И. 7, 266, 273, 285, 288
Ленц Э. Х. 11, 169
Лио Б. 233, 236
Липский Ю. Н. 234—236
Лодж О. 68, 116, 147—149, 274
Лоренц Г. А. 240—243, 245, 246
Лукьянов С. М. 261, 262
Любимов Н. А. 19, 27, 55,
Ляв А. 78, 79

- Майер Ю. Р. 169
Максвелл Д. К. 68, 108—111,
131, 143, 161—165, 175, 268, 282
Мандельштам Л. И. 175, 176
Мах Э. 111
Менделеев Д. И. 8, 247, 297
Мензбир М. А. 71, 73
Мечников И. И. 8, 28, 30—32,
44, 60, 62, 69, 70
Ми Г. 110, 117, 124, 125, 133,
138, 147—149, 152, 159—162
Минковский Г. 174
Мпхельсон В. А. 11, 12, 45
- Наврат В. 217, 221
Навье Л. М. 77
Нейман Ф. 76, 77, 81, 83, 84,
94, 95, 100, 102, 103, 107
Ньютон И. 34, 106, 112, 275—
279
- Окатов М. Ф. 35
Оствальд В. 142, 215
- Павлов И. П. 63, 70, 73
Паули В. 172—175
Пирогов Н. И. 8, 128, 301
Пирогов Н. Н. 12
Писарев Д. И. 7
Планк М. 134, 169—173
Покровский Г. И. 220, 230—233
Пойнтинг Д. Г. 125, 134, 139,
143, 147, 148, 166—169, 171
Померанцев А. А. 97, 103
Попов А. С. 12
Порай-Козиц А. Е. 226, 227
Предводителей А. С. 6, 52, 96,
105, 169, 195, 248, 251
Пуанкаре А. 68, 109, 171
- Рахманов Г. К. 32, 68, 69
Рейнольдс О. 176
- Сабинин Е. Ф. 34
Савар Ф. 102, 218, 222, 224, 229
Садовский А. И. 12
Самойлов А. Ф. 47, 48, 50
Сеченов И. М. 8, 28, 30—32,
34, 43, 44, 60, 69, 70, 74
Симонов И. М. 182
Слудский Ф. А. 19, 35, 59, 143
Соколов А. П. 44, 48, 52
Соколов И. И. 299
Сомов И. И. 33, 145
- Столетов А. Г. 8, 11, 12, 19,
20, 27, 35, 42, 45—47, 55, 143
- Тепляков Г. М. 20, 45
Тимирязев А. К. 262
Тимирязев К. А. 8, 46, 62, 69,
70, 71, 297
Толстой Л. Н. 62
Томсон В. 46, 49—51, 79, 80,
89, 90, 94, 99
Томсон Д. Д. 116, 117, 137,
138, 160
Топорев А. С. 238—240
- Ульянин В. А. 12
Умов А. П. 14
Умова (Новпцкая) Е. Л. 29, 30
Усагин И. Ф. 54—57, 65, 291
- Фарадей М. 107, 111, 113, 161,
255, 282
Федоров С. А. 62, 63
Фойхт В. 52, 81, 87, 90, 94,
100—103
Фок В. А. 173, 245
Фосс А. 159, 151,
Френель О. 252, 253, 255
Фридман А. А. 103, 104, 108,
109
- Хвольсон О. Д. 43, 67, 109, 117
259,
Хевисайд О. 116, 125, 147, 152,
153, 162—164
Хмыров Д. Д. 58, 220
- Цингер В. Я. 19, 35
Цингер А. В. 54, 293, 294, 296,
299, 300
- Чаплыгин С. А. 71, 72
Чернышевский Н. Г. 7, 24
Чупров А. И. 23, 26
- Шведов Ф. Н. 27, 33, 40, 95,
145
Шиллер Н. Н. 11, 12, 43, 89, 98
- Щегляев В. С. 11, 57
- Эйнштейн А. 113, 172, 179
Эйхенвальд А. А. 12, 71, 73,
214, 295, 300
Энгельс Ф. 267, 270, 278

Содержание

Введение	5
Жизненный путь Н. А. Умова	7
Условия развития науки в России во второй половине XIX — начале XX в.	7
Детство и юность	14
В Одессе	28
Снова в Москве	44
Последние годы жизни	70
Творческий путь	76
Магистерская диссертация Н. А. Умова «Теория термомеханических явлений в твердых упругих телах»	76
Работы по обоснованию «взаимодействий на расстояниях конечных» с позиций близкодействия	105
Учение о локализации и движении энергии	119
Труды по земному магнетизму	181
Оптические исследования	208
Работы по теории относительности и теории квант	240
Краткий обзор некоторых других научных работ Н. А. Умова	248
Естественнонаучные и философские взгляды Н. А. Умова	259
Педагогические воззрения и деятельность Н. А. Умова	290
Заключение	302
Приложения	305

Дмитрий Данилович Гуло

Николай Алексеевич Умов

*Утверждено к печати
редколлегией научно-биографической серии
Академии наук СССР*

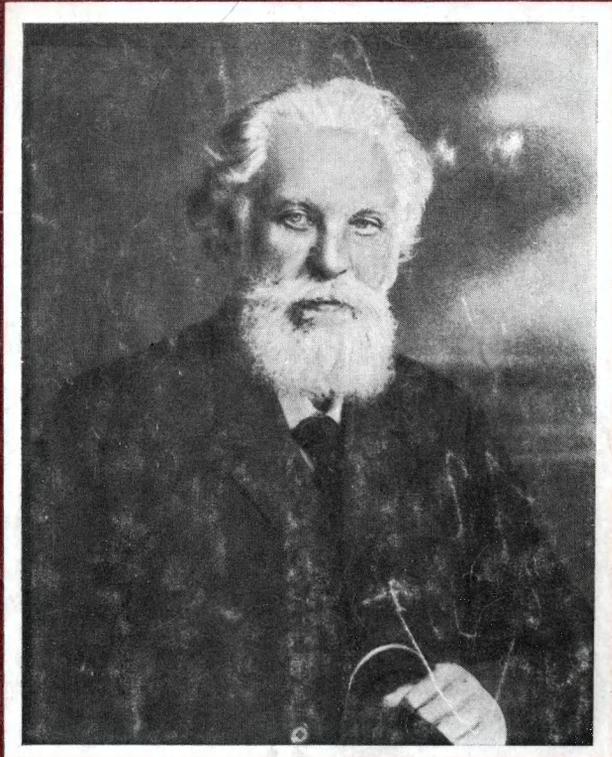
Редактор издательства В. П. Большаков
Художественный редактор В. Н. Тихунов
Художник С. А. Данилов
Технический редактор В. В. Волкова

Сдано в набор 2/II 1971 г. Подписано к печати 3/VI 1971 г.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 2. Усл. печ. л. 16,8. Уч.-изд. 16,1
Тираж 3.300, Тип. зак.1857. Т-09823 Цена 1 р. 01 к.

Издательство «Наука» Москва К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука». Москва Г-90, Шубинский пер., 10

Николай Алексеевич УМОВ

Д. Д. Гуло



Д. Д. Гуло

**Николай Алексеевич
УМОВ**



ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ КНИГА:

КЛЯУС Е. М. и др.

ПАСКАЛЬ

(Научно-биографическая серия)

18 л. 1 р. 40 к.

Имя великого французского ученого и мыслителя Блеза Паскаля (1623—1662) широко известно, однако немногие знают Паскаля так, как он исторически того заслуживает.

Паскаль был математиком, физиком, философом, политическим деятелем и блестящим писателем, оставившим глубокий след во французской литературе. Он — фигура многогранная, сложная, во многом противоречивая, искаженная религиозно-мистическими наслоениями разных эпох. В последнее время в паскалеведении наступила новая фаза, стали известны факты, позволяющие во многом по-новому осветить жизнь и деятельность великого ученого и более тесно установить его связи с наукой новейшего времени.

Книга написана на основе первоисточников (научные трактаты, переписка ученых, мемуарная литература); она популярна, занимательна и рассчитана на самый широкий круг читателей.

Предварительные заказы принимаются всеми магазинами «Академкнига» и книготоргов.

Адреса магазинов «Академкнига»:

- Алма-Ата, ул. Фурманова, 91/97;
 Баку, ул. Джапаридзе, 13;
 Душанбе, проспект Ленина, 95;
 Иркутск, 33, ул. Лермонтова, 303; Киев, ул. Ленина, 42;
 Куйбышев, проспект Ленина, 2;
 Ленинград, Д-120, Литейный проспект, 57;
 Москва, В-463, Мичуринский проспект, 12 (магазин «Книга — почтой»); Москва, ул. Горького, 8 (магазин № 1);
 Москва, ул. Вавилова, 55/7 (магазин № 2);
 Новосибирск, Красный проспект, 51;
 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137;
 Ташкент, Л-29, ул. Ленина, 73;
 Ташкент, ул. Шота Руставели, 43;
 Уфа, Коммунистическая ул., 49; Уфа, проспект Октября, 129;
 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42;
 Харьков, Уфимский пер., 4/6.

Цена 1 р. 01 к.