

[ц и ф р о в о е]
ОСВЕЩЕНИЕ
И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

[d i g i t a l]
LIGHTING &
RENDERING

Jeremy Birn



201 West 103rd St.,
Indianapolis, Indiana, 46290

[ц и ф р о в о е]
ОСВЕЩЕНИЕ
И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Джереми Берн



Москва • Санкт-Петербург • Киев
2003

ББК 32.973.26-018.2.75

Б51

УДК 681.3.07

Издательский дом "Вильямс"

Зав. редакцией *С.Н. Тригуб*

Перевод с английского и редакция *И.В. Берштейна*

По общим вопросам обращайтесь в Издательский дом "Вильямс" по адресу:
info@williamspublishing.com, http://www.williamspublishing.com

Берн, Джереми.

Б51 Цифровое освещение и визуализация. : Пер. с англ. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. — 330 с. (плюс 24 с. цв. ил.) : ил. — Парал. тит. англ.

ISBN 5-8459-0500-1 (рус.)

Настоящая книга содержит сведения из самых разных областей, благодаря которым читатель будет иметь ясное представление об освещении трехмерных сцен и о визуализации их изображений. В ней рассматриваются понятия и методы, применяемые в профессиональной киносъемке и традиционных изобразительных искусствах, а также приводятся практические советы из личного опыта автора по созданию графической продукции, с необходимыми простыми пояснениями сути представленных методов и приемов освещения и визуализации. Книга расширяет представление о таких известных понятиях, как свет, тени, цвет, экспозиция применительно к освещению, работе с виртуальной камерой, постановке и визуализации трехмерных сцен.

Книга рассчитана на широкий круг читателей: от начинающих дизайнеров, аниматоров и до тех, кто стремится повысить свой профессиональный уровень и просто интересуется трехмерной графикой, анимацией и мультимедиа.

ББК 32.973.26-018.2.75

Все названия программных продуктов являются зарегистрированными торговыми марками соответствующих фирм.

Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения издательства New Riders Publishing.

Authorized translation from the English language edition published by New Riders Publishing
Copyright © 2000

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Russian language edition published by Williams Publishing House according to the Agreement with
R&I Enterprises International, Copyright © 2003

ISBN 5-8459-0500-1 (рус.)
ISBN 1-56205-954-8 (англ.)

© Издательский дом "Вильямс", 2003
© New Riders Publishing, 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Введение	15
Глава 2. Процесс освещения	23
Глава 3. Трехточечная схема освещения	55
Глава 4. Тени	85
Глава 5. Свойства света	113
Глава 6. Цвет	137
Глава 7. Экспозиция	173
Глава 8. Композиция и постановка	199
Глава 9. Материалы и алгоритмы визуализации	223
Глава 10. компоновка	293
Предметный указатель	325

СОДЕРЖАНИЕ

Об авторе	13
Благодарности автора	13
Благодарности издательства New Riders	14
Глава 1. Введение	15
Киносъемка	15
Классические формы изобразительных искусств	16
Техническая подготовка	17
Производственные методы	18
Кому адресована эта книга	18
Требования к программному обеспечению	19
Программное обеспечение трехмерной визуализации	19
Программное обеспечение двумерной графики	20
Творческий контроль	21
Глава 2. Процесс освещения	23
Итак, приступаем	23
Настройка монитора	24
Начинать следует с полной темноты	25
Проблема общего освещения	26
Альтернативы общему освещению	28
Ввод источников света	28
Точечные (всенаправленные) источники света	29
Прожекторы	30
Направленные источники света	32
Поверхностные источники света	34
Сферические поверхностные источники света	35
Плоские поверхностные источники света	35
Линейные источники света	36
Модели, служащие в качестве источников света	37
Проверка источников света	37
Раздельная проверка источников света	38
Источники света с ложной окраской	40
Просмотр вариантов освещения путем быстрого листания	41
Настройка освещения с использованием программы раскраски или компоновки	42
Освещение в условиях производства	44
Комплексные задачи	44
Геометрическая форма	45
Затенение	47
Процесс исправления и уточнения	48
Готовность к критике	48

Организованность	49
Заметки по поводу критических замечаний	50
Защита собственных работ	51
Экспериментирование	52
Глава 3. Трехточечная схема освещения	55
Моделирование с помощью освещения	55
Три точки освещения	59
Источник направленного света	61
Источник заливающего света	68
Соотношение направленного и заливающего света	72
Малое соотношение направленного и заливающего света	73
Большое соотношение направленного и заливающего света	75
Задняя подсветка	78
Визуализация задней подсветки	79
Резюме	82
Упражнения	83
Глава 4. Тени	85
Визуальные функции теней	86
Определение пространственных соотношений	86
Выявление альтернативных ракурсов	86
Совершенствование композиции	87
Повышение контраста	88
Обозначение пространства за кадром	88
Объединение отдельных элементов сцены	88
Выбор источника света для формирования теней	89
Сцены с одной тенью	89
Тени от источников заливающего света	90
Беспорядок, вносимый тенями	91
Исключение теней	92
Области тени	93
Яркость тени	94
Параметр окраски тени	95
Осветление теней общим освещением	96
Осветление теней заливающим светом	97
Алгоритмы формирования теней	98
Скорость визуализации	99
Типы источников света	99
Имитация прозрачности теней	100
Разрешение	101
Мягкость тени	104
Имитация теней	105
Ввод источника света отрицательной яркости	105
Применение трехмерных моделей в качестве теней	107
Сокращение потребностей в тенях	108

Теневые источники света	109
Возможные варианты применения теневых источников света	109
Имитация теневых источников света	110
Когда уместна имитация теней	111
Упражнения	111
Глава 5. Свойства света	113
Описание света	113
Мягкость света	114
Степень резкости или мягкости света	115
Визуализация мягкого света	116
Поверхностные источники света	117
Имитация поверхностных источников света	117
Визуальные признаки мягкого света	119
Сила света	121
Затухание	123
Затухание в компьютерной графике	124
Затухание по закону обратных квадратов	124
Линейное затухание	124
Отсутствие затухания	125
Сохранение количества света	126
Окраска света	127
Проекция света	128
Создание проецируемых рисунков с помощью карт текстур	129
Экраны и затенители	130
Эффекты проецируемых рисунков	131
Анимация света	132
Перемещение источника света	132
Анимация параметров источника света	134
Анимация затенителей	135
Упражнения	136
Глава 6. Цвет	137
От живописи к цифровому искусству	137
Аддитивное смешение цветов	138
Субтрактивное смешение цветов	138
Насыщенность	140
Цветовые схемы	140
Цветовой контраст	141
Дополнительные цвета	141
Исключительность цвета	142
Значение цвета	142
Ассоциации культурного характера	142
Общие ассоциации	143
Контекстные ассоциации	144
Цвет и глубина	145

Теплые и холодные цвета	145
Насыщенность	146
Цвет и темнота	146
Разбавление	147
Голубой заливающий свет	147
Черное и белое	147
Окраска черно-белых изображений	150
Цветовой баланс	151
Цветовая температура	152
Цвета наружного освещения	155
Цвета внутреннего освещения	156
Выбор пленки для съемки внутри и вне помещения	158
Другие способы установки цветового баланса	159
О применении программного обеспечения, не поддерживающего установку цветового баланса	161
Цвет RGB	163
Спектр	163
Спектральная чистота	165
Цифровое представление цвета	166
Резюме	169
Упражнения	170
Глава 7. Экспозиция	173
Гистограммы и общие недостатки экспонирования	173
Передержка	175
Недодержка	176
Любительский мрак	177
Оптические эффекты и недодержка	178
Полосатость	178
Малый контраст	180
Большой контраст	181
Ограничение	182
Гамма-коррекция	184
Имитация настоящих камер	186
Измерение	187
Апертура	187
Диафрагма	188
Глубина резкости	188
Светочувствительность пленки	190
Движение и частота кадров	191
Выдержка	191
Размытость движения	192
Поля видеокadra	193
Другие факторы, влияющие на экспозицию	196
Упражнения	197

Глава 8. Композиция и постановка	199
Виды съемки	199
Планы съемки	200
Разводка по оси Z	202
Встречная съемка	202
Средний план двух актеров	202
Съемка через плечо	203
Углы расположения камеры	204
Линия действия	204
Съемка под большим и малым углом	206
Перспектива	206
Съемка с точки зрения	208
Движения камеры	210
Кадрирование	212
Правило третей	213
Положительное и отрицательное пространство	213
Графический вес	215
Кадрирование для кинематографа и телевидения	216
Форматы кадра и пленки	216
Адаптация для телевидения	218
Вывод за край экрана	220
Упражнения	221
Глава 9. Материалы и алгоритмы визуализации	223
Затенение поверхностей	223
Распространение рассеянного и зеркально отраженного света	224
Зависимость от вида	226
Реалистичная зеркальность	227
Размер подсветки	228
Зеркальный цвет	229
Анизотропные подсветки	230
Эффект Френеля	231
Многочисленные подсветки	232
Нормали поверхности	233
Скосы	234
Оконечный элемент	235
Текстуры	236
Основные методы проецирования	236
Проецирование цвета	237
Проецирование зеркальности	239
Проецирование светимости	241
Проецирование прозрачности	242
Проецирование усечения	244
Проецирование рельефности	245
Проецирование смещения	247
Другие методы проецирования	247

Раскраска карт	248
Выравнивание с помощью планарных проекций	250
Выравнивание с помощью непланарных проекций	250
Пропорциональные карты	252
Неявные координаты UV	253
Явные координаты UV	256
Получение карт из настоящих поверхностей	257
Рекомендации по съемке	257
Сканирование текстур	260
Мозаичные карты	263
Переводные рисунки и загрязнение	264
Процедурные текстуры	267
Независимость от разрешения	267
Сплошные текстуры	268
Преобразование в карты	268
Древовидные структуры затенения	269
Эффективность визуализации	270
Трассировка лучей	271
Отражения, трассированные лучами	272
Окружающая среда	273
Мягкие отражения	274
Тени	276
Прозрачность и преломление	276
Глубина трассировки лучей	278
Глобальное освещение	280
Метод излучательности	281
Фотонное проецирование	282
Каустика	284
Имитируемая излучательность	287
Глобальное освещение и анимация	289
Выбор наиболее предпочтительного метода	290
Упражнения	291
Глава 10. Компоновка	293
Визуализация слоями	293
Визуализация в несколько проходов	296
Проход визуализации картинки	297
Проход визуализации подсветок	298
Проходы визуализации отражений	300
Компоновка отражений	301
Добавление отражений к реальным объектам	302
Проходы визуализации теней	303
Привязанные тени	304
Сдвоенные тени	305
Проходы визуализации освещения	306
Проходы визуализации эффектов	308

Оптические эффекты	308
Эффекты частиц	308
Проход визуализации глубины	310
Типы карт глубин	310
Применение карт глубин	311
О происхождении понятия проходов визуализации	312
Средства организации проходов визуализации	313
Согласование освещения с рирпроекционным фоном	315
Образцовые шары и светопробы	315
Матовые шары	315
Зеркальные шары	317
Изображения светопробы	317
Другие методы	318
Совместная работа с компоновщиком	320
Упражнения	322
Заключение	324
Предметный указатель	325

Моим родителям

ОБ АВТОРЕ

Джереми Берн (Jeremy Birn) — художник, преподаватель и автор книг по трехмерной графике и анимации. В настоящее время он работает техническим постановщиком на студии Tippett Studio в Беркли, шт. Калифорния. Джереми Берн получил степень магистра изящных искусств в области кинематографии, окончив колледж дизайна при Центре искусств в Пасадене, шт. Калифорния, и теперь профессионально занимается освещением и визуализацией кадров съемки для кинофильмов и телевизионных программ. К последним его работам относится создание визуальных эффектов для фильма “Эволюция” (*Evolution*). В своей работе он пользуется самыми разными программами, в том числе Renderman (компания Pixar), Maya (компания Alias) | Wavefront, Softimage | XSI (компания Avid) и Mental Ray (компания Mental Images). Познакомиться с работами Джереми и связаться с ним можно, обратившись на его персональный Web-узел по адресу www.3dRender.com.

БЛАГОДАРНОСТИ АВТОРА

Мысль написать эту книгу возникла у меня после выхода в издательстве New Riders книги *[digital] Character Animation ([цифровая] анимация персонажей)* Джорджа Маэстри (George Maestri), положившей начало данной серии. Обратив внимание на то, как удачно автору удалось изложить искусство трехмерной анимации безотносительно к конкретной программе, мне показалось, что я тоже смогу написать в аналогичном ключе книгу, посвященную другим творческим аспектам трехмерной анимации. И я с удовольствием откликнулся на предложение редакции издательства New Riders взяться за такую книгу, тем более что она должна была войти в основанную Джорджем Маэстри серию “*[цифровое]*”, причем сам Джордж редактировал все главы настоящей книги.

Другим редактором книги является Дэн Эблан (Dan Ablan), щедро поделившийся со мной своим богатым опытом постоянного автора издательства New Riders, в том числе книги *[digital] Cinematography & Directing* (*[цифровая] съемка и режиссура*), и проверивший всю терминологию, использованную мной, исходя из личного опыта работы с программами Softimage и Maya, с тем чтобы она была понятна пользователям программы LightWave.

При написании примечаний к программному обеспечению и указании Web-ссылок я воспользовался безграничными ресурсами Internet, прибегнув, в частности, к помощи постоянных участников дискуссионной группы на Web-узле по адресу www.3dRender.com.

Так, Хенрик Ванн Йенсен (Henrik Wann Jensen, www.graphics.stanford.edu/~henrik/), один из первооткрывателей фотонного проецирования, оказал мне большую помощь в редактировании пояснений к алгоритмам визуализации и методам глобального освещения, приведенным в главе 9.

Два художника, Джереми Инглмен (Jeremy Engleman, www.art.net/~jeremy) и Эни Окен (Eni Oken, www.oken3d.com), работы которых в Web мне особенно импонируют, любезно предоставили свои произведения для публикации в этой книге наряду с дополнительными моментальными снимками экрана и необходимыми пояснениями, дающими представление о том, как они создавали свои работы.

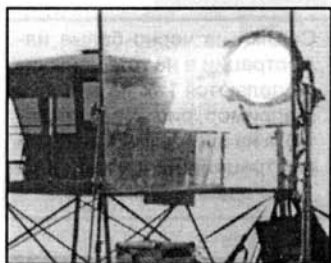
Большая часть иллюстраций к настоящей книге была визуализирована мной на рабочей станции Intergraph TDZ 2000. Некоторые из моих ранних работ (изображения, сцены и модели) были созданы в лаборатории SGI колледжа дизайнера при Центре искусств в Пасадене, а ряд других изображений визуализирован в Калифорнийском институте искусств в Валенсии.

И, наконец, особой признательности заслуживают сотрудники издательства New Riders за проявленное терпение в ходе работы над этой книгой, правильное решение напечатать иллюстрации к книге в цвете и неутомимый труд над изданием, которое, я надеюсь, станет популярным и достопамятным.

БЛАГОДАРНОСТИ ИЗДАТЕЛЬСТВА NEW RIDERS

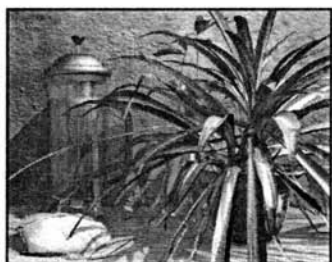
Издательство New Riders хотело бы выразить особую благодарность автору Джереми Берну за прекрасно написанную книгу. Возможно, для работы над этой книгой автору потребовалось больше времени, чем обычно, однако результат, безусловно, того стоит.

Кроме того, издательство New Riders хотело бы поблагодарить редактора серии "*[цифровое]*" Джорджа Маэстри за его неизменную поддержку и увлеченность данной серией.



ВВЕДЕНИЕ

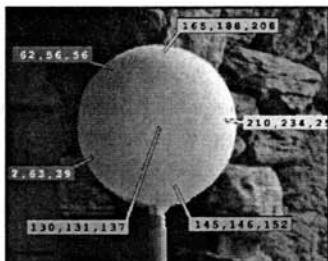
В настоящей книге представлены сведения из самых разных областей, с тем чтобы дать читателю более ясное представление о возможностях визуализации трехмерных сцен. В книге изложены также принципы и методы, применяемые в профессиональной киносъемке и традиционных изобразительных искусствах, и приведены практические советы по созданию графической продукции с необходимыми простыми пояснениями сути представленных методов и приемов.



КИНОСЪЕМКА

Для того чтобы извлечь максимум пользы из свойств виртуальной камеры и источников света в трехмерной сцене, полезно изучить методы, разработанные и применяемые профессиональными кинооператорами при съемке традиционных фильмов. В настоящей книге представлены многие принципы и методы киносъемки, позволяющие ответить на следующие вопросы.

- Как воспроизвести различные свойства и цветовые температуры естественных источников света (глава 5)?
- Как применять в трехмерных сценах принципы и методы, выработанные художниками по свету на киностудиях (глава 3)?
- Как симитировать процесс экспонирования в настоящей камере и естественные побочные эффекты выдержки при съемке (глава 7)?



Ссылки на черно-белые иллюстрации в настоящей книге делаются как на рисунки (например, рис. 2.1 — в тексте), а на цветные — как на иллюстрации (например, илл. 1.1 — в цветной вклейке).

При переходе в новую среду художникам приходится не только брать на вооружение методы и приемы из старой среды, но расти и развиваться как творческим личностям. Так, несмотря на важность методов кино съемки, было бы ошибкой считать визуализацию трехмерных сцен лишь компьютеризированной формой этого вида искусства. В настоящей книге поясняются многие ситуации, в которых имитация условий освещения на обычной съемочной площадке не позволяет добиться аналогичных результатов. Кроме того, здесь представлены многие методы, которые просто невозможно реализовать в традиционной киносъемке.

После изобретения кинематографа создателям фильмов потребовался не один десяток лет на выработку кинематографических правил, которые теперь воспринимаются как само собой разумеющиеся условия создания добротных фильмов. По мере развития кинопроизводства операторы стали в большей степени опираться на принципы, столетиями существовавшие в живописи и графике. Многие недостатки ранних фильмов объясняются тем, что их операторы не имели надлежащей подготовки в других формах изобразительных искусств.

Аналогично раннему кинематографу, произведения компьютерной графики зачастую создаются техническими специалистами, а не художниками, поэтому отличия в работах одних и других видны невооруженным глазом. В самом деле, один лишь опыт работы с программой трехмерной графики не может превратить ее пользователя в художника, так же, как работа с текстовым редактором, нельзя стать писателем. Подобно тому, как писателю необходимо знать, что сказать, художнику, занимающемуся трехмерной графикой, следует знать принципы композиции, освещения и затенения создаваемой сцены. К счастью, представители компьютерной графики, этой относительно новой формы искусства, могут воспользоваться знаниями и опытом, накопленными в кинематографе и классических формах изобразительных искусств.

КЛАССИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫХ ИСКУССТВ

Классические формы изобразительных искусств, в особенности живопись и графика, могут служить неисчерпаемым источником правил, условий и предпо-

в ней предпринята попытка дать простое объяснение многим методам и алгоритмам визуализации изображений, применяемым в программах трехмерной графики и анимации. Ведь для того чтобы полностью контролировать рабочую среду, необходимо иметь ясное представление о принципе ее действия, а для нарушения установленных в ней правил следует хорошо изучить эту среду.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ

В реальных условиях производства графической продукции работать приходится быстро и эффективно, имея при этом дело с клиентами, начальством и коллегами. Материал настоящей книги основан на личном опыте автора по созданию графической продукции профессионального уровня, что дает возможность ответить на следующие вопросы.

- Как организовать эффективную работу с клиентами по созданию трехмерных визуализированных изображений, способных удовлетворить как исполнителя, так и заказчика (глава 2)?
- Как применять многослойную и многопроходную визуализацию для предоставления компоновщику наиболее универсальных элементов изображения (глава 10)?
- Какие приемы необходимы для максимально реалистичного проецирования текстур, исходя из свойств настоящих поверхностей (глава 9)?
- Какие методы более всего эффективны для объединения визуализированных цифровых изображений с отснятыми реальными сценами и как подготовить место съемки для согласования условий освещения (глава 10)?

Представленные здесь сведения о методах производства графической продукции профессионального уровня окажутся полезными как для профессионалов, так и для начинающих художников и вообще любителей компьютерной графики и анимации.

КОМУ АДРЕСОВАНА ЭТА КНИГА

Эта книга предназначена для тех, кто владеет основами работы с программными пакетами трехмерной визуализации и заинтересован в расширении своих

знаний в области визуализации трехмерных сцен. В частности, настоящая книга рассчитана на следующие категории пользователей.

- Профессиональные пользователи программ трехмерной визуализации, включая художников, аниматоров и технических постановщиков трехмерной анимации, которым приходится разрешать многие затруднения, возникающие в реальных условиях производства, а также требуется повысить профессиональный уровень своих работ.
- Лица, изучающие компьютерную графику на промежуточном и повышенном уровне и испытывающие потребность в освоении практических приемов работы в условиях производства.
- Любители трехмерной графики и анимации, которые стремятся улучшить качество своих трехмерных визуализированных сцен и ознакомиться с профессиональными методами создания графической продукции.

Материал настоящей книги излагается в ясной, но не снисходительной манере. Все термины поясняются в ней при употреблении в первый раз, причем каждое понятие или метод подкрепляется иллюстрациями и примерами визуализированных сцен. Тем не менее эта книга служит не в качестве введения в трехмерную графику, а дополнения к руководствам и справочным системам соответствующего программного обеспечения.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Настоящая книга не привязана к конкретному программному обеспечению. Она посвящена искусству, методам и принципам, которые могут с успехом применяться к визуализируемым трехмерным графическим работам независимо от выбранного программного обеспечения трехмерной визуализации.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Все свойства, функции и алгоритмы визуализации описаны в настоящей книге безотносительно к конкретному программному обеспечению. Эта книга рассчитана на читателя, который предполагает расширить

свой кругозор, не ограничиваясь только свойствами выбранного им программного обеспечения. Ведь несмотря на различие свойств разных программ, в методах создания хорошо освещенных визуализированных сцен значительно больше сходства, чем различия, а значит, представленный в этой книге материал, окажется полезным для пользователей самых разных программных пакетов трехмерной визуализации.

Среди профессиональных пользователей программ трехмерной графики и анимации бытует мнение: «Важна не сама программа, а то, как она используется». Если работа по текстурированию, освещению и компоновке трехмерной визуализированной сцены выполнена профессионально, никого не интересует, какое программное обеспечение было для этого использовано (дорогое или недорогое), ибо главное — это результат. С другой стороны, если не работать с освещением, вообще не думать о цветовых схемах и полагаться в отношении теней и композиции на волю случая, то даже самое совершенное программное обеспечение не поможет создать приличное визуализированное изображение. Естественно, что лучше обладать и тем и другим, т.е. быть опытным пользователем наиболее эффективных профессиональных инструментальных средств — это идеал, к которому стремятся многие.

Методы, принципы и схемы, подробно рассматриваемые в настоящей книге, вполне применимы в любом программном пакете трехмерной визуализации. Представленные здесь конкретные свойства и термины тщательно отредактированы с учетом разных программ и применяемых платформ. Для достижения каждого описываемого здесь эффекта в большинстве случаев приводятся разные подходы или приемы. Таким образом, освоив основные приемы изобразительных искусств и принципы компьютерной графики, касающиеся визуализации, а также некоторые методы решения проблем творческого характера, читатель может создавать отличные работы, пользуясь практически любыми программными пакетами визуализации.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДВУХМЕРНОЙ ГРАФИКИ

Помимо программного обеспечения трехмерной визуализации, для завершения многих процессов проецирования текстур, анализа гистограмм и компоновки, описанных в настоящей книге, требуются также про-

граммы раскраски, компоновки и обработки двухмерных изображений.

Любой программный пакет трехмерной графики и анимации должен быть дополнен программами двухмерной графики, позволяющими по крайней мере создавать карты текстур и манипулировать ими. В идеальном случае такая программа должна поддерживать формирование и отображение гистограмм, обработку изображений с помощью фильтров, компоновку неподвижных или подвижных изображений.

Из этой книги можно узнать о некоторых распространенных в данной области программах и их особенностях, однако настоящая книга посвящена не конкретному программному обеспечению, а тому, что оно позволяет создавать.

ТВОРЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Регулярно обедая в рыбных ресторанах, можно извлечь следующий урок: *если рыбное блюдо пахнет рыбой, значит, рыба некачественная*. Аналогичный принцип применим и в компьютерной графике: *если созданная работа похожа на компьютерную графику, значит, это некачественная компьютерная графика*.

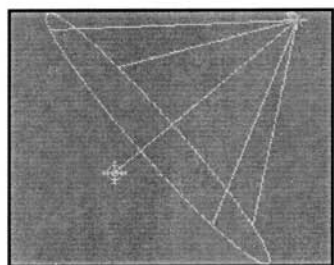
Когда изображение хорошо освещено и визуализировано, технология, применяемая для его создания, не привлекает к себе внимания. Зрители обращают внимание только на привлекательное изображение, реалистичную сцену или совершенно новый изобразительный стиль. При просмотре качественно визуализированного изображения тот факт, что оно было сформировано на компьютере, как правило, не сразу приходит на ум зрителю.

Если художник действительно контролирует процесс трехмерной визуализации, зритель распознает в первую очередь почерк автора, а не тот отпечаток, который накладывает на изображение компьютеризированный характер его формирования.

Назначение настоящей книги состоит в том, чтобы помочь читателю научиться контролировать процесс освещения и визуализации таким образом, чтобы каждый аспект визуализированного изображения стал результатом продуманного и осознанного решения. Каждая глава этой книги посвящена вопросам и особенностям освещения и визуализации трехмерных сцен. Здесь показано, как это делается на практике и как добиться еще лучших результатов.

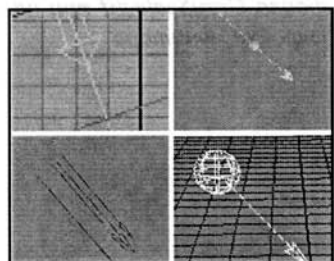
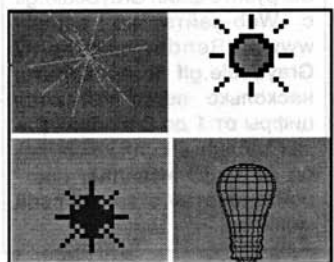
2

ГЛАВА



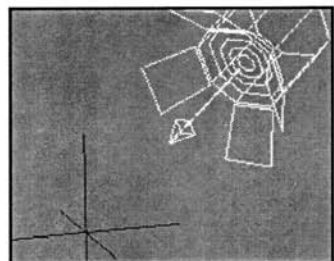
ПРОЦЕСС ОСВЕЩЕНИЯ

Отличных результатов визуализации можно добиться путем произвольного экспериментирования, благодаря случайному стечению обстоятельств либо вследствие принятых в последний момент решений и видоизменений. Но чаще всего наилучшие результаты визуализации получаются при полном контроле над соответствующим программным обеспечением и при наличии тщательно проработанной последовательности операций, позволяющей постоянно выполнять работу на высоком профессиональном уровне. Выбранная последовательность операций представляет собой ряд выработанных привычек и процессов компоновки, проверки и исправления результатов визуализации в профессиональной среде. В этой главе рассматривается основная последовательность операций, направленная, главным образом, на сохранение контроля за освещением.



ИТАК, ПРИСТУПАЕМ

В хорошо освещенной сцене используются все тона выбранной палитры цветов. Если же источники света находятся под полным контролем и используются лишь на ограниченных участках и поверхностях сцены, это дает возможность визуализировать в сцене самые разные тона, включая светлые и темные оттенки. Для воспроизведения всех тонов необходимо настроить сначала цветной монитор таким образом, чтобы он отображал всю выбранную палитру цветов, а затем используемую программу, дабы избавиться от любого неконтролируемого света.



НАСТРОЙКА МОНИТОРА

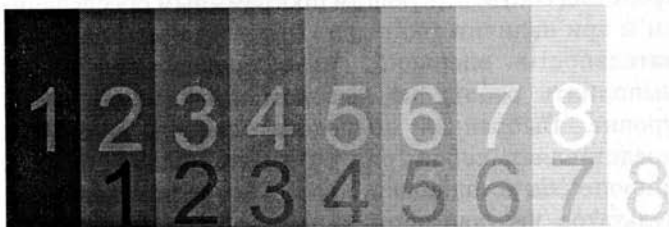
Если монитор настроен неверно, сцена может оказаться недостаточно освещенной либо, наоборот, чрезмерно освещенной при использовании одних и тех же оттенков из доступной палитры цветов. Некоторые пользователи допускают ошибку, настраивая сначала свои мониторы на воспроизведение очень темных тонов, а затем используя доступную палитру цветов лишь на 25% (а то и меньше).

Прежде чем приступить к освещению, следует убедиться в правильности отображения сцены на мониторе. И хотя трудно найти два монитора, совершенно одинаково отображающих одно и то же изображение, такая проверка позволит по крайней мере убедиться в том, что монитор удовлетворяет самым минимальным требованиям, т.е. на мониторе должны быть видны по крайней мере отличия между всеми оттенками серого. Яркость и контрастность многих мониторов настраивается таким образом, чтобы не были видны первая и последняя цифры в таблице, приведенной на рис. 2.1.

НА ЗАМЕТКУ

Загрузите файл GrayScale.gif с Web-сайта по адресу www.3dRender.com/light/GrayScale.gif и проверьте, насколько легко читаются цифры от 1 до 8 в обоих рядах таблицы. Если какая-либо из цифр невидна, настройте соответственно свой монитор.

Рис. 2.1. Вид содержимого файла GrayScale.gif при настройке монитора



НА ЗАМЕТКУ

Если для настройки монитора используется программа Adobe Photoshop, перейдите в диалоговое окно RGB Setup с помощью команды Color Settings⇒RGB Setup (Параметры цвета⇒Установка RGB), выберите вариант Monitor RGB (RGB-монитор) в раскрывающемся списке RGB и сбросьте флажок Display Using Monitor Compensation (Отображение с учетом компенсации монитора). В диалоговом окне Profile Setup (Установка профиля) выберите вариант Ignore (Игнорировать) из раскрывающегося списка RGB, расположенного в области Profile Mismatch Handling (Порядок обработки при несоответствии профиля).

В некоторых программах имеются собственные средства цветовой коррекции, в результате применения которых изображение в самой программе имеет иной вид, чем в окне другого приложения. В таком случае рекомендуется выключить автоматическую цвето-

вую коррекцию, создающую подобные отличия, и тем самым исключить смещение цветов при просмотре визуализированных изображений и карт текстур в разных приложениях.

Способность различать все оттенки серого на мониторе считается самым элементарным требованием. Если визуализация выполняется для вывода на конкретный носитель (в частности, на пленку, видеоленту или бумагу на цветном принтере), изображение требует специальной настройки для предварительного просмотра его фактического вида на носителе окончательного результата.

Несмотря на отличия в средствах настройки компьютерных мониторов, программном обеспечении согласования цветов и видеоплатах, основной метод калибровки монитора пригоден для большинства систем. Так, для калибровки монитора по конкретному устройству вывода следует сначала вывести или распечатать на этом устройстве пробное изображение, содержащее как можно больше тонов и цветов, а затем отобразить пробное изображение на своем мониторе и сравнить отображаемый результат с полученной копией изображения, настраивая тона и цвета до тех пор, пока изображение на мониторе не окажется как можно более точно согласованным с окончательным результатом.

Если же способ окончательного вывода созданной работы точно неизвестен, приведенная выше калибровка монитора вряд ли окажется возможной перед визуализацией. В таком случае придется воспользоваться программой раскраски или обработки изображений для точной настройки полученных после визуализации изображений с целью их последующего вывода на конкретный принтер или устройство записи на пленку.

Начинать следует с полной темноты

Для контроля освещения начинать рекомендуется с полной темноты, чтобы затем продуманно вводить в сцену освещение. При съемке фильма на натуре возможность начать освещение с полной темноты представляется далеко не всегда, поскольку в окружающей среде всегда имеется некоторое естественное освещение. Но, к счастью, цифровая среда подобна хорошо оборудованной студии звукозаписи, и поэтому в ней можно без особого труда начать освещение с совершенной темноты, полностью контролируя его. Для этого

достаточно выключить все источники света в сцене, в том числе и стандартное или общее освещение, лишая возможности полностью управлять освещением каждого участка изображения в отдельности.

ПРОБЛЕМА ОБЩЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Параметр, называемый *общим освещением* (*ambience, ambient light*) или *глобальным окружающим освещением* (*global ambience*) в большинстве программ, представляет собой нереальный эффект, имеющий мало общего с реальным эквивалентом и способный помешать полному контролю над освещением сцены.

В реальном мире общее освещение образуется широко распространяемым светом, отражаемым от находящихся на сцене объектов или проходящим сквозь них. Общему освещению подлежат даже те участки, которые не освещены непосредственно другим источником света. Затененные участки комнаты иногда становятся видимыми только благодаря общему освещению. Свет, создающий общее освещение, всегда окрашен, поскольку он отражается от окружающей среды и придает различную окраску разным сторонам объектов в зависимости от цветов, воспринятых от окружающей среды. Яркость настоящего общего освещения меняется в разных местах окружающей среды и придает различные оттенки объектам, освещенным под разными углами.

В программах трехмерной графики и анимации под термином “общее освещение” подразумевается лишь величина равномерной яркости, которую получают находящиеся на сцене объекты, благодаря чему они видны даже в тех местах, где их не освещает источник света. Это обычно делается без какого-либо учета оттенка или направления отраженного света, в результате чего получается равномерно распределенное нереалистичное затенение. Общее освещение придает одинаковую окраску и яркость всем сторонам объекта независимо от его положения. Незатененное общее освещение можно наблюдать в области тени слева на рис. 2.2. Обратите внимание на нижнюю правую часть шара. В области, освещенной только общим освещением, впадины вообще не видны, поскольку такое освещение не дает теней в зависимости от угла расположения поверхности объекта.

Как правило, общее освещение лишает сцену богатства и разнообразия, особенно на тех ее участках, кото-

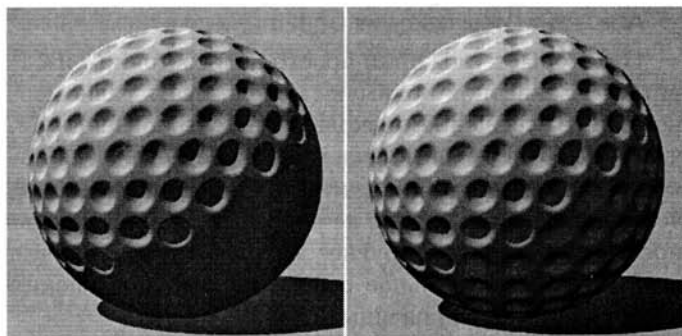


Рис. 2.2. Общее освещение (слева) создает нереалистичный эффект, лишаящий сцену необходимой глубины и затенения

рые не освещены другими источниками света. Поэтому для полного контроля над освещением сцены и более качественного затенения общее освещение целесообразно отключать. Если же выбирать окраску для общего освещения, то для него лучше всего подойдет черный цвет. Благодаря этому сцена освещается только теми источниками света, которые специально в ней размещены и находятся под полным контролем.

НА ЗАМЕТКУ

Исключением из общего правила служит программное обеспечение компании Alias | Wavefront, где источник света, называемый "общим", может создавать затенение в зависимости от своего положения. Если общее затенение полностью активизировано, источник общего света функционирует аналогично точечному источнику света, за исключением того, что он не вызывает зеркальные подсветки. И только если общее затенение не используется, такой источник света создает проблемы ровного общего освещения. А при наличии общего затенения из него может получиться отличный источник заливающего света.

После отключения общего освещения трехмерная сцена может быть освещена с использованием всех тонов, доступных при съемке сцены на пленку. В сценах, снимаемых на пленку, могут быть использованы все тона от совершенно черного до чисто белого — единственное ограничение накладывает лишь фотографическая широта материала пленки. Благодаря такому уровню контраста некоторые участки снятого на пленку изображения становятся черными там, где света оказывается слишком мало при выбранной экспозиции сцены. Общее освещение трехмерной сцены лишает возможности оставить совершенно неосвещенным ее участок, поскольку такое освещение равномерно распределяется по всей сцене.

НА ЗАМЕТКУ

Более подробно об экспозиции трехмерной сцены речь пойдет в главе 7.

АЛЬТЕРНАТИВЫ ОБЩЕМУ ОСВЕЩЕНИЮ

Некоторые художники просто не в состоянии избавиться от скверной привычки использовать равномерное общее освещение, поскольку они обеспокоены тем, что без него отдельные участки их сцен окажутся совершенно темными. Они считают, что небольшое количество общего освещения не повредит. В действительности существуют другие методы, позволяющие вводить вспомогательное освещение для повышения качества визуализированных сцен.

Многие художники вводят в сцену собственные *источники заливающего света (fill lights)* для вспомогательного освещения, которое оказывается контролируемым в большей степени, чем общее. В качестве источника заливающего света может служить любой источник, в том числе прожектор или направленный источник света, который выбирается менее ярким, чем основной источник света, и применяется для того, чтобы сделать более ярким неосвещенный участок сцены. Правая сторона шара на рис. 2.2 освещена рядом источников заливающего света, которые придают поверхности шара более богатое и реалистичное затенение и разнообразие окраски, чем общее освещение.

В разных программах общее освещение воспроизводится по-разному. В тех программах, где применяется метод излучательности или другие модели общего освещения, вместо постоянной величины для ввода общего освещения могут выполняться более точные расчеты. Если такая возможность имеется, а время расчетов оказывается в разумных пределах, это позволяет в значительной степени улучшить вспомогательное освещение сцен.

Ввод источников света

В большинстве программ предоставляется несколько различных видов источников света, которые могут быть введены в сцену. Некоторые иллюстрации в этом разделе разработаны таким образом, чтобы отдельные источники света были видны как можно лучше, а источники света с видимыми эффектами свечения даже выделены. Но в большинстве случаев зритель не сможет определить, какие именно виды источников света использованы в окончательно визуализированной сцене. Конкретные виды источников света могут быть вы-

Более подробно о применении источников заливающего света речь пойдет в главе 3.

О методе излучательности и других режимах передачи световой энергии рассказывается в главе 9.

браны исходя из соображений удобства. После того как станет известно, каким участком должно быть ограничено применяемое освещение, достаточно воспользоваться любым инструментом, допускающим простое управление освещением.

Точечные (ВСЕНАПРАВЛЕННЫЕ) ИСТОЧНИКИ СВЕТА

В разных программах *точечные (point source)* источники света имеют несколько отличающиеся названия и пиктограммы (рис. 2.3), но каким бы ни было их название, они выполняют одну и ту же функцию, имитируя лучи света, исходящие из одной бесконечно малой точки пространства.

Точечные источники света иногда еще называются *всеаправленными (omni, omnidirectional)*, поскольку они излучают свет равномерно во всех направлениях подобно электрической лампочке или светящейся в космическом пространстве звезде. Свет и тени от такого источника света направлены в разные стороны (рис. 2.4).

В реальном мире вряд ли можно найти источник света, равномерно излучающий свет во всех направлениях. Большинство настоящих источников света излучают в одних направлениях больше света, чем в других. Если точечные источники света вводятся в сцену, например для имитации настоящих электрических лампочек, следует иметь в виду, что у таких лампочек, как правило, имеется металлический непрозрачный цоколь, заслоняющий свет с одной стороны, причем многие из них ввинчиваются в патроны осветительных приборов, абажуров или плафонов, что ограничивает их направленность.

Несмотря на то что точечные источники света исходно являются всеаправленными, их излучение можно сделать неравномерным, как у электрической

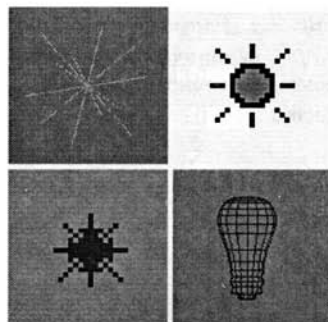


Рис. 2.3. Пиктограммы точечного источника света в LightWave 3D, источника радиального света в Electric Image, точечного источника света в Maya и Softimage выполняют одну и ту же функцию

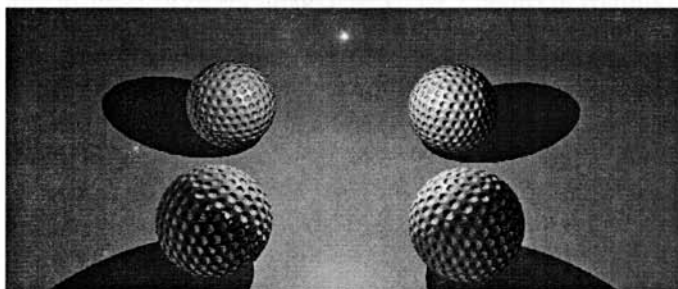
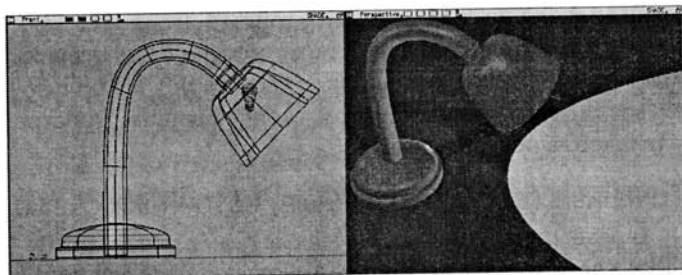


Рис. 2.4. Точечный источник излучает свет равномерно во всех направлениях

Рис. 2.5. Тени и другие факторы, ограничивающие действие точечного источника света



лампочки, направив в одну сторону больше света, чем в другие. Так, на рис. 2.5 показан точечный источник света, расположенный внутри модели абажура. Благодаря такому расположению данный источник света выполняет ограниченную функцию прожектора. Свет от него специально заслоняется геометрической формой абажура, чтобы отбрасывать тени.

ПРОЖЕКТОРЫ

Прожекторы (*spotlights*) относятся к основным элементам большинства схем освещения в компьютерной графике. Многие художники часто пользуются прожекторами, поскольку ими удобно управлять для направления света на конкретный целевой объект (рис. 2.6).

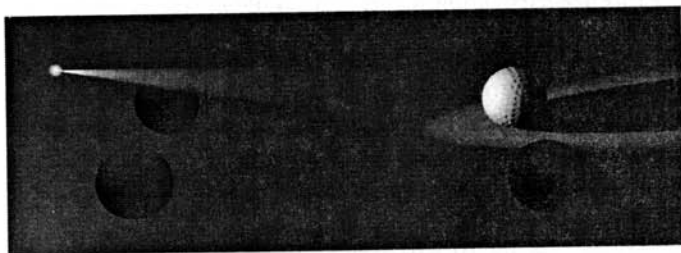


Рис. 2.6. Прожектор позволяет направить свет на конкретный целевой объект

Прожектор имитирует свет, исходящий из одной точки подобно точечному источнику света. Вместе с тем, прожектор создает ограниченное освещение в пределах указываемого конуса или луча света. Благодаря вращению прожектора определяется направление луча света. Целевой объект может быть связан с прожектором таким образом, чтобы свет от последнего всегда был ориентирован по положению этого объекта. Кроме того, прожектор можно сгруппировать с трех-

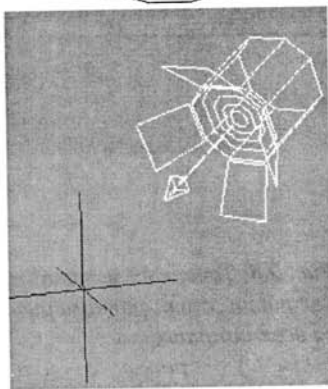
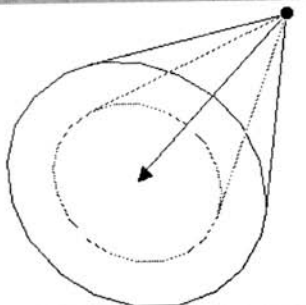
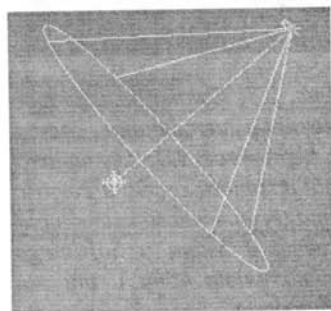


Рис. 2.7. Пиктограммы, обозначающие направление света прожектора в программах Alias Power Animator, Electric Image и Softimage

мерным объектом (в частности, с моделью фонарика или фары автомашины), чтобы направить луч света для имитации его излучения изнутри объекта. На рис. 2.7 показаны некоторые распространенные обозначения прожекторов в разных программах, как правило, в виде контура конуса и стрелки, указывающей направление излучения света.

Прожекторы являются основными элементами создания визуальных эффектов в визуализируемых сценах. У прожектора имеются дополнительные элементы управления и режимы, отсутствующие у других видов источников света (рис. 2.8). Такие режимы, как проецирование карты изображения от источника света или имитация видимого луча света, пробивающегося сквозь туман, зачастую лучше всего контролируются с помощью луча прожектора.

Другие распространенные параметры прожектора позволяют управлять шириной конуса (обычно указываемой в градусах) для изменения луча света от узкого до широкого. Величина *мягкости* (*softness*) конуса (называемого также *разбросом* (*spread*) или *спадом* (*falloff*)) позволяет постепенно уменьшить яркость света по мере приближения к краю луча прожектора. Более мягкий край луча прожектора позволяет сделать свет менее заметным и тем самым избежать резко очерченной формы круга излучаемого света (рис. 2.9, слева). Это дает возможность более искусно осветить или затемнить прожектором отдельные участки сцены. Так, с помощью луча, имеющего довольно мягкий край, прожектор можно направить изнутри комнаты для осветления всего участка вокруг окна и штор либо направить прожектор с отрицательной яркостью в угол комнаты для его затемнения.

Благодаря удобству нацеливания прожекторов и управления ими некоторые художники используют их для имитации света практически от любого источника



Рис. 2.8. Дополнительные параметры прожекторов в 3ds max

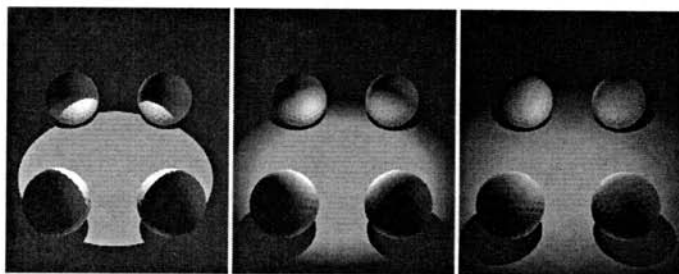
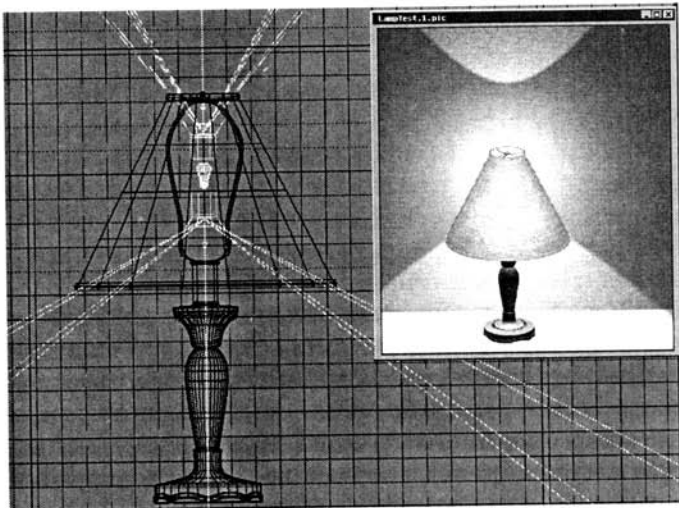


Рис. 2.9. Мягкость конуса может быть настроена с помощью разброса или спада

Рис. 2.10. Несколько прожекторов способны излучать свет в разных направлениях от источника

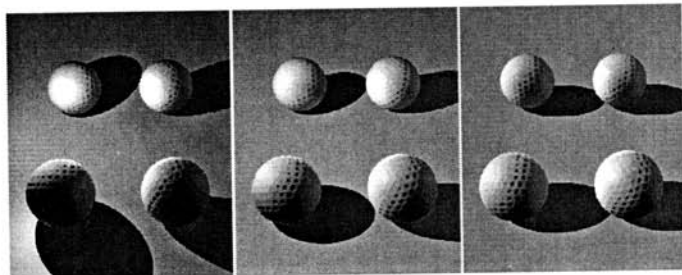


и освещают свои сцены исключительно прожекторами. Даже когда свет должен излучаться во многих направлениях, как, например, свет от настольной лампы, достаточно расположить рядом два или более прожекторов и направить их в разные стороны. На рис. 2.10 свет от настольной лампы имитируется в результате нацеливания одного прожектора вверх, а другого — вниз. Такой прием вполне пригоден, хотя, привыкнув пользоваться прожекторами, не следует забывать и о преимуществах других видов источников света.

НАПРАВЛЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Чем дальше расположен источник света от освещаемых им объектов, тем более параллельными оказываются свет и тени от различных находящихся на сцене объектов. Слева на рис. 2.11 показаны объекты, освещаемые расположенным рядом с ними точечным источником света. При этом каждый объект освещен и затенен под разным углом в зависимости от его положения относительно точечного источника света.

Рис. 2.11. Точечный источник света, расположенный рядом с объектами (слева), создает освещение под более разнообразными углами, чем удаленный источник света (справа)



Посередине на рис. 2.11 точечный источник света удален от объектов на большее расстояние, в результате чего свет и тени стали в большей степени параллельными. Для получения идеально параллельных теней точечный источник света должен находиться бесконечно далеко от объектов, но на практике такой весьма удаленный источник света, как солнце, может давать тени, кажущиеся параллельными в обыкновенной земной окружающей среде. Справа на рис. 2.11 для имитации удаленного на бесконечное расстояние точечного источника света использован *направленный (directional)* источник.

Направленные источники света, называемые в различных программах удаленными, прямыми, бесконечно удаленными и солнечными, обозначаются разными пиктограммами (рис. 2.12). Направленный источник света задает единый вектор для всех своих лучей и освещает объект под одним и тем же углом независимо от местоположения этого объекта. Все тени, формируемые при освещении направленным источником света, отбрасываются в одном и том же направлении и представляют собой ортогональные проекции формы каждого освещаемого объекта.

Местоположение направленного источника света относительно освещаемого им объекта особого значения не имеет. Важнее направленность такого источника света. Угол расположения направленного источника света регулируется в различных программах по-разному. В одних программах для нацеливания направленного источника света вращается его пиктограмма, а в других — для этой цели используется вектор, исходящий из пиктограммы источника света к целевому объекту или к глобальному началу отсчета. Некоторые направленные источники света имитируют углы расположения солнца в зависимости от даты, времени и местоположения.

В связи с тем что направленный источник света нелегко нацелить или ограничить его действие конкретным участком подобно точечному источнику света или прожектору, его лучше всего использовать в качестве источника вспомогательного или заливающего, а не основного освещения объекта. Так, несколько направленных источников света, расположенных под разными углами, могут совместно создать заливающее освещение, даже если эти источники излучают под разными

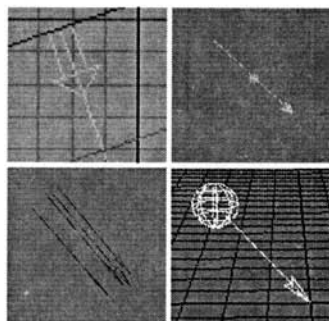


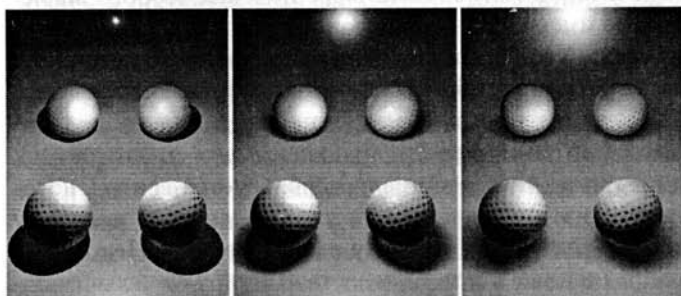
Рис. 2.12. Нацеленный источник прямого света в *3ds Max*, бесконечно удаленные источники света в *Power Animator* и *Maya*, а также направленные источники света в *Softimage* служат одной и той же цели

углами очень слабый свет. Направленные источники света способны освещать довольно большие участки, имитируя тем самым общее или атмосферное освещение, в частности идущий с неба дневной свет, поэтому они могут служить удобной альтернативой общему освещению. Так, справа на рис. 2.2 в качестве источников заливающего света использованы направленные источники.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Стандартный точечный источник света или прожектор излучает свет из бесконечно малой точки пространства, не имитируя при этом физический размер настоящего источника света. У точечного источника света вообще отсутствует размер в любом измерении. Как показано слева на рис. 2.13, это означает, что точечный источник света образует резко очерченную границу на гладких поверхностях. Поэтому для более точной имитации настоящего освещения используются *поверхностные (area)* источники света, обладающие вполне определенным размером, благодаря чему лучи света исходят не из одной, а из разных точек. Посредине и справа на рис. 2.13 показаны результаты увеличения размера поверхностного источника света.

Рис. 2.13. Точечный источник света (слева) создает более резкое освещение, чем сферический поверхностный источник света (посредине), освещение от которого становится еще мягче при увеличении его размера (справа)



НА ЗАМЕТКУ

Поверхностные источники света поддерживаются отнюдь не всеми средствами визуализации. Другие методы достижения аналогичных эффектов мягкого освещения рассматриваются в главе 5.

При значительном уменьшении размера поверхностного источника света он фактически становится точечным. Как показано справа на рис. 2.13, поверхностный источник покрупнее делает свет и тени более мягкими, создавая освещение, как бы обволакивающее расположенные поблизости объекты.

Благодаря достигаемому качеству света и теней поверхностные источники света отлично подходят для визуализации ряда реалистичных сцен. Но в связи с тем что поверхностные источники света увеличивают

время визуализации, некоторые художники считают, что их лучше использовать в конкретных системах для визуализации высококачественных неподвижных изображений, а не в продолжительных анимационных проектах, где отдельные кадры должны быть визуализированы достаточно быстро.

В различных программах поверхностные источники света реализованы по-разному. В одних программах эти источники света отнесены к отдельному виду, в отличие от перечисленных выше, а в других функционирование в качестве поверхностного источника света является дополнительным свойством других видов источников света, в том числе прожекторов или точечных источников света. Так, наличие у прожектора свойства поверхностного освещения позволяет удобно нацеливать такой поверхностный источник света с помощью конуса прожектора.

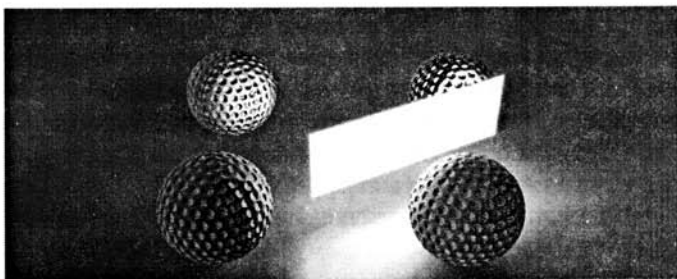
СФЕРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Размеры поверхностного источника света (рис. 2.13) могут изменяться в трех измерениях. Такой источник света иногда еще называется *сферическим (spherical)*, поскольку он имитирует свет, исходящий из сферической области пространства, аналогично светящейся лампочке или круглому осветительному прибору. Это особенно удобно для освещения всего, что оказывается поблизости от крупного источника света. Сферический источник света может быть сделан равномерно всенаправленным, чтобы его вращение не оказывало влияние на конечный результат. Кроме того, сферический источник света можно использовать вместо точечного, когда освещение должно быть в большей степени рассеянным либо отбрасываемые тени — более мягко очерченными.

ПЛОСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Поверхностные источники света чаще всего имеют плоскую форму диска или прямоугольника. Для визуализации света, излучаемого двухмерной поверхностью, требуется меньше времени, чем для света, излучаемого трехмерной поверхностью, хотя число выборок в том и другом случае подлежит настройке. Как показано на рис. 2.14, прямоугольные поверхностные источники света подобны освещаемой потолочной панели и представляют собой плоскость с изменяемой шириной

Рис. 2.14. Плоский поверхностный источник света напоминает панель мягкого света



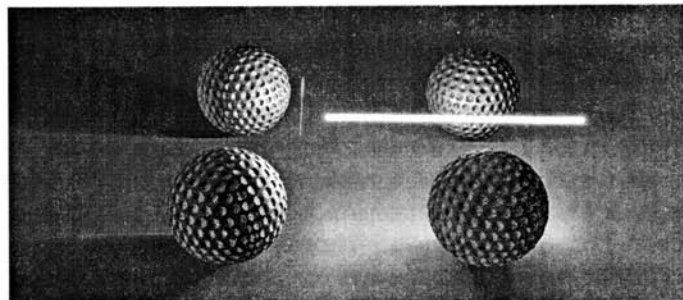
и высотой, освещающую объекты естественно мягким, рассеянным светом. Помимо имитации света от освещаемых потолочных панелей, плоские поверхностные источники света применяются для воспроизведения света, отраженного от ярко освещенных стен и потолков, а также для создания мягкого, реалистичного освещения при визуализации портретов и натюрмортов.

В результате нацеливания или вращения плоского поверхностного источника света изменяется освещение, поскольку свет, исходящий из края плоской поверхности данного источника света, скорее всего образует более резкие тени и окажется менее ярким, тогда как свет, исходящий из самой поверхности, будет более ярким и рассеянным.

ЛИНЕЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Линейный (linear) источник света относится к поверхностным источникам света и подобен лампе дневного света, причем его размер изменяется лишь в одном измерении. При удлинении такого источника света тени становятся более мягкими, а свет распространяется в одном направлении. На рис. 2.15 приведен линейный источник света, освещающий сцену. Обратите внимание на то, как нацеливание линейного источника света оказывает влияние на конечный результат: тени от объектов, пролегающие по длине источника света, получа-

Рис. 2.15. Линейный источник света излучает более мягкий свет по своей длине, чем по краям



ются довольно мягкими, а тени на границе освещения данным источником света — более сосредоточенными.

Линейные источники света могут быть использованы для имитации освещения лампами дневного света, лазерных вспышек или любых других источников света в форме линии. Такие источники света иногда даже используются вместо плоских или сферических поверхностных источников света для общего мягкого освещения сцены, поскольку они несущественно увеличивают время визуализации по сравнению с другими видами источников света. С помощью линейного источника света можно добиться вида, аналогичного тому, что создает плоский или сферический поверхностный источник света, в то же время его визуализация осуществляется намного быстрее, а выборка требуется лишь по одной, а не двум или трем осям.

МОДЕЛИ, СЛУЖАЩИЕ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В некоторых программах находящаяся на сцене трехмерная модель может быть специально предназначена для выполнения функций источника света. Это дает возможность использовать нетрадиционные формы для имитации таких настоящих источников света, как неоновые вывески (илл. 2.1). Но в большинстве программ эффекты, подобные неоновым вывескам, обычно имитируются путем визуализации яркого объекта либо в результате размещения некоторого источника света рядом с вывеской для освещения окружающей ее поверхности.

ПРОВЕРКА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Процесс организации освещения состоит на 5% из установки и на 95% из исправления и настройки. После ввода источников света в сцену неизбежно возникает потребность в неоднократной пробной визуализации сцены с последующими исправлениями и настройками, прежде чем удастся получить заверченный продукт, который можно представить клиенту (и даже гордиться им). Организация эффективной процедуры исправлений и настроек является неотъемлемой частью процесса создания высококачественных визуализированных изображений в установленный срок.

В сцене с несколькими источниками света необходимо точно знать функции каждого из них, чтобы настроить нужный источник света в том случае, если

не подходит затенение конкретной поверхности. Для оценки освещения сцены в целом и правильности функций, предписанных каждому источнику света, в частности требуется ряд пробных визуализаций.

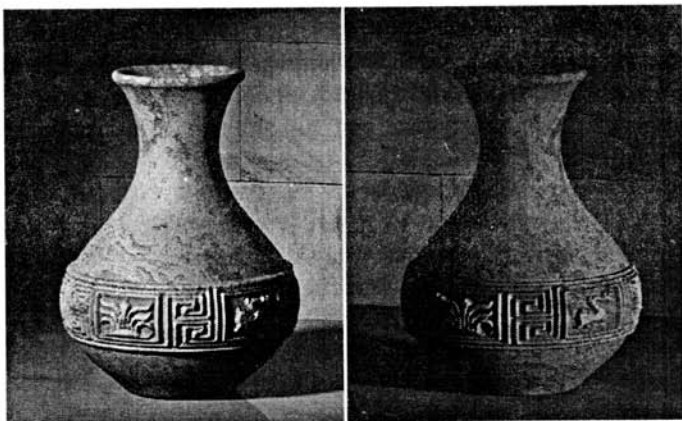
Ради экономии времени и выделения отдельных недостатков освещения выводить всю сцену сразу или создавать завершенный продукт с максимальным качеством следует не во всех пробных визуализациях. В процессе работы с освещением может быть использован ряд методов для получения пробных результатов, ясно показывающих, что необходимо сделать для управления освещением.

РАЗДЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Иногда для того чтобы точно определить, куда направлен прожектор или как источник задней подсветки просвечивает из-за края объекта, требуется пробная визуализация, выделяющая освещение от одного конкретного источника. Для этой цели все остальные источники света, находящиеся на сцене, следует скрыть или выключить наряду с отключением общего или стандартного освещения, автоматически вводимого используемой программой. После этого достаточно выполнить пробную визуализацию, которая должна ясно показать функции проверяемого источника на сцене при отключенных остальных источниках света.

На рис. 2.16 показано освещение сцены двумя обособленными источниками света. Если требуется настроить один конкретный источник света, в особенности тот, что создает едва заметный эффект, его проверка отдельно от других источников света позволит точно вы-

Рис. 2.16. Освещение сцены двумя обособленными источниками света



яснить, что же именно требуется настраивать. Такой прием удобен для сосредоточения основного внимания на конкретной проблеме освещения либо для создания особого эффекта освещения, которого требуется добиться в сцене. Кроме того, отдельная проверка одного источника света позволяет визуализировать сцену намного быстрее, чем при наличии нескольких видимых источников света.

Поочередная визуализация сцены с обособленными источниками света позволяет выяснить влияние каждого из них на освещение всей сцены. Если не следить за тем, какие поверхности освещает каждый источник света, то результаты отдельной визуализации сцены с некоторыми источниками света могут оказаться несколько неожиданными. Так, в результате отдельной проверки источников света может оказаться, что свет распространяется по сцене дальше, чем предполагалось, а небольшая световая точка с одной стороны комнаты способна излучать свет и создавать отбрасываемые тени с противоположной ее стороны. Раздельная визуализация сцены с одним источником света позволяет полностью выявить его действие, а значит, и устранить недостатки создаваемого им освещения (в частности, путем настройки спада или ослабления света на расстоянии).

Раздельный просмотр действия источников света позволяет также точно настроить едва заметные эффекты. Так, если создается задняя подсветка, просвечивающая из-за головы персонажа и очерчивающая его профиль, в этом случае проще сначала разместить и настроить такой источник света отдельно, просматривая создаваемое им освещение на черном фоне, а затем попытаться изменить его положение, чтобы объединить создаваемый им незначительный эффект с освещением от других источников света.

В сценах, создаваемых начинающими пользователями, нередко имеются источники света, не до конца выполняющие предписанные им функции. Так, если окружающая геометрическая форма заслоняет источник света, дающий отбрасываемые тени, его влияние на освещение всей визуализируемой сцены окажется незначительным либо оно вообще будет отсутствовать. После пробной визуализации сцены с несколькими активными источниками света можно довольно легко упустить этот недостаток из виду. Начин

Загрузите старые сцены, созданные до приобретения этой книги, и выполните раздельную проверку источников света. Возможно, вас удивит влияние каждого из проверяемых источников света на визуализированный результат и насколько иначе можно было бы настроить их или управлять ими, чтобы добиться лучшего результата.

пользователь может вернуться к сцене и увеличить яркость данного источника света, снова выполнить визуализацию и, если освещения от заслоненного источника окажется недостаточно, ввести в сцену еще один источник света. Таким образом, в результате целого ряда визуализаций сцены недостаток ее освещения так и не будет устранен, а ненужный источник света так и останется на сцене, замедляя последующую ее визуализацию.

Процесс устранения подобного недостатка освещения можно ускорить и сделать более эффективным, если проверять источники света отдельно. Так, если выполнить пробную визуализацию сцены, освещенной только заслоненным источником света, проблема заслонения источника света собственной осветительной арматурой выявляется и устраняется достаточно быстро (например, путем удаления осветительной арматуры или смещения самого источника света).

ИСТОЧНИКИ СВЕТА С ЛОЖНОЙ ОКРАСКОЙ

Нередко один и тот же объект освещается несколькими источниками света. В таком случае освещение от этих источников начинает накладываться и смешиваться, создавая дополнительные трудности для диагностики проблем освещения с помощью пробной визуализации. Для того чтобы не идти по сложному пути настройки методом проб и ошибок и ускорить визуализацию, достаточно получить возможность увидеть влияние каждого источника света на освещение всей сцены и в то же время посмотреть, каким образом накладывается свет от разных источников.

Если посмотреть на визуализированное изображение слева на илл. 2.2, то можно заметить, что ваза в данной сцене освещена двумя источниками света, расположенными слева и справа от нее. Для проверки наложения освещения от этих источников света достаточно окрасить их в разный, сплошной, ложный цвет, как показано справа на илл. 2.2.

Если же посмотреть на визуализированное изображение сцены слева на илл. 2.2 при освещении светом, имеющим обычную окраску, то вряд ли можно заметить, что менее яркий свет попадает также на стену. А при наличии ложной красной окраски менее яркого света его попадание на расположенную позади стену сразу же бросается в глаза.

Проверка на ложную окраску является разновидностью поочередной визуализации сцены с каждым источником света в отдельности, но в данном случае показывается взаимодействие либо наложение света от двух или более источников.

ПРОСМОТР ВАРИАНТОВ ОСВЕЩЕНИЯ ПУТЕМ БЫСТРОГО ЛИСТАНИЯ

Если трудно отличить один вариант настройки освещения от другого, в этом случае целесообразно сравнить оба результата пробной визуализации, расположив их друг за другом в виде книжки с движущимися картинками. Если два визуализированных изображения расположены рядом, то отличия в настройке их освещения едва ли будут заметны, тогда как при смещении изображений или переходе между ними во время быстрого листания в одном окне эти отличия можно обнаружить без особого труда.

В большинстве программ трехмерной графики поддерживается режим анимации последовательности визуализированных кадров, что дает возможность быстро перелистывать их в одном окне. Так, для сравнения двух вариантов освещения следует сначала визуализировать один кадр анимации до внесения изменений и другой кадр после изменений, а затем, используя утилиту, воспроизводящую отдельные изображения в виде книжки с движущимися картинками либо в виде последовательности кадров анимации, пролистать оба визуализированных кадра туда и обратно, чтобы выявить отличия в настройке освещения. Таких кадров может быть не два, а больше. В отсутствие указанной выше утилиты можно воспользоваться программой раскраски, поддерживающей слои изображений, переходя между видимым и невидимым слоями для упрощения процесса быстрого листания визуализированных изображений.

Просмотр изменений в одном окне позволяет обнаружить любые отличия между вариантами освещения либо убедиться в идентичности вариантов. Кроме того, быстрое листание визуализированных изображений сцены с включенным и отключенным источником света дает возможность установить влияние этого источника на освещение всей сцены.

Применяя метод быстрого листания визуализированных изображений, важно соблюдать следующее ус-

ловие: изменению должно подлежать только освещение сцены. Если до этого была осуществлена анимация освещения, сначала придется застопорить движение либо выполнить несколько визуализаций одного и того же кадра анимации, а затем составить результаты визуализации в виде последовательности кадров анимации.

В связи с тем что настройка освещения может повлечь за собой целый ряд пробных визуализаций, в последовательность кадров анимации может быть включено множество кадров для быстрого листания всех проверяемых вариантов.

НАСТРОЙКА ОСВЕЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ РАСКРАСКИ ИЛИ КОМПОНОВКИ

Программа двухмерной раскраски может стать полезным инструментальным средством для экспериментирования с трехмерной сценой. Для этого следует перенести в такую программу несколько версий визуализированной сцены. Далее, можно получить промежуточный результат при переходе от одного варианта освещения к другому, а затем вернуться в программу трехмерной графики и настроить источники света на промежуточные значения либо установить их в промежуточное положение. С другой стороны, можно удалить одну часть верхнего слоя, чтобы посмотреть, каким образом будут выглядеть изменения, если применить их лишь к части сцены. Разумеется, для внесения изменений придется вернуться к трехмерной сцене, однако такое экспериментирование оказывается намного быстрее и проще, чем исправление и визуализация каждого изменения в программе трехмерной графики.

Еще один эффективный способ уточнения параметров освещения состоит в том, чтобы сначала визуализировать сцену с каждым источником света в отдельности, как описано выше, а затем перенести визуализированные изображения сцены с отдельными источниками света в программу раскраски, где эти изображения размещаются слоями и просматриваются в виде скомпонованного визуализированного изображения сцены с несколькими источниками света (рис. 2.17).

Для расположения слоями визуализированных изображений сцены с отдельными источниками света можно воспользоваться *аддитивной* операцией. Адди-

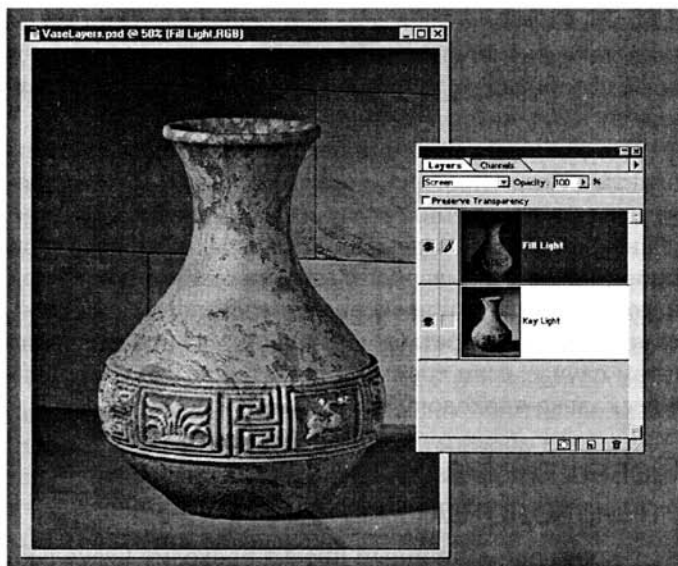


Рис. 2.17. Скомпонованные визуализированные изображения сцены с отдельными источниками света

тивное расположение слоями означает, что значения цвета из одного изображения складываются со значениями цвета из другого изображения, что в сумме дает более яркий цвет с учетом всего освещения из обоих визуализированных изображений. Для этого не требуются маски или альфа-каналы, поскольку черные участки изображения не повышают яркость, а значит, и не оказывают никакого влияния на конечный результат. На скомпонованное таким образом изображение влияние оказывают лишь те участки, где свет осветляет объект.

Простая аддитивная компоновка представляет собой лишь один из многих способов расположения слоями изображений, полученных в результате нескольких проходов визуализации сцены с освещением. Помимо режима смешения Add (Сложение), можно воспользоваться аналогичным режимом Screen (Экранирование), как показано на рис. 2.17. Преимущество режима Screen состоит в том, что в нем не отсекаются тона, которые быстро достигают уровня белого, тогда как в режиме Add точнее отображается возможный результат объединения нескольких источников для освещения трехмерной сцены.

После компоновки единого изображения визуализированной сцены со всеми источниками света появляется возможность манипулировать разными слоями освещения. Используя соответствующие функции

НА ЗАМЕТКУ

Функцию аддитивного расположения слоями можно обнаружить под обозначением Add в раскрывающемся списке Blending (Смешение) диалогового окна Apply Image (Применение изображения) в Adobe Photoshop либо в инструменте Simple Additive Composer (Простой аддитивный компоновщик) модуля Video Post в 3ds max.

в программе раскраски или компоновки, можно изменить яркость или цвет любого слоя освещения, наполовину ослабить его действие на сцену либо вообще отключить.

Все эти изменения и проверки могут быть сделаны практически мгновенно, причем их результаты, включая тени и отражения, сразу же применяются ко всей сцене без всякой задержки на визуализацию. Такой прием удобен для всякого, кто занимается проверкой источников света и экспериментированием со сценой, однако он приобретает еще более важное значение в том случае, если сцены приходится визуализировать в несколько проходов.

Визуализация в несколько проходов наряду с дополнительными причинами визуализации сцен с каждым источником света в отдельности более подробно рассматривается в главе 10.

ОСВЕЩЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

Всякий анимационный проект проходит несколько стадий в процессе воплощения сценария на экране, причем очередь освещения в этом процессе наступает в разное время в зависимости от конкретных условий производства. На некоторых производственных студиях освещение иногда откладывается напоследок, и, к сожалению, такое случается нередко. Подобное отношение к формируемым на компьютере изображениям существует и на ряде киностудий, где освещение вообще не относится к приоритетным этапам процесса производства фильма.

Иными словами, процесс освещения невозможно начать как можно раньше. Для этого прежде всего должна существовать трехмерная сцена. Кроме того, необходимо знать углы расположения камеры и позы объектов съемки, а возможно, и подождать оцифровки отснятого видеоматериала, а уже затем приступить к разработке комплексного освещения. К тому моменту, когда начинается работа над освещением, многим уже не терпится приступить к визуализации, чтобы посмотреть конечный результат, и поэтому им хотелось бы, чтобы освещение уже было готово.

КОМПЛЕКСНЫЕ ЗАДАЧИ

На некоторых производственных студиях освещение представляет собой отдельную задачу. Вместо одного художника, занимающегося всеми вопросами визуализации, проект на студии может передаваться по

конвейеру группе более узких специалистов. Освещение трехмерных сцен в условиях производства обычно поручается одному человеку (или целому отделу).

Однако на небольших студиях весь процесс визуализации сцен поручается одному человеку, который, как правило, подготавливает материалы, текстуры, освещение и устанавливает параметры визуализации, помимо занятости в процессе моделирования и анимации. В компьютерной графике эти задачи переплетаются настолько, что результаты настройки освещения сцены трудно отделить от результатов выполнения всех остальных задач. Многие свойства настоящего света имитируются в компьютерной графике благодаря затенению и настройке параметров материалов в не меньшей степени, чем с помощью самих источников света.

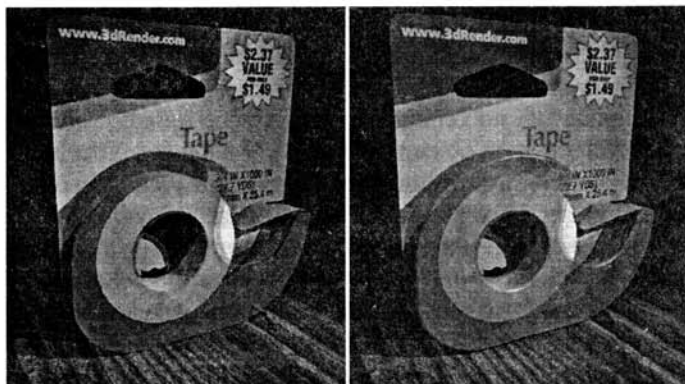
Источники света обычно не видны непосредственно. Помимо таких визуальных эффектов, как блики в объективе и пучки света, действие источников света на сцене можно увидеть только посредством изменений, которые они вносят во внешний вид объектов. Если недостатки затенения или моделирования препятствуют объектам убедительно реагировать на свет, сцена может выглядеть плохо освещенной независимо от результатов настройки источников света. Поэтому иногда полезнее устранить причину выявленного недостатка, чем тратить понапрасну время на попытки создать освещение сцены, не реагирующей реалистично на свет.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ФОРМА

Некоторые модели могут выглядеть плохо освещенными, что бы ни делалось с их внешним освещением. Ошибки и недостатки, кроющиеся в самой геометрической форме, могут мешать объекту убедительно реагировать на свет.

Зачастую наиболее ответственные участки освещения модели находятся вокруг ее углов и краев. Изображение справа на рис. 2.18 выглядит лучше освещенным, чем изображение слева, ибо на изображении справа верхний край держателя для клейкой ленты определяет подсветка. Напротив, на изображении слева держатель для клейкой ленты имеет менее сплошной и четкий определенный освещением вид. На самом деле освещение обоих изображений совершенно одинаково, а вот модель справа скошена.

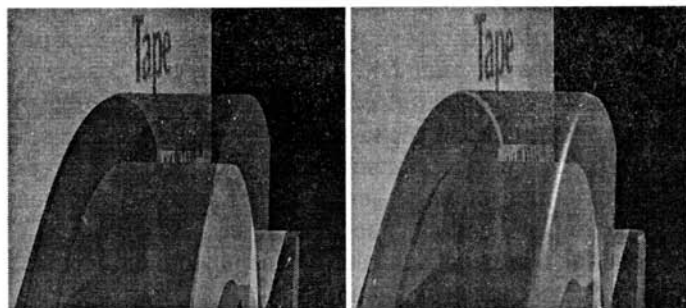
Рис. 2.18. Освещение в обоих изображениях одинаково, тем не менее изображение справа выглядит лучше благодаря скошенной геометрической форме



Присмотритесь внимательнее к любому объекту, форма которого содержит углы, в частности к столу или телевизору. На расстоянии углы такого объекта кажутся прямыми, а вблизи они фактически скошены или немного закруглены. Если посмотреть на немного скошенные края объекта под разными углами зрения, то можно заметить, что на них зачастую оказывается больше подсветок либо их форма получается более ярко выраженной. В отсутствие скосов, отражающих свет, последний не был бы замечен на объекте, освещенном под углом 45° . Благодаря простой скошенной форме объекта, показанного справа на рис. 2.19, он приобретает совершенно иной вид.

Даже при одном и том же освещении и одинаковых параметрах материала это небольшое отличие в геометрической форме дает совершенно иной результат после визуализации. В связи с этим рекомендуется избегать резких краев, образующихся при пересечении планарных поверхностей в моделях, скшивая эти края. Это правило не распространяется на приложения реального времени, где в сцене применяются модели с малым числом многоугольников.

Рис. 2.19. Благодаря скосу свет отражается от объекта под разными углами



ЗАТЕНЕНИЕ

Применяемые материалы и текстуры также определяют реакцию модели на свет. Технически вполне возможно освещение нетекстурированного объекта или обстановки. В некоторых случаях проверка освещения сцен и находящихся на них объектов без текстур помогает определить, какое затенение и освещение требуется. Однако завершённые текстуры и свойства поверхности объектов способны существенно изменить освещение, поэтому прежде чем заниматься освещением, целесообразно сначала настроить текстуры и свойства объектов.

Так, если объект должен быть отражающим либо пропускающим свет, его реакцию на свет можно ограничить. В итоге он будет оставаться черным, несмотря на то, что освещен. Если же объект находится в совершенно черном окружении, то свойство отражения обычно делает его еще темнее. А если поверхность объекта обладает свойством пропускать свет, но вокруг объекта отсутствуют видимые сквозь него объекты, он также становится темнее.

Существует несколько методов, позволяющих взять под контроль освещенность прозрачной или отражающей поверхности, недостаточно хорошо реагирующей на свет. Когда объект окружен другими объектами или обстановкой, в которой отражается падающий от него свет, он будет выглядеть ярче и убедительнее. Благодаря увеличению яркости зеркальных подсветок на поверхности свыше нормы на ней образуются блики яркого света, даже если она сильно пропускает или отражает свет. Лишь немногие объекты идеально отражают или пропускают свет, как это обычно бывает при имитации подобных физических явлений на компьютере. Поэтому в качестве наиболее радикальной меры рекомендуется уменьшить прозрачность или отражательную способность поверхности объекта. Как показано на илл. 2.3, для этой цели к объектам можно применить карту рельефности либо карту, имитирующую грязную и поцарапанную поверхность.

Если объекту присущи зеркальность и глянец, то в результате просмотра сцены под разными углами расположения камеры местоположение подсветок или зеркального затенения на объекте изменяется. Точный размер, местоположение и яркость участков, на которые падает свет, всегда следует проверять, вы-

полняя пробную визуализацию и используя окончательное затенение, чтобы убедиться в том, что источники света освещают данные участки требуемым образом. Никакие знания или оценки неспособны заменить визуальный контроль полученных результатов.

Хорошее освещение сцены зависит не только от источников света. Проверка и уточнение многих аспектов сцены также способствуют улучшению и совершенствованию освещения. Независимо от того, выполняется ли проект полностью одним исполнителем либо крупной производственной студией, необходимо уделять внимание остальным стадиям производственного процесса (включая моделирование и текстурирование), оказывающим большое влияние на освещение сцены.

О применении текстур речь пойдет в главе 9.

ПРОЦЕСС ИСПРАВЛЕНИЯ И УТОЧНЕНИЯ

В условиях производства любая работа должна быть утверждена руководством, которое может потребовать изменения созданного освещения. В зависимости от способа производства и типа организации лицом, утверждающим работу, может быть клиент, режиссер, главный режиссер, главный художник, непосредственный или вышестоящий руководитель. В идеальном случае было бы неплохо подчиняться только одному лицу. Если же творческое задание дают несколько человек, их указания могут быть противоречивы и непоследовательны.

Процесс утверждения работы может быть заранее оговорен с клиентом по срокам сдачи пробных, промежуточных или окончательных ее вариантов. Это делается для того, чтобы избежать переделки большей части работы, имея возможность вернуться к пробным вариантам или частям продукции, прежде чем приступить к окончательной визуализации. Кроме того, не нужно дожидаться окончания срока выполнения проекта, чтобы узнать, что клиент недоволен освещением и требует внести в него изменения.

ГОТОВНОСТЬ К КРИТИКЕ

Одним из самых важных вопросов, связанных с выполнением работ, является составление графика этих работ. Клиенты должны знать, с каким вариантом (пробным или промежуточным) они могут ознакомиться к конкретной дате. Прежде чем готовиться к критике, необходимо сделать все возможное, чтобы клиент точно

знал, что именно должно (или не должно) быть включено в показываемые ему варианты работы.

Во многих случаях клиенту приходится показывать пробные варианты не на том носителе, на который предстоит окончательно вывести созданную продукцию. Так, изображение, предназначенное для вывода на пленку, первоначально может быть представлено для просмотра на экране компьютерного монитора, а трехмерная анимация, которую предусматривается вставить в кадры съемки с естественным движением в телевизионной программе, может быть предварительно просмотрена отдельно либо в крайнем случае на рирпроекционном фоне.

Клиентов необходимо подготовить к тому, что им предстоит увидеть. Если они считают, что могут увидеть вариант, близкий к завершенной продукции, то их разочарование может в итоге подорвать доверие к исполнителю.

Таким образом, следует принять меры для того, чтобы клиенту было совершенно ясно, что ему показывают, например, пробный оттиск, который может отличаться по разрешению, формату, процессу печати и прочим аспектам от окончательного результата.

Клиент должен также четко знать, что можно и что нельзя изменить на последующих стадиях работы над проектом. Так, если тени в сцене предполагаются в качестве отдельного элемента, komponуемого впоследствии на фоне отснятого материала с естественным движением, в этом случае темноту или непрозрачность теней можно изменить на стадии компоновки, но изменить угол или направление теней после их визуализации будет нелегко. Поэтому клиент должен ясно осознавать, какие именно элементы сцены подлежат изменению в настоящий момент, а какие можно изменить позднее.

Важность установления взаимопонимания между исполнителем и клиентом трудно переоценить. Поэтому любое представление своих работ рекомендуется начинать с таких четких формулировок, как "Над этим мы работаем в данный момент" или "Эти элементы мы можем изменить впоследствии".

ОРГАНИЗОВАННОСТЬ

Клиенты нередко меняют свое решение по ряду вопросов, касающихся выполняемого проекта, что застав-

ляет исполнителя возвращаться к предыдущим вариантам отдельных сцен. Поэтому не стоит отказываться от отвергнутого поначалу варианта, ибо впоследствии некоторые его детали, возможно, придется воссоздать.

Кроме того, клиенту или непосредственному начальнику иногда требуется напомнить, в какой последовательности создавалась та или иная сцена или как учитывались предыдущие замечания. Необходимо быть всегда готовым показать клиенту любой предыдущий вариант работы, который уже обсуждался, на тот случай, если он потребуется в качестве отправной точки либо для сравнения с последующими вариантами.

Рекомендуется организовать учет всех сцен, использованных для получения конкретного изображения, особенно того изображения, которое уже было показано клиенту или по которому сделаны замечания. Все результаты пробной визуализации в итоге оказываются в одном большом каталоге файлов изображений. Кроме того, файлам отдельных вариантов сцен обычно присваиваются разные имена. В связи с этим очень важно вести учет каждого варианта сцены, использованной для отдельной визуализации, присвоив ему соответствующее имя или номер либо организовав журнал регистрации для документального оформления каждого визуализированного изображения, полученного из трехмерных сцен.

Если разрабатываются либо используются разные варианты карт текстур, необходимо также организовать их учет. Ведь загруженная старая сцена окажется неполноценной, если использованные в ней карты текстур отсутствуют либо заменены в новых ее вариантах.

ЗАМЕТКИ ПО ПОВОДУ КРИТИЧЕСКИХ ЗАМЕЧАНИЙ

Делая заметки во время критического разбора предложенного варианта работы, не следует рассчитывать на то, что каждое услышанное замечание будет сформулировано технически грамотно и в соответствии с принятой в компьютерной графике терминологией. Допустим, что клиент делает следующее замечание: "Кожный покров должен выглядеть полупрозрачным". Но ведь у материала кожного покрова отсутствует параметр "полупрозрачности". Полупрозрачного вида можно добиться в результате изменения режима проецирования текстуры (в частности, путем усиления окраски вен, проглядывающих из-под кожи) или освеще-

тика наиболее желанна в том случае, если приходится заниматься только текстурированием или освещением. Но если выполняются также моделирование и анимация продукции и при этом заранее известно, что работа будет пересмотрена еще не раз, то изменение освещения и его окраски может оказаться более простым способом убедить клиента, чем любые рассуждения о возможной переделке моделей или изменении постановки сцены.

На любое требование никогда не следует отвечать категорическим отказом. Лучше заранее предусмотреть дополнительные расходы и время на выполнение непредвиденных работ. А еще лучше предложить клиенту альтернативные варианты, которые в большей степени соответствовали бы смете затрат и срокам исполнения, чтобы не ставить себя в затруднительное положение относительно сроков выполнения работ, когда клиент окончательно определит свои требования.

ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЕ

Независимо от степени занятости необходимо всегда находить время для экспериментирования. Ведь изменения в программном обеспечении компьютерной графики и анимации происходят с периодичностью в несколько месяцев. Появляются новые алгоритмы и методы, а новое оборудование вынуждает пользователей по-новому оценивать существовавшие до этого нормы, предоставляя больше возможностей и функций.

Занятие компьютерной графикой ставит художника в положение героини сказки *“Алиса в стране чудес”*, ибо ему приходится очень быстро двигаться, чтобы остаться на месте. В частности, чтобы поспевать за развитием современной технологии, приходится переосмысливать и пересматривать даже наиболее испытанные методы и уделять время опробованию новых.

На ранней стадии производства, когда сцена еще не готова для освещения, всегда имеется возможность опробовать разные варианты освещения в пустой сцене без моделей. Так, если требуется осветить дым или дождь, этот эффект можно создать и опробовать на определенном фоне того же цвета, не дожидаясь окончательного завершения сцены или моделей, только замедляющих эксперименты с освещением.

После сдачи проекта, прежде чем переносить его файлы в архив, целесообразно загрузить сцены (даже если они до смерти надоели) и поэкспериментировать с дополнительными вариантами их визуализации. В частности, сцены можно визуализировать с высоким разрешением для своей папки готовых работ либо поэкспериментировать с другими видами этих сцен, не согласующимися с требованиями клиента.

Рекомендуется также заниматься собственными проектами, какими бы краткосрочными или простыми они ни были, чтобы постоянно совершенствовать свои возможности. Для этой цели как нельзя лучше подходят периоды “простоя” между основными проектами. Если читатель только изучает компьютерную графику и анимацию, у него есть прекрасная возможность поэкспериментировать с методами и принципами освещения и визуализации, рассматриваемыми в настоящей книге.

Экспериментирование не только положительно сказывается на качестве создаваемой продукции и профессиональной карьере художника, но и имеет важное значение для его развития как творческой личности. Так, анализ выполненных ранее работ показывает, что собственные неотчетливые проекты и эксперименты приносят художнику больше пользы, чем профессиональная работа в условиях производства.

3

ГЛАВА



ТРЕХТОЧЕЧНАЯ СХЕМА ОСВЕЩЕНИЯ

Одним из самых привлекательных способов освещения любого объекта съемки является классическая голливудская *трехточечная схема освещения (three-point lighting)*. Такая схема упрощает моделирование объекта с помощью освещения для полной передачи его объемной формы в визуализированном изображении. Различные варианты трехточечной схемы освещения дают возможность освещать наиболее предпочтительным светом все что угодно: от небольшого реквизита до кинозвезды. В этой главе рассматриваются методы применения трехточечной схемы освещения, дающие представление о той роли, которую источники света могут играть в любой схеме освещения.



МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ОСВЕЩЕНИЯ

Прежде чем перейти к рассмотрению расположения отдельных источников света в трехточечной схеме освещения, следует дать представление об основополагающих принципах и назначении этой схемы, благодаря которым она получила широкое распространение в кинематографе.

Начинающие создатели трехмерного содержимого иногда полагают, что для хорошего освещения объекта вполне достаточно яркого света, а для того, чтобы объект был виден полностью, его требуется лишь как следует осветить. На самом деле при ярком освещении





Рис. 3.1. В этих моделях не проявляются их формы

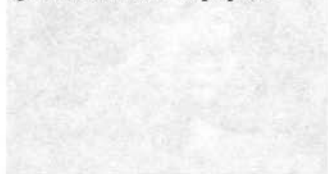
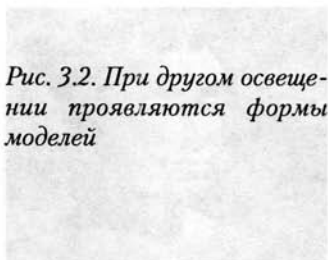


Рис. 3.2. При другом освещении проявляются формы моделей

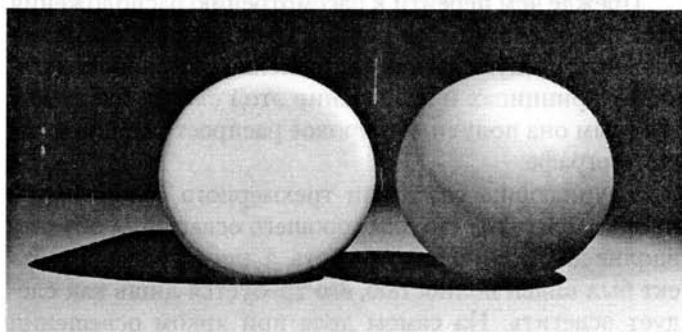
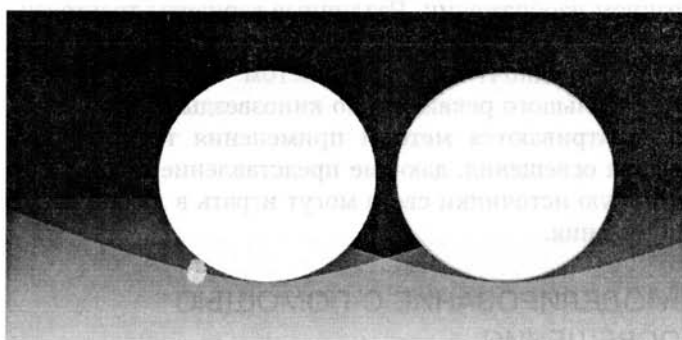


объекта многие его важные детали не будут видны без достаточного затенения под разными углами. Так, освещение на рис. 3.1, безусловно, выбрано довольно ярким, однако затенения оказывается недостаточно для обнаружения объемных форм моделей.

Одним из основных назначений трехточечной схемы освещения является *моделирование с помощью освещения*. Под таким моделированием подразумевается освещение объекта с целью придать его двумерному изображению объемную форму.

На рис. 3.2 показаны те же самые объекты, что и на рис. 3.1, но они лучше смоделированы с помощью освещения, благодаря которому проявляется сферический вид поверхности одного объекта и плоский вид торцевой цилиндрической поверхности другого. На рис. 3.1 эти отличия совершенно незаметны.

Освещение большинства сцен обычно не принимает столь крайнюю форму, как на рис. 3.1, однако этот рисунок дает ясное представление о том, что слишком равномерное освещение придает объекту плоский вид, фактически скрывая кривизну поверхности и форму его модели. Такой “плоский” вид иногда можно уви-



деть на фотографии, снятой фотоаппаратом со вспышкой, либо в видеорепортаже, снятом камерой с установленным прямо на ней источником света.

На рис. 3.2 можно заметить большее разнообразие теней при освещении обоих объектов. Свет, который оказывается более ярким с одной стороны и менее ярким с другой, позволяет исключить ровное, однородное освещение и в то же время придать модели необходимое затенение. Поэтому, для того чтобы добиться наилучших результатов моделирования, рекомендуется внимательно изучить затенение моделируемых поверхностей, убедившись в отсутствии равномерно освещенных участков.

Для изучения затенения объекта его можно, в частности, представить себе в таком виде, как будто его форма определяется разными *плоскостями*. Такие плоскости представляют собой отдельные части поверхности, расположенные под разными углами. Даже криволинейная органическая форма может быть представлена в виде отдельных плоскостей. На рис. 3.3 представлен бюст, визуализированный в виде отдельных плоскостей, а не плавного затенения. Интересно, что еще задолго до появления компьютерной графики и многоугольных каркасов художники-оформители обозначали термином “плоскостей лицевой поверхности” способ разбиения затеняемых форм, а построение объекта из многоугольников лишь делает эту аналогию более уместной.



Рис. 3.3. Освещаемые плоскости лицевой поверхности модели получают разные оттенки

Рис. 3.4. На участке с общим освещением не видны отличия между плоскостями поверхности объекта



Для моделирования поверхности с помощью освещения отдельные ее плоскости должны иметь разные параметры. На рис. 3.3 каждая плоскость лицевой поверхности модели получает разный оттенок благодаря используемой схеме освещения, которое меняется при переводе взгляда с одной плоскости на другую. Так, при переводе взгляда на левую сторону лица модели, куда не попадает самый яркий свет, можно заметить, что затенение продолжается с помощью второго источника света, придающего освещаемой поверхности дополнительное разнообразие.

НА ЗАМЕТКУ

Об отрицательном влиянии общего освещения на освещение всей сцены в целом см. в главе 2.

С другой стороны, на рис. 3.4 показана распространенная в компьютерной графике ошибка. В данном случае для заполнения неосвещенных участков сцены используется ровный «общий» оттенок. В итоге образуются области равномерного затенения на тех частях модели, которые не освещены основным источником света. При этом на таких участках модели, как шея, не видны отличия между соседними плоскостями поверхности, а это означает, что они не моделируются с помощью освещения.

На тех участках, где затенение не меняется, т.е. там, где оттенки не изменяются в результате освещения при переходе между плоскостями, не видны все те результаты моделирования, которых можно было бы добиться в затененной форме. В связи с этим рекомендуется избегать участков ровного общего освещения или равномерного освещения и пользоваться источниками света для затенения объекта с разным градиентом.

Трехточечная схема освещения, рассматриваемая в последующих разделах настоящей главы, является надежным методом моделирования объектов с помощью освещения. При организации трехточечной схемы освещения следует принимать во внимание цель, которую преследует моделирование с помощью освещения, а после каждой пробной визуализации — проверять результаты подобного моделирования.

ТРИ ТОЧКИ ОСВЕЩЕНИЯ

Три точки освещения в трехточечной схеме фактически означают три конкретные роли, которые свет может играть в сцене.

- **Источник направленного света.** Создает основное освещение объекта и определяет преобладающий угол освещения. Источник направленного света обычно ярче, чем остальные источники, освещающие объект, и, как правило, образует самые темные и заметные тени на сцене.
- **Источник заливающего света.** Смягчает и усиливает освещение от источника направленного света, делая освещаемый объект более видимым. Источник заливающего света позволяет имитировать эффект отраженного света либо действие вспомогательных источников света на сцене.
- **Источник контражурного света (задняя подсветка).** Создает отчетливую границу, помогающую визуально отделить объект от фона. Задняя подсветка способна придать необходимый блеск волосам объекта (поэтому она иногда еще называется контражурным светом) и провести отчетливую границу между объектом и фоном.

Приведенное выше определение задней подсветки не следует путать с фоновым освещением, поскольку задняя подсветка предназначена не для освещения фона, а для создания отчетливой границы по краю объекта. Упомянутые выше точки освещения, как правило, используются для освещения основного объекта съемки (персонажа или продукции), а для освещения их окружения (съёмочной площадки) применяются другие источники света.

На рис. 3.5–3.7 показаны результаты освещения из трех последовательно установленных точек вокруг

Рис. 3.5. Источник направленного света создает преобладающее освещение объекта



трехмерной модели. В частности, на рис. 3.5 эта модель освещена только источником направленного света. Этот источник освещает объект лишь с одной стороны, а противоположная его сторона остается в тени. На рис. 3.6 с противоположной стороны объекта введен источник заливающего света, как бы продолжая затенение всей поверхности модели. На рис. 3.7 введена задняя подсветка, создающая отчетливую границу вокруг объекта. Этой небольшой границы света от задней подсветки оказывается вполне достаточно для выделения объекта на фоне.

Трехточечная схема освещения является довольно гибким воплощением основных принципов освещения,

Рис. 3.6. Источник заливающего света продолжает затенение вокруг модели



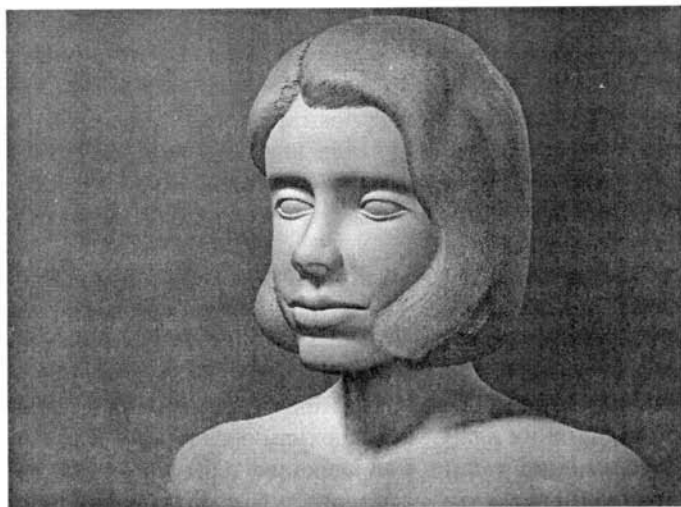


Рис. 3.7. Задняя подсветка образует отчетливую границу, выделяющую объект на фоне

которые могут быть изменены и применены в самых разных схемах освещения. Не существует единого “рецепта” удачного освещения для каждого вида съемки. Всякий раз, когда применяется трехточечная схема освещения, ее приходится изменять, приспособлявая к конкретной сцене. В последующих разделах будет показано, каким образом выбирается место для установки источников направленного, заливающего света и задней подсветки.

ИСТОЧНИК НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА

Во всякой трехточечной схеме освещения присутствует источник направленного света. В качестве основного и самого яркого источника света на сцене он также определяет преобладающий угол освещения, выбор которого является одним из самых важных моментов организации освещения объекта.

Углы освещения, рассматриваемые в этой главе, устанавливаются относительно положения камеры. Трехточечная схема освещения дает наилучшие результаты, если сначала проводится подготовка к съемке и выбирается угол расположения камеры, а затем размещаются источники света. Если впоследствии будет решено снять сцену под совершенно другим ракурсом, освещение также придется изменить. Просмотр сцены с точки съемки позволяет определить место и откорректировать положение источника направленного света.

Если угол расположения источника направленного света слишком близок к углу расположения камеры, форма освещаемого объекта получается плоской (см. рис. 3.1). Однако чрезмерное смещение источника направленного света влево или вправо может оказаться слишком резким и отвлекающим внимание, а в итоге лицевая поверхность объекта может быть не полностью освещена.

Используя нос персонажа в качестве некоего подобия солнечных часов, можно наблюдать за направлением тени. Так, если тень направлена вниз и к определенной части рта (рис. 3.8), такой вид освещения модели считается нормальным. Зрители привыкли видеть окружающих их людей при верхнем освещении. Для выбора именно такого направления тени источник направленного света располагается сверху и по одну сторону от объекта, как показано на рис. 3.9.

Рис. 3.8. При нормальном освещении тень от носа модели обычно направлена к определенной части рта

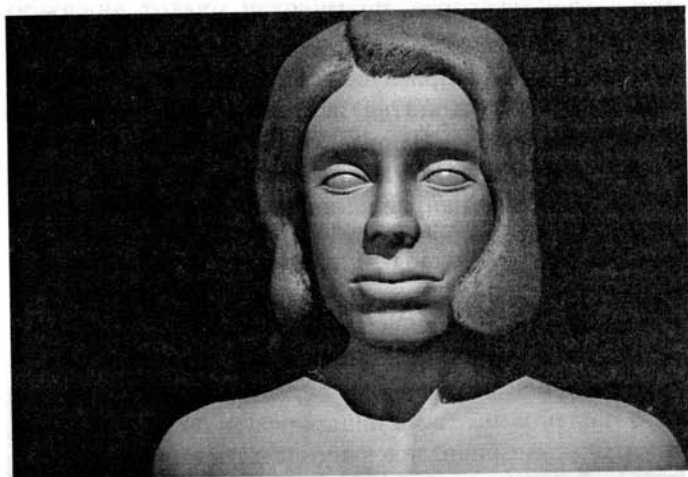


Рис. 3.9. Обычно источник направленного света размещается над объектом и хотя бы немного не по центру

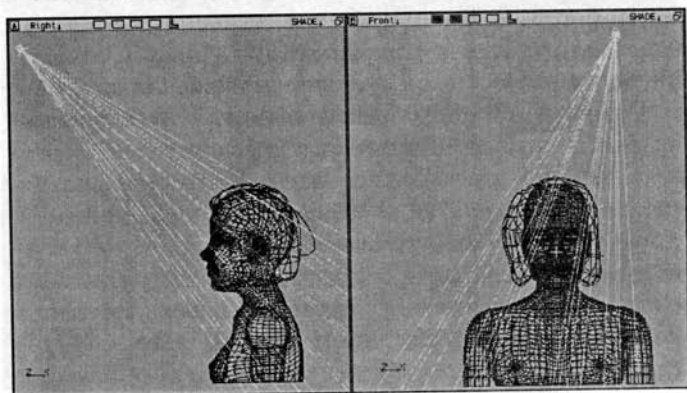




Рис. 3.10. Тень от носа свидетельствует об освещении под косым углом

Если тень от носа модели направлена косо, как бы разделяя надвое щеку (рис. 3.10), такой вид освещения модели менее привлекателен, а иногда становится отвлекающим элементом сцены. Это может произойти в том случае, если источник направленного света располагается слишком далеко по одну сторону от объекта (рис. 3.11).

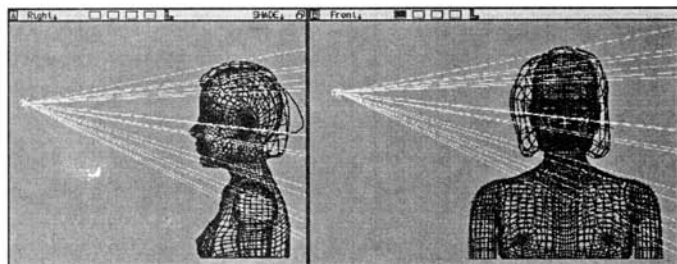


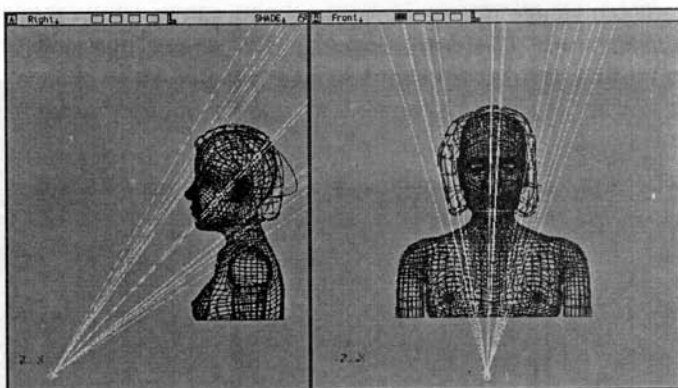
Рис. 3.11. При освещении источником направленного света сбоку образуется косая тень от носа

Совершенно неестественный результат получается и в том случае, если источник направленного света расположен снизу и направлен вверх на объект, как показано на рис. 3.12. Таким приемом часто пользуются дети в летних лагерях, размещая фонарик снизу и направляя его на свое лицо для устрашения окружающих. Кроме того, подобный эффектный прием может быть использован для раскрытия сюжета фильмов о привидениях. Он позволяет превратить обычный персонаж в устрашающий призрак, для чего достаточно разместить источник направленного света так, как показано на рис. 3.13. Благодаря размещению источника света снизу зрителям передается ощущение чего-то весьма необычного, если только источник света не виден на сцене, например, когда персонаж стоит над кост-

Рис. 3.12. Освещение снизу иногда еще называется "светом из ада"



Рис. 3.13. Расположенный снизу источник направленного света создает неестественное освещение



ром или держит в руках фонарь. Поэтому применять данный эффект следует весьма избирательно.

Если источник направленного света расположен слишком высоко над объектом, в глазных впадинах последнего залегают темные тени, скрывая сами глаза (рис. 3.14). Даже если сделать глаза видимыми с помощью источника заливающего света, при расположении источника направленного света под углом, показанным на рис. 3.15, "енотовый" вид глаз по-прежнему остается заметным и малопривлекательным.

При размещении источника направленного света позади объекта последний приобретает вид силуэта (рис. 3.16), причем тени от него пролегают в сторону камеры. Это видоизмененная трехточечная схема освещения, в которой источник направленного света располагается позади объекта, как показано на рис. 3.17. Несмотря на то что источник направленного света

размещается в данном случае на месте, обычно используемом для задней подсветки, он может называться “источником направленного света в глубине сцены”. Такое размещение данного источника света позволяет добиться весьма впечатляющего эффекта. Следует, однако, иметь в виду, что эффекты освещения могут иногда отвлекать внимание зрителей от сюжета или от роли, исполняемой персонажем.

Из всех возможных вариантов размещение источника направленного света под углом от 15° до 45° слева или справа от камеры либо под углом от 15° до 45° над камерой считается “золотой серединой” для большинства стандартных трехточечных схем освещения и может служить удобной отправной точкой для организации освещения многих сцен. При опробовании “обычной” схемы освещения достаточно придержи-



Рис. 3.14. “Енотовый” вид глаз получается вследствие того, что источник света размещен слишком высоко

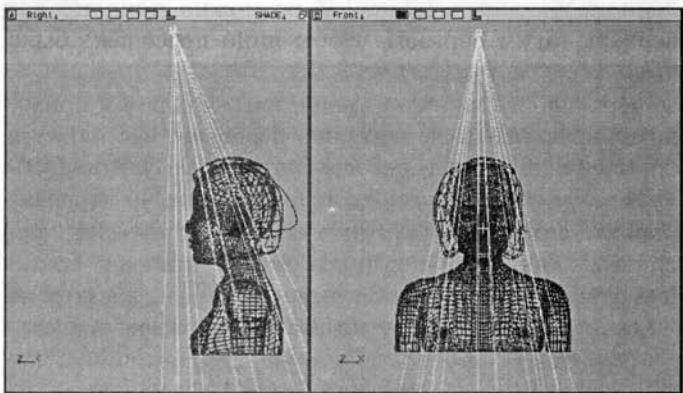
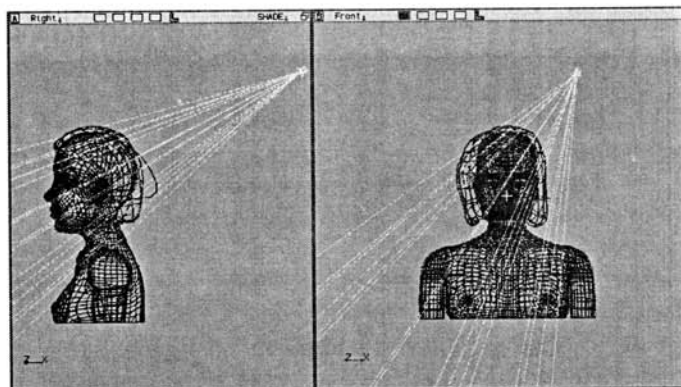


Рис. 3.15. Источник направленного света расположен неестественно высоко над объектом

Рис. 3.16. Источник направленного света в глубине сцены способен превратить персонаж в силуэт



Рис. 3.17. Источник направленного света, расположенный сзади и сверху



ваться указанных выше пределов изменения углов расположения источника направленного света (рис. 3.18).

Исключением из данного правила является съемка персонажа в профиль, при которой источники направленного и заливающего света, возможно, придется повернуть таким образом, чтобы лицо персонажа было полностью освещено (рис. 3.19).

При производстве анимационных фильмов придется предугадывать движения персонажей, организуя освещение. Поэтому целесообразно выполнить пробную визуализацию разных кадров анимации, включая пробное освещение в крайних положениях головы персонажа. Так, если персонаж поворачивается боком и смотрит в сторону, необходимо проверить, достаточно ли света для отчетливого показа персонажа в профиль.

Обычно в результате размещения источника направленного света под углом более 100° относительно

камеры он начинает выполнять скорее функции задней подсветки (или источника контражурного света). Однако при съемке в профиль (когда персонаж поворачивается боком) источник направленного света может быть размещен таким образом, чтобы лицо персонажа оставалось освещенным, как показано на рис. 3.20.

Освещение фактически определяется углами, под которыми лучше всего освещен объект, а также видимыми на сцене источниками света. В обычных пред-



Рис. 3.18. Типичные углы расположения источника направленного света относительно камеры



Рис. 3.19. Источник направленного света может быть направлен в лицо персонажа, снимаемого в профиль

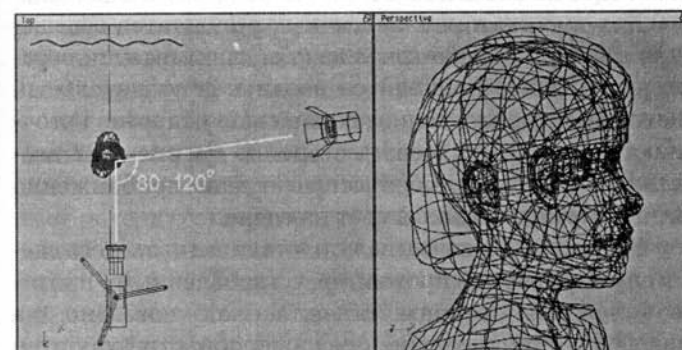


Рис. 3.20. Источник направленного света может быть установлен под намного большим углом относительно камеры для организации освещения съемки в профиль

лах конкретный угол освещения может быть выбран в соответствии с обстановкой, окружающей персонаж. При внестудийной съемке этот угол зависит от времени дня и положения солнца на небе, а при студийной съемке источник направленного света, возможно, придется нацелить в том же общем направлении, что и освещение от лампы или свет в окне. Предложенные в этом разделе углы расположения источника направленного света носят характер общих рекомендаций и отнюдь не означают, что у читателя не должно быть собственного представления о наиболее подходящем для его сцены угле расположения данного источника света.

ИСТОЧНИК ЗАЛИВАЮЩЕГО СВЕТА

В реальном мире возможны ситуации, когда источники заливающего света возникают естественным образом вследствие того, что свет от источника направленного света отражается другими поверхностями на сцене, создавая дополнительное освещение объекта. Благодаря этому явлению в фотографии, а иногда при съемке фильмов и видео, можно зачастую добиться впечатляющих результатов, используя лишь один источник света на сцене. Если свет от такого источника отражается другими поверхностями, с помощью единственного источника света можно обеспечить весь прямой и отраженный свет, необходимый для некоторых видов киносъемки. В стандартном средстве визуализации или трассировки лучей с построчной разверткой (без применения метода излучательности) такой отраженный свет не учитывается в расчетах. В частности, это относится к сцене, приведенной на рис. 3.21, где расположенная справа ярко освещенная стена не отражает свет на объект.

Для достижения аналогичных результатов освещения в компьютерной графике (т.е. для имитации отраженного света) приходится вводить дополнительный источник неяркого заливающего света напротив источника направленного света стороны. На рис. 3.22 введенный источник заливающего света приблизительно имитирует отраженный свет на сцене.

На рис. 3.22 в качестве источника заливающего света служит неяркий прожектор, установленный с противоположной стороны объекта, как показано на рис. 3.23. Для получения правдоподобных результатов

ПРИМЕЧАНИЕ

Более подробно отраженный свет, типы средств визуализации, метод и имитация излучательности рассматриваются в главе 9.



Рис. 3.21. Без отраженного света или источника заливающего света освещенность объекта неестественным образом уменьшается до полной темноты



Рис. 3.22. Благодаря такому применению источника заливающего света имитируется отраженный свет

источник заливающего света обычно размещается позади ярко освещенной стены с целью имитации света, отражающегося непосредственно от наиболее яркого участка стены. Что касается направления источника заливающего света, то его не обязательно выбирать совершенно точно. Иногда пользы от источников направленного и заливающего света оказывается больше, если они направлены на переднюю часть объекта.

Источник заливающего света обычно приносит наибольшую пользу, если он размещается напротив источника направленного света. Так, если направленный свет исходит из верхнего левого угла кадра, то заливающий свет, как правило, исходит из нижнего правого угла. Однако лучших результатов можно добиться при размещении источника заливающего света не напротив источника направленного света, а под более близким

Рис. 3.23. Направление этого источника заливающего света приблизительно соответствует расположению боковой стены

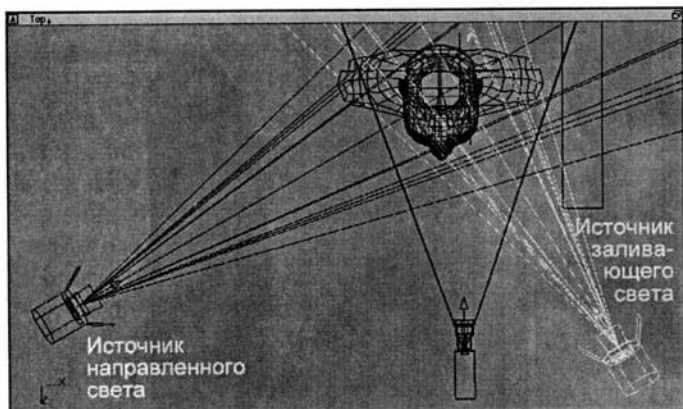
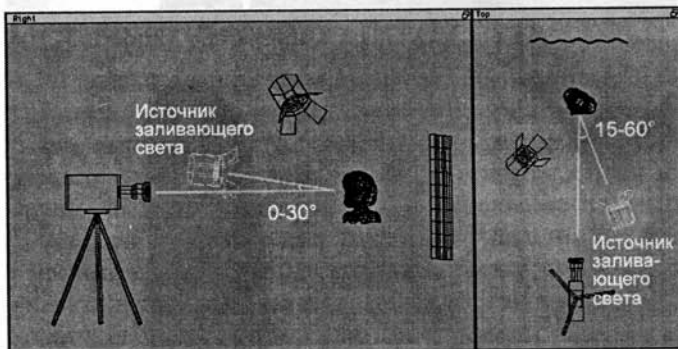


Рис. 3.24. Заливающий свет, излучаемый в противоположном направлении



к положению камеры углом для освещения одних и тех же участков направленным и заливающим светом. Благодаря этому обеспечивается непрерывность затенения всей поверхности. На рис. 3.24 показаны обычные углы расположения источника заливающего света, причем этот источник размещается лишь ненамного выше камеры и с отклонением в пределах от 15° до 60° влево или вправо от положения камеры. Эти рекомендации носят весьма свободный и общий характер.

При организации освещения рекомендуется придерживаться следующего эмпирического правила: источник направленного света обычно размещается выше объекта, а источник заливающего света — ниже источника направленного света. Высота расположения источника заливающего света может изменяться от положения непосредственно под источником направленного света до уровня головы персонажа. Если бы источник заливающего света оказался ниже уровня головы персонажа с той стороны, где этот персонаж освещается в основном заливающим светом, его освещение

снизу оказалось бы малопривлекательным. Объясняется это следующим: несмотря на то что большинство источников направленного света дают верхний свет (в частности, солнце и потолочные осветительные приборы), вспомогательный (заливающий) свет зачастую получается в результате отражения от земли или стен либо исходит от таких неярких источников, как настольные лампы.

Неестественная симметрия, присущая компьютерной графике в целом, проявляется и в размещении источников света. Поэтому рекомендуется следить за тем, чтобы положение источника заливающего света не было зеркальным отражением положения источника направленного света относительно оси, проведенной через камеру.

Источники света служат не только для имитации отраженного света. На выбор положения и направления источника заливающего света могут оказывать влияние вспомогательные источники света, видимые на сцене. Так, если на сцене имеется видимый источник света (в частности, настольная лампа), который может побудить к выбору заливающего света, в этом случае можно попытаться изменить направление этого света.

В связи с тем что для ввода источника заливающего света имеется ряд причин, иногда в сцене требуется несколько таких источников. Так, одни источники заливающего света могут быть использованы для имитации или усиления отраженного света, выбор других обусловлен наличием видимых на сцене вспомогательных источников света, а третьи служат лишь для расширения или смягчения освещения от источника направленного света.

Избегать применения источников заливающего света следует лишь в немногих случаях. Иногда визуализацию удобнее выполнять без заливающего света, когда осуществляется трассировка лучей для таких прозрачных объектов, как бокал вина, который может быть освещен с обеих сторон одним источником направленного света. При визуализации некоторых стилизованных изображений может потребоваться большой контраст в отсутствие заливающего света либо простое двухтоновое затенение, для которого достаточно лишь одного источника света.

Отраженный свет в визуализируемой сцене может быть получен не с помощью источника заливающего

света, а методом излучательности либо с помощью других моделей освещения, обеспечивающих имитацию отраженного света. Даже при производстве традиционной кино- и телепродукции, где присутствует естественно отраженный свет, источник заливающего света зачастую вводится лишь для усиления или видоизменения этого света. Однако несмотря на применение метода излучательности, источники заливающего света целесообразно вводить для смягчения, усиления или видоизменения отраженного света.

СООТНОШЕНИЕ НАПРАВЛЕННОГО И ЗАЛИВАЮЩЕГО СВЕТА

Яркость заливающего света важна для передачи тонов и контраста в сцене. Слишком яркий заливающий свет может мешать затенению от источника направленного света, делая вид объекта менее привлекательным, как показано слева на рис. 3.25, а слишком тусклый заливающий свет — оставить неясно выраженной темную сторону модели, как показано справа на рис. 3.25, тогда как в центре на рис. 3.25 показано оптимальное количество заливающего света, который заметно слабее, чем направленный свет, но все же достаточно ярок для освещения всего объекта.

Рис. 3.25. Три разных соотношения направленного и заливающего света



Отличие в яркости направленного и заливающего света называется *соотношением направленного и заливающего света (key-to-fill ratio)*. Так, если направленный свет в два раза ярче, чем заливающий, их соотношение составляет 2:1. Слева на рис. 3.25 использовано очень малое соотношение, 1,5:1, посередине — умеренное соотношение, 4:1, а справа — очень большое соотношение, 24:1.

Иными словами, соотношение направленного и заливающего света определяет уровень контраста освещен-

щения сцены, т.е. насколько сильно освещенные участки сцены ярче слабо освещенных.

Освещение объекта определяется по соотношению направленного и заливающего света, а не путем сравнения источников света. При этом следует непременно учитывать *ослабление* (называемое также спадом или затуханием), которое уменьшает яркость света до того, как он достигнет объекта. Так, если яркость света уменьшается наполовину в месте освещения объекта, в соотношении направленного и заливающего света следует указывать половину яркости соответствующего источника света.

НА ЗАМЕТКУ

Здесь необходимо дать разъяснение двух часто употребляемых терминов, относящихся к освещению окружающей среды: *светлые тона (high key)* и *темные тона (low key)*, поскольку обозначение этих терминов может показаться противоположным их фактическому значению. Светлые тона означают ярко освещенную окружающую среду, где присутствует большое количество заливающего света, а значит, соотношение направленного и заливающего света в ней малое. В то же время темные тона означают темную окружающую среду, где присутствует небольшое количество заливающего света, а значит, соотношение направленного и заливающего света в ней большое.

МАЛОЕ СООТНОШЕНИЕ НАПРАВЛЕННОГО И ЗАЛИВАЮЩЕГО СВЕТА

На илл. 3.1 приведен пример применения малого соотношения направленного и заливающего света — около 3:1. Несмотря на то что источник направленного света выполняет в данном случае функции солнца, нетрудно себе представить, что окрашенные в светлые тона стены и стол могли бы обеспечить больше заливающего света благодаря отражению большей части солнечного света, который их освещает. Дополнительный источник заливающего света в данной сцене позволяет симитировать отраженный свет, а также усилить впечатление некоторой полупрозрачности листьев растения.

Ниже приведены некоторые ситуации, в которых можно ожидать больше заливающего света, а следовательно, выбрать малое соотношение направленного и заливающего света.

- Интерьеры с белыми или сильно отражающими свет поверхностями, в том числе кухни и ванны.

Для них вполне естественно малое соотношение направленного и заливающего света, поскольку необходимое количество отраженного света создается естественным путем. Даже после ввода одного яркого источника света в такой обстановке свет от него должен отражаться практически на каждой поверхности, а наличие совершенно темных теней в данном случае выглядело бы неестественно.

- Облачная, пасмурная или снежная погода, когда солнца практически не видно, а свет по-разному отражается и рассеивается от неба. Если в типичной наружной сцене солнце выполняет функции источника направленного света, а небо служит основным источником заливающего света, то в подобных погодных условиях для ослабления солнечного света и повышения яркости неба требуется очень малое соотношение направленного и заливающего света.
- Некоторые виды продукции, в частности комедийные и детские телепрограммы. В таких случаях постоянно используются малые соотношения направленного и заливающего света (от 2:1 до 4:1) для сохранения радужного и веселого настроения. Для освещения каждого угла съемочной площадки и персонажей и формирования не очень темных теней вводится достаточное количество заливающего света.
- Малое соотношение направленного и заливающего света более предпочтительно для создания изображений, предназначенных для вывода на видеоленту, а не на пленку. Ведь обычные телевизоры не могут отображать все тона, которые передает пленка. Освещение на телевидении требует больше заливающего света на некоторых участках, с тем чтобы сделать их ярче, а значит, и заметнее.

Тем не менее необходимо следить за тем, чтобы соотношение направленного и заливающего света не оказалось намного ниже 2:1. Если источники заливающего света выбираются довольно яркими, т.е. на уровне или даже ярче источников направленного света, количества оттенков для затенения объектов и моделирования

с помощью освещения может оказаться недостаточно. Поэтому прежде чем вводить в сцену значительное количество заливающего света, необходимо убедиться, насколько удовлетворительными являются параметры и положение источника направленного света. Если источник направленного света не выполняет свои функции, лучше вернуться к его настройке, исправив положение, чем скрывать этот недостаток в тщетной надежде на его устранение чрезмерным количеством заливающего света. Так, если не удовлетворяет основное затенение и тени, которые дает источник направленного света, необходимо настроить именно этот источник, а не тратить зря время на увеличение количества заливающего света, чтобы в конце концов свести на нет действие источника направленного света.

При использовании в сцене нескольких источников заливающего света необходимо контролировать общую яркость, с тем чтобы она в конечном итоге не превысила яркость источника направленного света. Если, например, оба источника заливающего света освещают одни и те же плоскости объекта, для определения общей яркости заливающего света следует сложить величины яркости обоих источников. То же самое необходимо сделать и в том случае, если источники заливающего и направленного света освещают один и тот же участок сцены. При этом соотношение направленного и заливающего света определяется следующим выражением: направленный свет + заливающий свет : заливающий свет + заливающий свет.

БОЛЬШОЕ СООТНОШЕНИЕ НАПРАВЛЕННОГО И ЗАЛИВАЮЩЕГО СВЕТА

При соотношении направленного и заливающего света порядка 8:1 и выше появляется возможность придать эффектный вид темным, затененным сценам с большим контрастом света и тени. Уменьшение освещенности до полной темноты с одной стороны лица персонажа может оказаться уместным в некоторых сценах, как, например, в сцене внутри поезда метро, приведенной на рис. 3.26. Большое соотношение направленного и заливающего света иногда позволяет получать эффектные изображения, создающие сильное визуальное впечатление.

Обычно сцена фильма воспринимается "темной" не в связи с недодержкой пленки, а вследствие большого

Рис. 3.26. Большое соотношение направленного и заливающего света позволяет создать эффектный либо унылый вид



соотношения направленного и заливающего света. В создаваемой “темной” сцене по-прежнему могут быть видны некоторые хорошо освещенные детали на избранных, контролируемых участках для показа важных элементов при достаточном освещении. Воспользовавшись всем доступным диапазоном изменения яркости и большим соотношением направленного и заливающего света, можно сделать одни участки сцены хорошо освещенными, а другие — более темными.

Восприятие темноты может быть усилено скорее посредством контраста, чем недодержки. Секрет освещения темной сцены заключается в тщательном его контроле, а не в том, чтобы сделать всю сцену темной и мрачной. Так, в примере, приведенном на илл. 3.2, уменьшение освещенности в области теней до полной темноты достигается с помощью очень малого количества заливающего света. Благодаря этому создается впечатление темной сцены, хотя некоторые ее участки ярко освещены.

При освещении сцены очень малым количеством заливающего света необходимо убедиться в том, чтобы любые важные действия или фрагменты исполняемой персонажем роли все еще были видны в направленном свете. Если важно показать зрителю одни участки сцены, несмотря на то что другие участки находятся в темноте, необходимо осветить эти важные участки или детали настолько, чтобы они были довольно хорошо видны.

Ниже приведены некоторые ситуации, в которых можно ожидать меньше заливающего света, а следова-

тельно, выбрать большое соотношение направленного и заливающего света.

- Ночные сцены, как правило, с большим соотношением направленного и заливающего света. В ночных сценах по-прежнему требуется направленный свет, исходящий от луны или искусственного источника света, но естественный заливающий свет от неба при этом должен отсутствовать.
- Сцены из фильмов ужасов либо драматические и захватывающих сцены, которые зачастую лишь выигрывают от большого соотношения направленного и заливающего света. Использование меньшего количества заливающего света означает, что большая часть сцены скрыта в темноте, что нередко оказывается удобно для создания ощущения тревоги. Такой вид сцен характерен для киножанра, называемого *мрачным фильмом*.
- Работа, визуализированная для вывода на пленку и обладающая большим диапазоном изменения яркости, чем работа, визуализированная для вывода на видеоленту. В таких случаях соотношение направленного и заливающего света 8:1 придает высококонтрастный, эффектный вид сцене, предназначенной для телевидения. Но если сцена предназначена для кинофильма, для достижения аналогичного эффекта требуется соотношение 16:1 или выше.

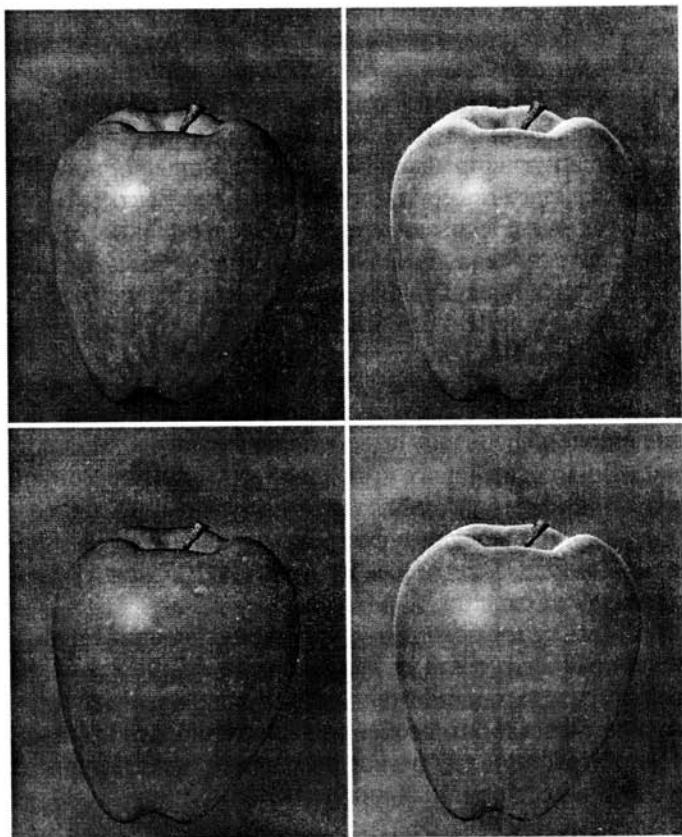
Далеко не всегда более четкое и привлекающее внимание освещение оказывается лучше, а наполовину освещенные персонажи имеют более “художественный” вид. Во многих видах кино-, видео- и анимационной продукции выгодно используется освещение, подсознательно усиливающее сцену по сравнению с освещением, привлекающим к себе внимание и отвлекающим зрителей от сюжета.

Кроме того, большое соотношение направленного и заливающего света делает направленный свет более резким, когда для смягчения его спада не хватает заливающего света. Это особенно характерно для компьютерной графики, где резкое освещение иногда придает сценам неестественный вид.

Задняя подсветка

Задняя подсветка — это условия освещения, унаследованные от черно-белого кинематографа и фотографии. Отсутствие цвета вынуждало фотографов и кинооператоров, работавших в черно-белом варианте, уделять больше внимания освещению, чем это требуется для работы в цветном варианте. И в этом отношении задняя подсветка является замечательным средством визуального выделения серого персонажа на сером фоне. При переходе на цветные носители задняя подсветка оказалась по-прежнему полезной, особенно в тех случаях, когда темноволосый персонаж находится на темном фоне. Тем не менее в цветном варианте задняя подсветка применяется нечасто и считается скорее необязательным, стилистическим средством. На рис. 3.27 показана одна и та же сцена в отсутствие задней подсветки и при ее наличии, причем в черно-белом варианте отличия более разительны.

Рис. 3.27. Черно-белый объект может сливаться с фоном (слева сверху), если его не выделить отчетливо с помощью задней подсветки (справа сверху). В цветном варианте объект легче различить на фоне без задней подсветки (слева внизу), применение которой мало что изменяет в визуализированном изображении (справа внизу)



Вводить заднюю подсветку в каждую сцену следует обдуманно. Как правило, контраста между объектом и фоном оказывается вполне достаточно, и поэтому между ними не требуется дополнительная отчетливая граница, образуемая задней подсветкой. Однако в некоторых сценах яркий свет позади персонажа может оказаться вполне правдоподобным. Необходимость в дополнительной задней подсветке зависит от выбранного визуального стиля продукции, а также от важности отделения переднего плана от заднего.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗАДНЕЙ ПОДСВЕТКИ

Иногда симитировать заднюю подсветку в компьютерной графике оказывается непросто. Так, для визуализации отчетливой границы света вокруг объекта на рис. 3.27 было использовано несколько источников контражурного света, показанных на рис. 3.28. Все эти источники расположены относительно камеры, а их освещение проверено с помощью пробной визуализации на предмет формирования видимой границы объекта. Таким образом, при установке задней подсветки следует непременно выполнять пробную визуализацию сцены под окончательным углом расположения камеры.

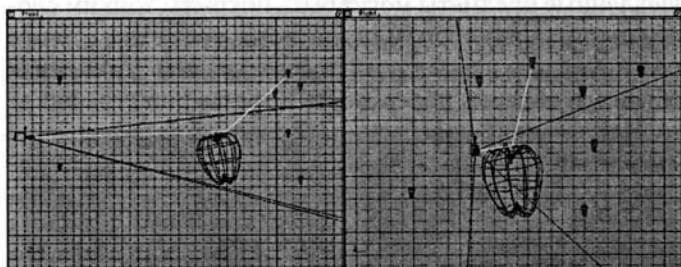
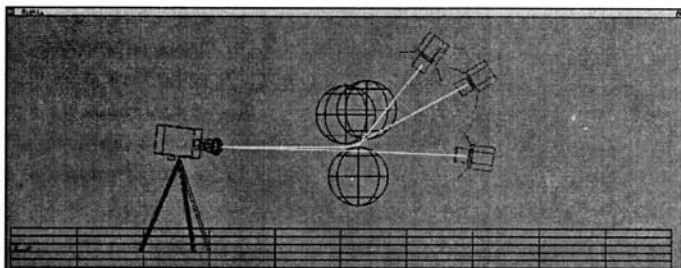


Рис. 3.28. Для формирования отчетливой границы света вокруг объекта иногда требуется несколько источников контражурного света

Как правило, задняя подсветка должна быть довольно яркой, но иногда она может быть даже ярче направленного света. А поскольку задняя подсветка находится позади объекта, лишь выделяя видимый край его поверхности, она не мешает затенению от направленного света.

В некоторых случаях эффект задней подсветки может быть сведен к минимуму либо полностью исключен в компьютерной графике там, где свет под тем же самым углом мог бы оказаться более эффективным в традиционном кинематографе. Для восполнения этого недостатка, возможно, придется пропорционально

Рис. 3.33. Несколько задних подсветок расширяют границу света



Применение нескольких источников света в качестве задней подсветки служит практическим примером изменения основной трехточечной схемы освещения. Иногда это необходимо для решения конкретных задач и достижения требуемых результатов.

Таким образом, кроме готового рецепта применения трехточечной схемы освещения, имеются многочисленные ее разновидности и варианты. Ни один из предложенных в этой главе вариантов не должен ограничивать инициативу читателя или отбивать у него всякую охоту к экспериментированию и отступлению от принятых норм. Надеемся, что принципы, положенные в основу трехточечной схемы освещения, расширят компетенцию читателя в вопросах и проблемах освещения объектов, чтобы на их основании разрабатывать собственные схемы освещения для своих сцен.

РЕЗЮМЕ

В этой главе представлен целый ряд важных понятий, которые читателю следует знать для ознакомления с материалом последующих глав либо для любой другой работы с освещением.

- Трехточечная схема освещения обычно применяется для решения весьма распространенной задачи: полноценного представления трехмерной формы с помощью двухмерного изображения. Эта задача решается путем затенения, которое иногда еще называется “моделированием с помощью освещения”.
- В хорошо освещенной сцене каждый источник света служит определенной цели: созданию направленного, заливающего света и задней подсветки.

- Как и все правила в искусстве, принципы трехточечного освещения являются не более чем общими рекомендациями, которые могут быть изменены и даже нарушены.

УПРАЖНЕНИЯ

Посмотрите любой фильм или видео, зафиксировав ряд его сцен в режиме стоп-кадра, и, проанализировав каждую из этих сцен, ответьте на следующие вопросы.

1. Где находятся источники направленного и заливающего света? Применяется ли задняя подсветка?
2. Имеется ли видимый (либо предполагаемый) источник света, обуславливающий направленный, заливающий свет или заднюю подсветку? Введен ли в сцену какой-нибудь дополнительный источник света, который по логике вещей должен отсутствовать по сюжету?
3. Имеет ли сцена большое соотношение направленного и заливающего света? Каким образом уровень контраста оказывает влияние на внешний вид сцены? Имеет ли соотношение направленного и заливающего света какое-то значение для окружающей обстановки данной сцены?
4. Найдите кадр с персонажем, стоящим на определенном фоне либо перед другим персонажем. Отличается ли освещение переднего плана от заднего? Помогает ли освещение каким-то образом отделить передний план от заднего?

4

ГЛАВА



ТЕНИ

Тени являются столь же важной составляющей схемы освещения, как и само освещение. Качество теней в визуализированном изображении способно придать сцене необходимый реализм, повысить богатство тонов, улучшить затенение изображения, связать вместе отдельные элементы и усовершенствовать композицию. Овладение техническими особенностями визуализации теней имеет не менее важное значение, чем освоение других аспектов трехмерной графики. Умение выбрать наиболее подходящий алгоритм формирования теней, освоение целого ряда специальных приемов имитации теней и манипулирования ими, а также знание методов оптимизации теней для ускорения процесса визуализации — вот отличительные признаки квалификации всякого профессионального художника, занимающегося трехмерной графикой. В этой главе рассматривается как техническая, так и чисто внешняя, визуально воспринимаемая сторона теней в трехмерной графике.



ВИЗУАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ТЕНЕЙ

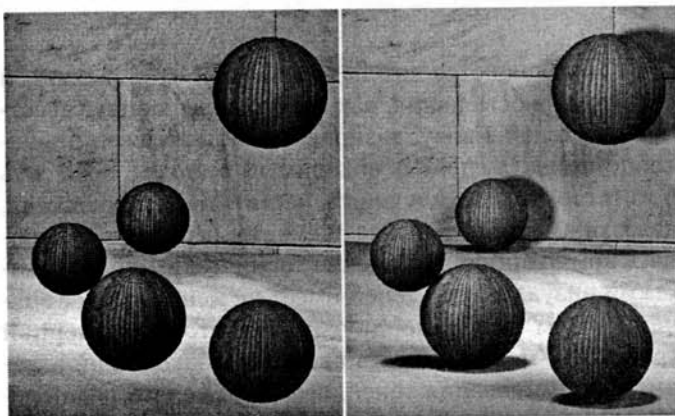
Принято считать, что тени заслоняют или ограничивают зрительное восприятие. Несмотря на то что объекты могут быть скрыты в тенях, последние способны также обнаружить то, чего без них не было бы видно. Ниже будут рассмотрены некоторые визуальные функции, выполняемые тенями в кинематографе и компьютерной графике.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СООТНОШЕНИЙ

Тени служат практической цели в большинстве сцен, определяя пространственное соотношение между объектами. Они показывают, где именно объект посажен в землю или как высоко над землей он находится. Так, без теней слева на рис. 4.1 невозможно точно определить, где именно находится каждый мяч. А если ввести тени, как показано справа на рис. 4.1, сразу же становится заметным относительное положение каждого мяча в отдельности и глубина всей сцены в целом. Тени показывают, находится ли мяч на земле, в воздухе либо рядом с другим мячом.

Рис. 4.1. На изображении слева невозможно определить, насколько близко к задней стене находится верхний большой мяч. Основное назначение теней состоит в определении пространственных соотношений между объектами



ВЫЯВЛЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РАКУРСОВ

Удачно расположенная тень способна выявить новый ракурс объекта, который иначе остался бы незамеченным. Когда тени формируют четкое, ясно определенное изображение объекта, как на рис. 4.2, их можно рассматривать в качестве самостоятельно визуализированного изображения. Так, тень от фигуры на рис. 4.2 обнаруживает профиль персонажа, который в противном случае не был бы виден в визуализированном изображении.

Многие программы трехмерной графики и анимации позволяют просматривать сцену с точки установки источника света, что помогает размещать и нацеливать источники света. Видимый контур объекта (его профиль, наблюдаемый с точки установки источника света) обнаруживает форму, которая визуализируется в виде тени. Это особенно важно, если используются темные, резко очерченные тени. Подобную отчетливую

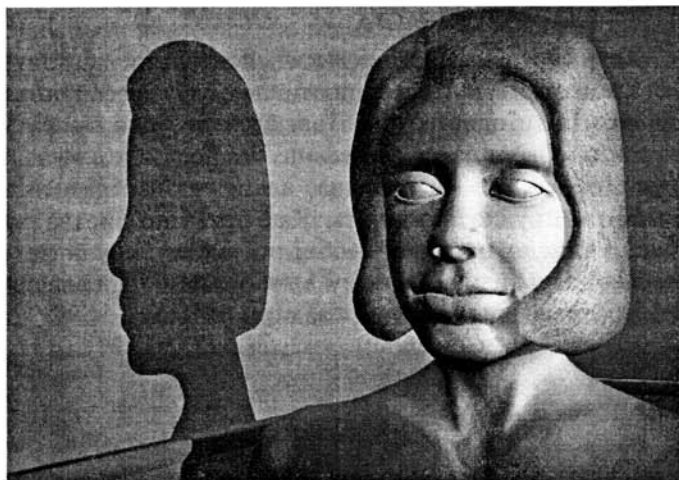


Рис. 4.2. Тень выявляет новый ракурс объекта

форму должны иметь далеко не все проецируемые тени, поскольку они зачастую оказываются мягче и утонченнее. Но если тень получается резкой и заметной, необходимо уделить особое внимание ее форме.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ

Тени могут играть важную роль в композиции изображения. Удачно расположенная косая или другая тень способна “разорвать” пространство, внося разнообразие в монотонность, непрерывность поверхности (рис. 4.3). Тень способна привлечь внимание зрителя к требуемой части визуализированного изображения либо создать новый конструктивный элемент для уравновешивания композиции.

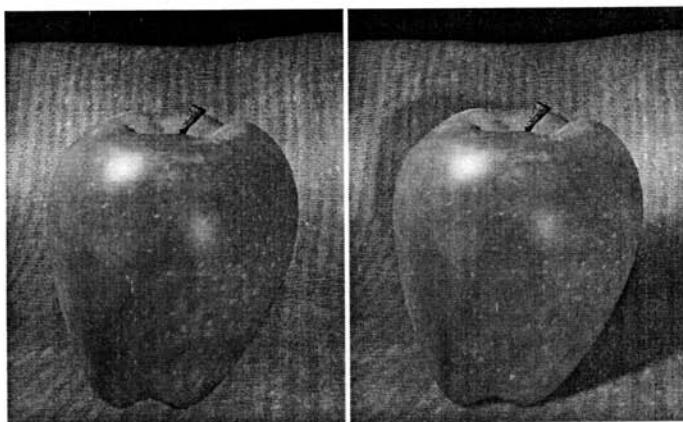


Рис. 4.3. Косая тень как бы разрывает пространство и улучшает композицию, придавая визуализированному изображению справа более привлекательный вид

ПОВЫШЕНИЕ КОНТРАСТА

Тень способна также повысить контраст между двумя элементами, которые в противном случае воспринимались бы в одном тоне. Так, если визуализировать красный объект на красном фоне, как показано слева на рис. 4.4, без теней отдельные элементы изображения было бы трудно различить. Как показано справа на рис. 4.4, тени придают необходимую глубину и четкость визуализированному изображению, повышая контраст между передним и задним планом.

Рис. 4.4. Тени повышают контраст между передним и задним планом



ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА ЗА КАДРОМ

Тени могут также указывать на наличие объектов за кадром. Создание ощущения “пространства за кадром” имеет важное значение для многих видов визуализируемой продукции, особенно для раскрытия сюжета. Тень, отбрасываемая объектами, находящимися за кадром, как бы раскрывает границы мира, наблюдаемого в кадре. Так, тени на рис. 4.5 сообщают немало дополнительных сведений о других элементах данного окружения.



Рис. 4.5. Тень обозначает то, что осталось за кадром

ОБЪЕДИНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЦЕНЫ

Компьютерная графика нередко используется для создания причудливых или неправдоподобных сцен, в которых рядом размещаются обычно не наблюдаемые вместе и, казалось бы, логически несовместимые элементы. Усиливая связь между объектами, тени способствуют также объединению отдельных элементов сцены, как показано на илл. 4.2 в сцене с гиппопотамом в поезде метро. Если один из объектов является по-

движным персонажем, взаимодействие движущихся теней еще больше подчеркивает взаимосвязь фигуры этого персонажа с окружающей его обстановкой.

Если требуется добиться нормального восприятия зрителями сложной сцены, важным элементом для этой цели может стать убедительное взаимодействие теней. Достаточно упустить единственный элемент (например, тень) в фотореалистичной продукции, чтобы зрители обнаружили в ней изъян. Тени придают изображению необходимый реализм и правдоподобие, даже если отсутствуют иные причины для их присутствия в композиции.

ВЫБОР ИСТОЧНИКА СВЕТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕНЕЙ

В сцене с несколькими разнотипными источниками света необходимо определить, какой из них должен давать тени и какой не должен этого делать. Для этого необходимо прежде всего проанализировать те заранее намеченные визуальные цели, которых требуется достичь с помощью теней, ответив на следующие вопросы: достаточно ли одного источника света для формирования теней? Имеются ли на сцене другие места, где должны быть тени? Нарушает ли реализм сцены отсутствие теней, которые должен давать определенный источник света?

СЦЕНЫ С ОДНОЙ ТЕНЬЮ

В некоторых видах продукции может быть вполне достаточно единственной тени от источника направленного света. В этом случае источники заливающего света устанавливаются в режим отсутствия теней. Такие условия освещения принимаются некоторыми аниматорами по умолчанию. Они пригодны для простой съемки в анимации персонажей, например, в том случае, когда персонаж должен отбрасывать тень на землю, а в области тени не требуется никаких сложных деталей. Объект, показанный на рис. 4.6, отбрасывает единственную тень. Результат получается простым и ясным, причем дополнительные тени здесь кажутся неуместными.

Рис. 4.6. Единственной тени от источника направленного света в данном случае оказывается вполне достаточно

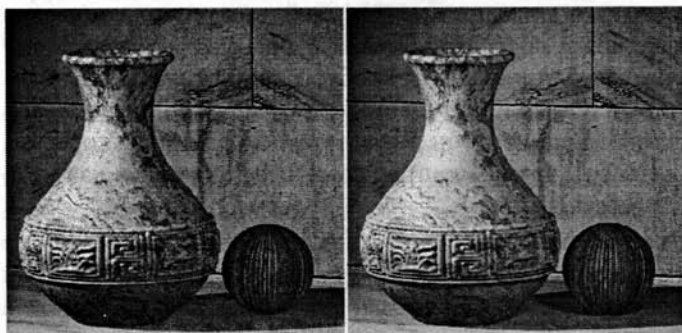


ТЕНИ ОТ ИСТОЧНИКОВ ЗАЛИВАЮЩЕГО СВЕТА

Помимо основной тени от источника направленного света иногда требуется дополнительная тень от источника заливающего света. Так, мяч, показанный слева на рис. 4.7, кажется висящим в воздухе, а не лежащим на земле, поскольку он не отбрасывает тень. А поскольку он находится на участке сцены, заслоненном от направленного света другим объектом (вазой), он освещен только заливающим светом, не дающим теней. Как показано справа на рис. 4.7, этот недостаток устраняется благодаря включению режима формирования теней источником заливающего света, несмотря на то что мяч уже находится в тени.

Если важная часть сцены оказывается в тени (т.е. в области, заслоненной от направленного света), могут потребоваться дополнительные тени от источника заливающего, контражурного и другого света. Ровные,

Рис. 4.7. Без дополнительного затемнения (слева) мяч не отбрасывает тень



безжизненные области тени, как, например, слева на рис. 4.7, не имеют достаточного затемнения и не отличаются разнообразием по сравнению с теми участками изображения, где нет теней. Дополнительные тени, в том числе и от источника заливающего света, позволяют обеспечить в областях тени столь же полную визуализацию света и тени, как и на остальных участках сцены.

БЕСПОРЯДОК, ВНОСИМЫЙ ТЕНЯМИ

Иногда приходится избавляться от ненужных теней. Кинооператоры отдали бы многое за то, чтобы исключить ненужные тени нажатием одной кнопки. Если установить все источники света в режим формирования теней, это может существенно замедлить процесс визуализации, а главное — внести в сцену беспорядок от множества ненужных теней либо привлечь внимание к целому ряду источников в сцене, дающих тени в разных направлениях. На рис. 4.8 показаны многочисленные тени, вносящие ненужные, отвлекающие внимание линии в визуализированное изображение.



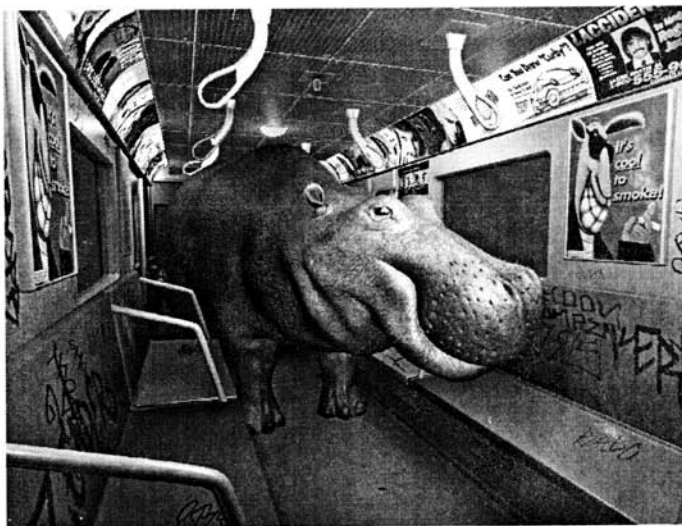
Рис. 4.8. Многочисленные тени способны внести в сцену беспорядок

Не следует думать, что наличие в сцене множества теней, формируемых методом трассировки лучей, автоматически повышает ее реализм. Иногда тени в настоящей сцене оказываются столь мягкими и тонкими, что их едва ли можно заметить, и поэтому исключение теней может придать визуализированному изображению более естественный вид, чем покрытие каждой поверхности накладывающимися тенями.

ИСКЛЮЧЕНИЕ ТЕНЕЙ

Если сцена не обязательно должна иметь реалистичный вид, исключение теней может оказаться стилистически оправданным решением, не снижающим ценность создаваемой продукции. Многие нарисованные от руки иллюстрации и кадры рисованной анимации создаются без теней, и поэтому исключать тени в них обычно не приходится. Как показано на рис. 4.9, удаление теней не ухудшает общее качество визуализации, а придает сцене более четкий, энергичный и несколько «иллюстративный» вид. Другие аспекты освещения (в частности, согласованные участки света и тени, а также полосы света на боку гиппопотама от бокового освещения) способствуют объединению отдельных элементов данной сцены и без теней. Только области пола вокруг ног гиппопотама явно недостает теней.

Рис. 4.9. Без теней изображение по-прежнему сохраняет свою целостность, хотя его стиль изменяется



Дополнительные тени способны лишь внести беспорядок в сцены со строго контролируемым, избирательным освещением, в то же время упрощенная визуализация, как, например, на рис. 4.9, может оказаться более привлекательным способом представления некоторых объектов.

Естественный вид сцен без теней объясняется, в частности, тем, что зрители не всегда могут определить, каким образом образуется темный участок визуализированной сцены: в результате залегания теней или по



Рис. 4.10. В этом изображении видны не сами тени, а области тени

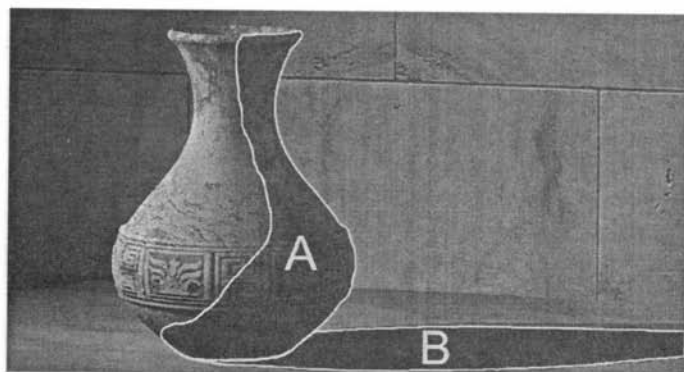
другим причинам отсутствия света на данном участке. В компьютерной графике тени строго определяются в качестве областей трехмерного пространства, в которых свет от источника заслоняется стоящим на его пути объектом. Но на практике термин “тени” трактуется более широко, обозначая практически любую темную или неосвещенную область. Так, многие могут сказать, что на неосвещенной стороне лица модели, приведенной на рис. 4.10, присутствует тень. Несмотря на то что тени формально не используются при визуализации, преобладающие темные участки, тем не менее, создают впечатление “затененной” сцены.

ОБЛАСТИ ТЕНИ

В отличие от света, для темноты источник не требуется. Зрители вряд ли смогут определить, откуда возникает темнота. Ведь в большинстве сцен все темные и неосвещенные участки визуально кажутся смешанными. Все соседние темные тона, получены ли они с помощью тени либо из-за отсутствия света, совместно образуют *области тени* в визуализированном изображении.

Область тени представляет собой часть изображения, включающую в себя не только то, что строго определено как тень (т.е. область, в которой свет заслоняется каким-нибудь объектом), но и другие неосвещенные участки. Так, участки изображения, обозначенные буквами А и В на рис. 4.11, относятся к области тени. Однако участок А оказывается темным, потому что данная сторона вазы обращена в противоположную от

Рис. 4.11. Участки А и В воспринимаются как области тени, но только участок В соответствует отбрасываемой тени



света сторону и не освещается — даже в результате визуализации в сцене теней. Формально тень отбрасывается только на участке В.

ЯРКОСТЬ ТЕНИ

Слишком темные или светлые тени выглядят нереалистично и даже отвлекают внимание (рис. 4.12). В реальном мире свет отражается от соседних поверхностей, и поэтому тени, в отличие от ярко освещенной поверхности, не бывают совершенно темными, причем освещение любой яркой поверхности распространяется отчасти и на соседние темные участки.

В большинстве фотографий соседние темные тона изображения уравниваются таким образом, чтобы при смешении они совместно образовывали области тени. Существуют и другие методы контроля яркости теней, причем некоторые наиболее очевидные из них отнюдь не являются самыми лучшими.

Рис. 4.12. Слишком темная область тени может выглядеть неестественно



ПАРАМЕТР ОКРАСКИ ТЕНИ

На панели управления источником света во многих программах компьютерной анимации имеется параметр Color Shadow (Окраска тени), иногда еще называемый Umbra Brightness (Яркость полной тени), обеспечивающий простой способ осветления теней. При установке этого параметра часть света просачивается непосредственно в область тени. Параметр окраски тени осветляет только отбрасываемую тень (т.е. участок, обозначенный буквой В на рис. 4.11), не заполняя неосвещенные стороны объектов (т.е. участки, обозначенные буквой А на рис. 4.11). Как показано на рис. 4.13, это создает потенциально неестественный эффект.

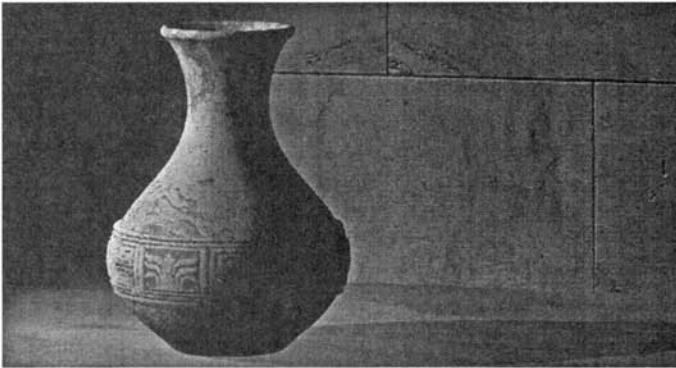
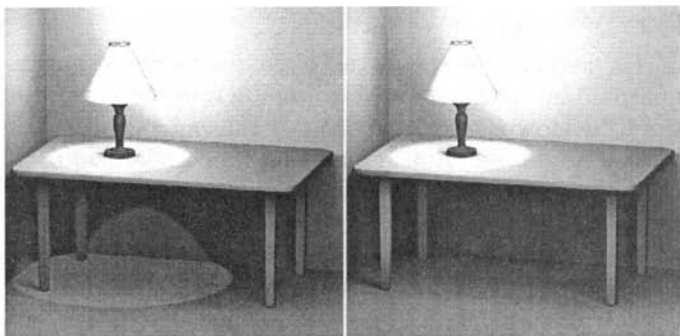


Рис. 4.13. Окраска тени осветляет только отбрасываемую тень, не затрагивая неосвещенную сторону объекта

Как следует из рис. 4.13, осветление отбрасываемой тени происходит в результате усиления окраски тени от направленного источника света, хотя неосвещенная сторона вазы остается по-прежнему темной. В итоге образуется область тени, не связанная с остальной частью сцены и имеющая неестественный вид, поскольку отраженный в помещении свет в реальных условиях освещает как область тени, так и неосвещенную прямым светом сторону вазы.

В связи с использованием параметра Color Shadow источника света для настройки яркости теней возникает ряд других затруднений. Так, если тени от источника света не являются сплошными, часть света от этого источника может проникать сквозь любую поверхность, в том числе стены и столы. В итоге создаются неестественные эффекты, как показано слева на рис. 4.14, где круг света от лампы проникает на пол под столом. Как показано справа на рис. 4.14, более реалистичный

Рис. 4.14. Окраска тени создает неестественный эффект проникновения света сквозь монолитные объекты



результат визуализации получается, если для параметра Color Shadow задано значение 0.

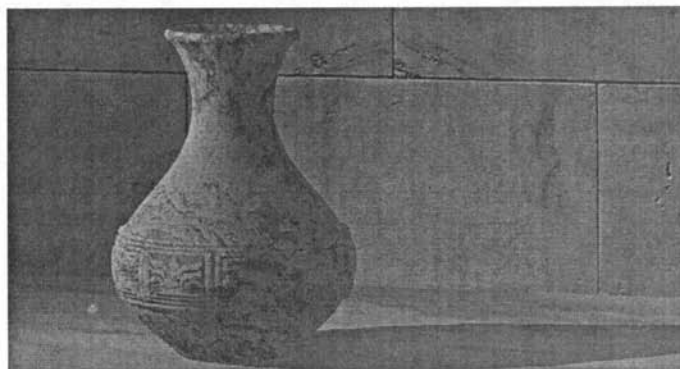
В реальном мире тень от монолитного объекта (в частности, от стола) оказывается полностью непрозрачной, а значит, она непроницаема для света. Отсутствие совершенно темных теней под столами в реальных условиях объясняется не тем, что свет от источника не проникает сквозь стол, а тем, что свет достигает области тени под разными углами.

ОСВЕТЛЕНИЕ ТЕНЕЙ ОБЩИМ ОСВЕЩЕНИЕМ

При активизации общего освещения более яркой становится вся сцена, включая и область тени, как показано на рис. 4.15.

Управлению окраской тени с помощью общего освещения присущи серьезные недостатки. Так, общее освещение вносит в область тени ровное, однородное освещение, не меняя затенение для моделирования объекта с помощью света. В результате равномерного общего освещения исчезают детали отделки, кривизна формы и разнообразие поверхности объекта, как, например, резной рисунок на боковой стороне вазы (см. рис. 4.15).

Рис. 4.15. Общее освещение осветляет область тени с помощью ровного, нереалистичного затенения



ОСВЕТЛЕНИЕ ТЕНЕЙ ЗАЛИВАЮЩИМ СВЕТОМ

Более практичный способ управления яркостью и окраской в области тени состоит в использовании заливающего света. Как видно на рис. 4.16, заливающий свет вносит тона, согласующие область тени с неосвещенной стороной объекта. Эти тона уравновешены, и поэтому вся область, находящаяся в тени, получается более согласованной и правдоподобной, а затенение в области отбрасываемой тени приобретает необходимое разнообразие.

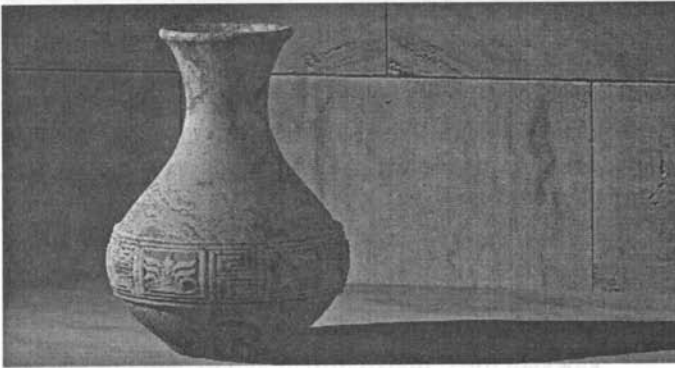


Рис. 4.16. Заливающий свет затемняет область тени более естественным образом, чем при увеличении яркости тени или активизации общего освещения

На рис. 4.17 представлена более реалистичная схема освещения, в которой источник заливающего света используется для осветления области тени.

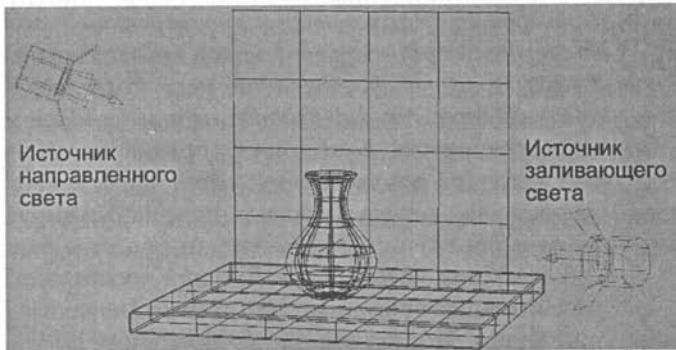
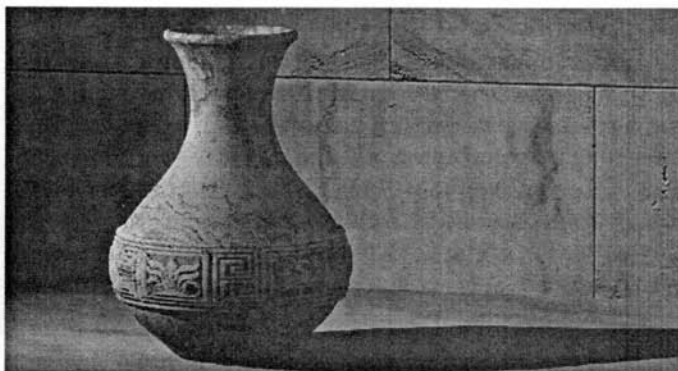


Рис. 4.17. Положение источника заливающего света для осветления области тени

Иногда вид теней получается более изысканным и интересным, если они визуализированы в цвете, контрастирующем с окружением или окраской основного света. Так, на рис. 4.18 заливающий свет, освещающий область тени, имеет голубую окраску, а основной свет, дающий тень, — желтую окраску.

Рис. 4.18. Окрашенный заливающий свет придает дополнительную окраску области тени



АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕНЕЙ

Многие программы визуализации позволяют выбрать один из двух следующих распространенных методов расчета теней.

- *Тень, формируемая методом трассировки лучей (raytraced shadow)*, рассчитывается с помощью процесса, называемого *трассировкой лучей (ray-tracing)*. При трассировке лучей прослеживается каждый путь, проходимый лучом света от его источника к каждой точке объекта. Программное обеспечение трассировки лучей точно определяет, заслоняют ли какие-либо объекты свет, хотя бы отчасти, чтобы образовать тень.
- *Тень, формируемая методом проецирования карты глубин (depth-mapped shadow)*, иногда еще называемая *тенью, формируемой методом проецирования карты теней (shadow-mapped shadow)*, визуализируется с помощью предварительно рассчитанной *карты глубин (depth map)*, позволяющей определить области тени в визуализируемом изображении. Карта глубин представляет собой массив чисел, обозначающих расстояния, рассчитанные программным путем до визуализации сцены. После измерения расстояний до точек в каждом направлении распространения света в карте глубин сохраняются расстояния от источника света до ближайшего отбрасывающего тень объекта, обнаруженного на пути света в каждом направлении. Во время визуализации имитируемые лучи света будут проходить граничные расстояния, указанные в карте глубин,

и поэтому свет не будет проникать дальше расстояния, хранящегося в данной карте для каждого направления его распространения. Таким образом, заслонение света другими объектами воспроизводится без обязательной проверки в средстве визуализации геометрической формы сцены во время визуализации каждой точки.

Формирование теней методами трассировки лучей и проецирования карты глубин дает внешне похожие результаты, причем зрители зачастую не замечают различий. Конкретный алгоритм формирования теней выбирается в зависимости от требуемой скорости визуализации, типа источника света, дающего тень, способности прозрачных объектов отбрасывать тени, а также от требуемой точности или мягкости теней.

Более подробно о трассировке лучей и других алгоритмах визуализации речь пойдет в главе 9.

СКОРОСТЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Для формирования теней методом трассировки лучей требуется больше времени, чем методом проецирования карты глубин. В первом случае средство визуализации должно обязательно проверить наличие на сцене объектов, отбрасывающих тени и находящихся между светом и визуализируемой точкой. Этот процесс может отнять немало времени — особенно при визуализации сложных сцен.

Тени, формируемые методом проецирования карты глубин, зачастую визуализируются намного быстрее, чем методом трассировки лучей, поскольку геометрическая форма сцены проверяется лишь один раз (первоначально при создании карты глубин). Для визуализации изображения с тенями, формируемыми методом проецирования карты глубин, средство визуализации может сразу приступать к определению по карте глубин граничного расстояния для распространения света, не прибегая к поиску на сцене отбрасывающих тень объектов во время визуализации каждой точки.

ТИПЫ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Тени, формируемые методом проецирования карты глубин, намного проще визуализируются программным путем от прожектора, чем от всенаправленного источника света. Для этой цели в карте глубин должны храниться данные о каждом направлении распространения света, что намного проще сделать, учитывая ограниченное распространение света в пределах конуса

прожектора по сравнению со всеми возможными направлениями распространения света от всенаправленного источника. Во многих программах режим формирования теней методом проецирования карты глубин предоставляется исключительно для прожекторов. А если этот режим предоставляется и для всенаправленных источников света, то для визуализации теней потребуются дополнительный объем оперативной памяти и время.

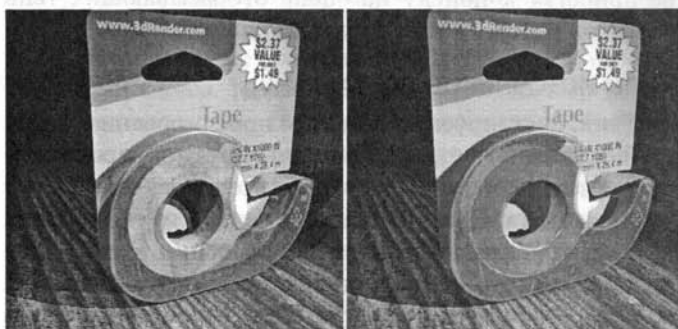
Формирование теней методом трассировки лучей может оказаться единственным доступным вариантом, если для этого используются отличные от прожекторов источники света. А поскольку не все программы поддерживают трассировку лучей, то в некоторых из них тени формируются только от прожекторов.

ИМИТАЦИЯ ПРОЗРАЧНОСТИ ТЕНЕЙ

Тень, формируемая методом трассировки лучей, может оказаться светлее там, где свет проходит сквозь частично прозрачную поверхность, и темнее, где свет полностью заслоняется непрозрачной поверхностью. Когда средство трассировки лучей обнаруживает стоящий на пути света прозрачный объект, оно может частично уменьшить силу света или даже изменить его окраску, прежде чем свет достигнет области тени. Слева на рис. 4.19 показано затенение области тени, сформированной методом трассировки лучей, для демонстрации прозрачных частей модели.

В связи с тем что в карте глубин хранятся только расстояния в каждом направлении распространения света (вместо яркости или цвета), она не в состоянии воспроизвести свет, частично заслоняемый прозрачными объектами, находящимися на разном расстоянии. Карты глубин действуют по принципу “все или ниче-

Рис. 4.19. Тень, сформированная методом трассировки лучей (слева), точно воспроизводит прозрачность, в отличие от тени, сформированной методом проецирования карты глубин (справа)



го”, поэтому они, как правило, дают одну и ту же тень как от прозрачных, так и от непрозрачных объектов, как показано справа на рис. 4.19.

Обратите внимание на то, что рулон ленты внутри держателя для клейкой ленты фактически становится темнее при формировании тени методом проецирования карты глубин, поскольку свет, определяющий тень, не проникает сквозь прозрачную пластмассу. Поэтому для устранения подобного недостатка при организации освещения с тенями, формируемыми методом проецирования карты глубин, иногда требуется ввести дополнительный источник света либо вообще исключить прозрачные поверхности из области отбрасываемых теней.

Тени, формируемые методом трассировки лучей, способны воспринимать окраску и форму карты прозрачности, применяемой к модели объекта, отбрасывающего эти тени. Как следует из рис. 4.20, рисунок на витражном стекле со спроецированной картой прозрачности полностью повторяется в отбрасываемой этим стеклом тени. На это не способны тени, формируемые методом проецирования карты глубин, хотя аналогичного результата можно добиться путем проецирования цветного рисунка непосредственно от источника света.

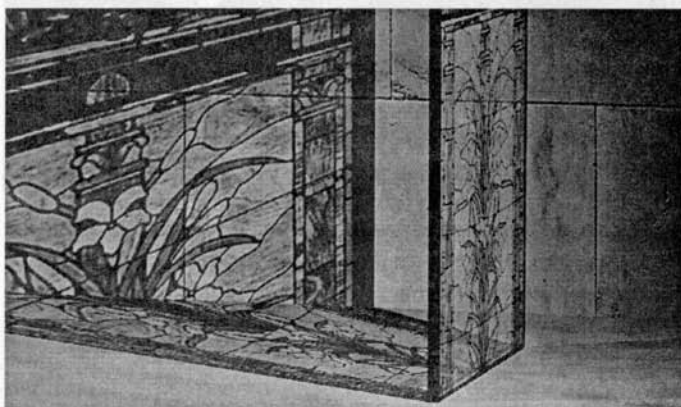


Рис. 4.20. Тень, формируемая методом трассировки лучей, способна воспринимать окраску прозрачных поверхностей

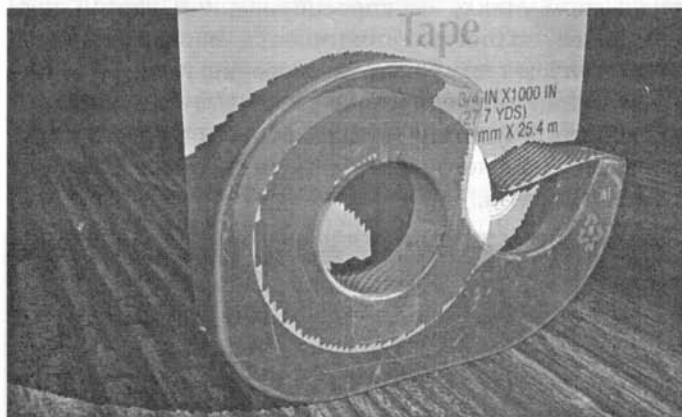
РАЗРЕШЕНИЕ

Тень, формируемая методом трассировки лучей, достаточно точно рассчитывается в каждой точке визуализируемого изображения. Каким бы ни было разрешение визуализируемой сцены, такая тень будет и далее оставаться резкой и детализированной.

Уровень детализации и точности тени, формируемой методом проецирования карты глубин, определяется разрешением карты глубин, которое обычно настраивается с помощью параметра Shadow Map Size (Размер карты теней) или Map Resolution (Разрешение карты). При повышении разрешения карты глубин формируемая с ее помощью тень может стать резче и точнее, хотя для этого потребуются дополнительный объем оперативной памяти и время визуализации.

На рис. 4.21 показана тень, формируемая методом проецирования карты глубин, при слишком низком разрешении, которого недостаточно для охвата светом всей поверхности объекта. Такая тень разделена на квадратные выборки, хотя в другой программе визуализации интерполяция между этими выборками может быть выполнена иначе, в результате чего проецируемая карта глубин с низким разрешением будет иметь более сглаженный вид.

Рис. 4.21. Низкое разрешение карты глубин может стать причиной неточного формирования теней



Если резко очерченные тени требуются на обширном участке, в этом случае больше подойдут тени, формируемые методом трассировки лучей. А карты глубин более пригодны для прожекторов с ограниченным углом конуса либо для охвата ограниченных участков, ибо если карта глубин должна охватывать большую площадь, для этой цели, возможно, придется увеличить ее разрешение, что потребует дополнительного объема оперативной памяти. Так, при разрешении 512 карте глубин требуется 1 Мбайт оперативной памяти на каждый источник света, а при разрешении 1024 — 4 Мбайт (если в программе используется 4 байта на каждое значение глубины, что, как правило, и бывает).

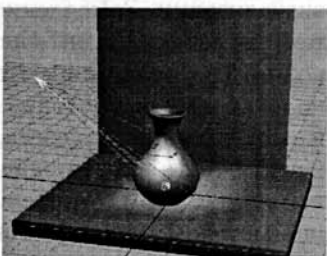
При выборе теней, формируемых методом проецирования карты глубин, целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями для получения наилучших результатов при приемлемом разрешении карты глубин.

- Направьте источник света, дающий тени, на конкретный ограниченный участок сцены, для охвата которого вполне достаточно разрешения карты глубин.
- Настройте любые источники света, дающие тени, формируемые методом проецирования карты глубин, таким образом, чтобы получить как можно более узкий конус, которого, однако, должно быть вполне достаточно для освещения объекта.
- Если светом и тенями должна быть охвачена большая площадь, расставьте несколько источников света для охвата этой площади по частям вместо того, чтобы использовать один источник света для освещения всей площади. Благодаря этому удастся избежать осложнений, связанных с применением карты глубин, а также внести некоторое разнообразие в освещение большой площади.
- В некоторых программах имеется режим, допускающий выход света за край конуса его источника. Этот режим удобен в том случае, если свет должен охватывать обширный участок, а тени — только его часть. Таким образом, образом конус источника света позволяет сосредоточить тени, формируемые методом проецирования карты глубин, на ограниченном участке, а свет без теней может распространяться в дополнительных направлениях.
- Еще один способ освещения обширного участка с тенями, формируемыми методом проецирования карты глубин, состоит в том, чтобы осветить сцену светом источника, не дающего тени, и добавить тени данного типа в разных местах, сосредоточив их вокруг объекта с помощью теневых источников света, более подробно рассматриваемых далее в этой главе.
- При создании большинства видов продукции пользуйтесь следующим эмпирическим прави-

1. Начните со сцены, где отсутствуют тени. Без специальных методов имитации теней отсутствие последних становится вполне очевидным, а связь между вазой и землей на рисунке справа выглядит неубедительной.



2. Направьте прожектор на тот участок сцены, где требуется симитировать тень, например вблизи нижнего края объекта. Не устанавливайте этот и другие находящиеся на сцене источники света в режим формирования теней.



3. Выполните пробную визуализацию и настройте прожектор таким образом, чтобы сделать ярче участок, который обычно затемнен настоящей тенью. Удалите на пути света от этого прожектора любой объект, который может отбрасывать тень. В данном случае таким объектом является ваза.



4. Установите отрицательное значение яркости (или множителя) прожектора, чтобы затемнить, а не осветить выбранный участок сцены. В итоге получится тень, очень похожая на настоящую, причем она сформирована с использованием намного меньших вычислительных ресурсов.



Источники света отрицательной яркости чаще всего применяются для незначительного затемнения участков сцены, в частности участков под столом, либо для уменьшения освещенности в углу помещения. Они также являются весьма привлекательными средствами имитации мягких теней без замедления процесса визуализации.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ТЕНЕЙ

В некоторых случаях в качестве теней могут быть использованы трехмерные модели, как, например, на рис. 4.23. Такой прием особенно распространен в видеоиграх реального времени, где время и возможности оборудования не позволяют формировать тени с помощью традиционных расчетов. Несколько окрашенных в темный цвет многоугольников под моделью персонажа или транспортного средства оказывается вполне достаточно для обозначения контуров тени.

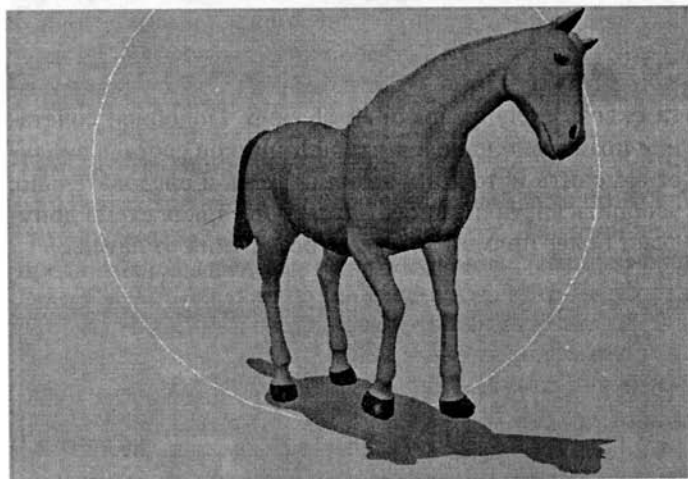


Рис. 4.23. Такой многоугольный каркас может быть сформирован в виде тени в программе Poser компании MetaCreation

Аналогичный метод применения плоского объекта для обозначения контуров тени вполне пригоден в некоторых видах анимации, стилизованных под рисованную анимацию (где детализированная форма тени может не потребоваться). Ограниченного перемещения простой окружности под персонажем может оказаться вполне достаточно, если такой стиль рисованной анимации более уместен для имитации тени, чем сложная форма. Как правило, подобный прием применяется

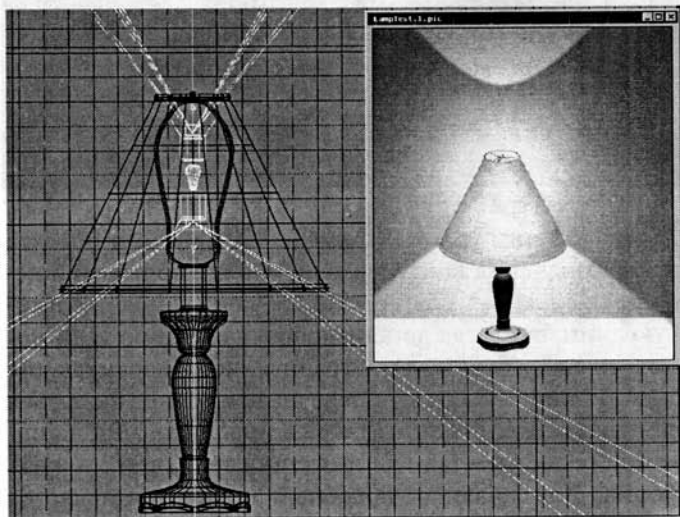
в том случае, когда отбрасываемая тень должна принимать простую форму на ровной поверхности, не затрагивая другие формы или поверхности.

СОКРАЩЕНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ В ТЕНЯХ

Самый простой и эффективный способ сокращения потребностей в тенях состоит в тщательном нацеливании и контроле источников света, чтобы исключить прежде всего освещение затененных участков. Достаточно убедиться в том, что затененный участок находится за пределами луча прожектора, вне диапазона затухания света или не охвачен выборочно связанным источником света, чтобы существенно сэкономить свое время и сократить продолжительность визуализации.

Принято считать, что абажур лампы отбрасывает тень. Но как видно на рис. 4.24, никаких расчетов для формирования теней не потребуется, если источник света, имитирующий лампочку, заменить рядом источников света, один из которых направлен вверх, а другой — вниз. При этом образуются два конуса света, исходящего из абажура. Третий, менее яркий, источник света является всенаправленным и вообще не дает тень. Этот источник создает эффект прохождения света сквозь полупрозрачный абажур. Подобное сочетание правильно нацеленных источников света позволяет заменить источник, дающий тени, а следовательно, ускорить визуализацию. Кроме того, такая схема допускает более прямой контроль освещения от лампы.

Рис. 4.24. Тщательно нацеленные источники света исключают необходимость расчетов для формирования теней



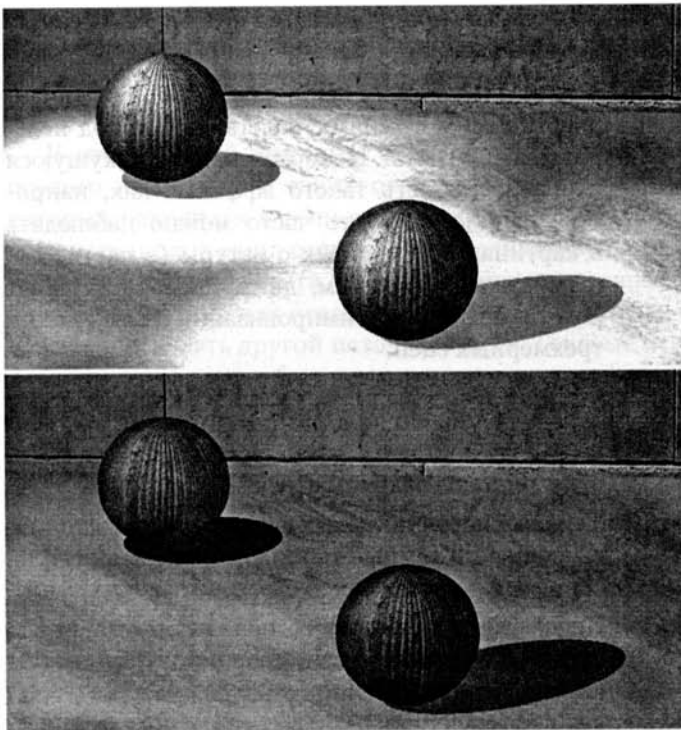


Рис. 4.25. Если обычные источники света (вверху) дают свет и тени, то теневые источники света (внизу) дают только тени и не повышают освещенность сцены

ТЕНЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Иногда требуется, чтобы конкретный источник света не освещал сцену, а лишь давал тени. Для этой цели предназначены *теневые источники света (shadow-only lights)*, которые дают только тени, но не свет. Вверху на рис. 4.25 показано освещение источниками света, расположенными вокруг двух мячей и дающими свет и тени, причем тени от разных источников залегают под разными углами. Если же требуется сохранить тени, но избавиться от света, эти источники света можно переключить в теневой режим, как показано внизу на рис. 4.25.

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕНЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В реальной жизни теневой источник света отсутствует. Тени представляют собой участки, где отсутствует освещение светом, заслоняемым определенными предметами. Поэтому если отсутствует свет, отсутствуют и тени. Теневые источники света представляют собой специальные средства, применяемые в компьютер-

ной графике. Они могут оказаться полезными в самых разных ситуациях.

- Теневые источники света позволяют визуализировать сцены с тенями, залегающими под невероятными углами. Несмотря на всю кажущуюся нереалистичность такого эффекта, как, например, на рис. 4.25, его часто можно наблюдать в картинах, написанных с натуры (в частности, в пейзажах с солнцем, движущимся по небу). Это удобный прием импровизации и стилизации трехмерных сцен.
- Если несколько разнотипных источников света освещают объект под разными углами, то теневой источник света позволяет визуализировать одну тень под заданным углом.
- Теневые источники света дают сколь угодно насыщенные и темные тени, даже при наличии на сцене ярких источников света, не дающих тени.
- Для более эффективного использования теней, формируемых методом проецирования карты глубин и охватывающих лишь небольшие участки, всю сцену можно осветить одним источником, не дающим тени, а на отдельных ее участках сформировать тени с помощью теневых источников света.

Теневые источники света используются далеко не всегда, однако они являются эффективными средствами, вполне доступными для применения там, где это уместно.

ИМИТАЦИЯ ТЕНЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Если в программе отсутствует возможность создания теневого источника света, это, как правило, можно сделать следующим образом.

1. Создайте стандартный источник света (в частности, прожектор или точечный источник света). Включите режим формирования теней, чтобы этот первый источник света давал нужные тени во время визуализации.
2. Для исключения света от первого источника создайте его точную копию, оставив ее в том же положении. Внесите изменения в копию первого источника света, не меняя ее положения, следу-

ющим образом: выключите режим формирования теней и установите отрицательное значение яркости или множителя (например, если яркость равна 1.0, измените ее на -1.0).

В итоге второй источник света исключит свет от первого источника, а также освещение того участка, который находился в тени от первого источника. Эта пара источников света совместно выполняет функцию теневого источника света, т.е. они ничего не освещают на сцене. Поэтому для освещения любого объекта следует использовать другой источник света. Теневые источники света могут быть симитированы описанным выше способом с помощью теней, формируемых методом проецирования карты глубин или трассировки лучей.

КОГДА УМЕСТНА ИМИТАЦИЯ ТЕНЕЙ

При выборе методов формирования или имитации теней следует руководствоваться собственным опытом и здравым смыслом. Так, растущее быстроедействие компьютеров, а также конкретные условия и сроки производства могут поставить под сомнение целесообразность имитации теней ради сокращения продолжительности визуализации.

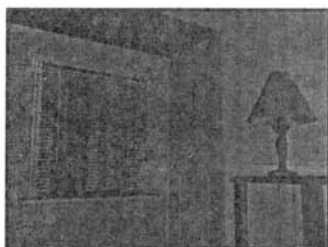
С другой стороны, умение импровизировать, применяя различные приемы имитации теней и манипулирования режимами их визуализации, является ценным профессиональным качеством. Ведь всегда лучше знать 10, а не один единственный способ достижения конкретного результата.

Некоторые приемы полезны не только для сокращения продолжительности визуализации, но и для более удобного и прямого контроля конечного результата, ибо они дают возможность добиться наиболее подходящего качества теней в конкретной сцене.

УПРАЖНЕНИЯ

Если уделять теням должное внимание, это положительно сказывается на результатах визуализации, поэтому экспериментировать с тенями всегда выгодно. Для того чтобы сосредоточить основное внимание на тенях, ответьте на приведенные ниже вопросы касательно применения теней в своих любимых фильмах и на фотографиях, а также в собственных работах.

1. Посмотрите какой-нибудь видеофильм, остановив его воспроизведение на отдельных кадрах в режиме стоп-кадра. Где видны тени? Дает ли их один и тот же источник? Соответствует ли темнота теней уровню контраста в сцене?
2. Проанализируйте изображение персонажа крупным планом. Падают ли тени на его лицо? Можно ли определить по теням угол освещения?
3. Проанализируйте ряд созданных ранее визуализированных изображений. Какие упомянутые в этой главе визуальные функции выполняют в них тени? Насколько подходящим для сцены является количество, темнота и мягкость теней? Видны ли в области теней детали затенения?



СВОЙСТВА СВЕТА

Чем один источник света отличается от другого? Такие разные источники света, как солнце, луна, лампа и огонь, имеют свой ни на что не похожий и легко распознаваемый на сцене вид. Особенности, придающие своеобразие каждому источнику света, называются *свойствами света*. В этой главе рассматриваются пять свойств света, которые следует знать и уметь различать в реальном мире, а также методы убедительной имитации этих свойств в трехмерных визуализируемых сценах.



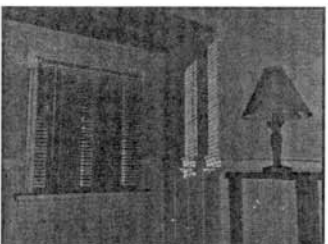
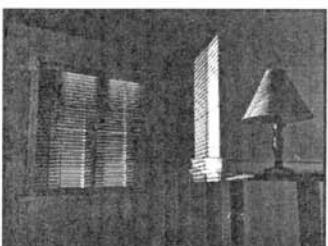
ОПИСАНИЕ СВЕТА

Свет может быть описан с помощью неограниченного числа эпитетов, причем все они могут быть отнесены к разряду “свойств света”. В этой главе подробно рассматриваются пять следующих свойств света:

- мягкость;
- сила;
- окраска;
- проекция;
- анимация.

Приведенный выше перечень вряд ли способен охватить все свойства света. Он скорее очерчивает пять категорий вполне распознаваемых свойств света, на которые целесообразно обращать внимание, изучая настоящий источник света, а затем воспроизводить в трехмерных сценах.

Многие слова, которыми люди описывают “свойства света”, фактически могут быть отнесены к одной из



упомянутых выше пяти категорий. Так, свойство “пятнистости” описывает *проекцию*, свойство “мерцания” — *анимацию*, а свойство “теплоты” — *окраску* света. Все эти категории свойств света более подробно будут рассмотрены далее в этой главе.

Удачная интерпретация пяти свойств света позволяет правильно передать характерные черты настоящих источников света, воспроизводимых в визуализируемых сценах, чем всегда выгодно отличаются качественно выполненные работы.

МЯГКОСТЬ СВЕТА

Мягкость относится к одним из самых важных свойств света, зачастую неудачно воспроизводимых в компьютерной графике. Свет в визуализируемых сценах может быть воспроизведен мягким или резким.

Большинство источников света, применяемых в компьютерной графике, дают *резкий* свет. Резким считается слишком отчетливо очерченный свет, исходящий от очень малого и сильно удаленного источника. Такой свет нетрудно распознать, поскольку он дает очень резкие тени и обычно создает небольшие, плотные подсветки. На рис. 5.1 приведена сцена, освещенная стандартным прожектором, дающим тени, формируемые методом трассировки лучей, а также очень резкий свет. Обратите внимание на резкую границу между областями света и тени в данном визуализированном изображении, а также на яркую, отчетливую подсветку на некоторых объектах.

Рис. 5.1. Эта сцена освещена резким светом



Воссоздать *мягкий* свет на компьютере намного труднее, чем резкий. Тем не менее мягкий свет встречается в реальном мире не менее часто. Мягким считается рассеянный каким-то образом свет. Так, свет от лампочки становится мягким, если пропустить его сквозь ткань абажура, а солнечный свет смягчается облачным небом. Мягкий свет распознается по рассеянным теням с мягко, а не резко очерченными краями, а также по более широким и менее отчетливым областям света и тени на освещаемых поверхностях. На рис. 5.2 приведена сцена, освещенная источником света, дающим очень мягкое освещение.

СТЕПЕНЬ РЕЗКОСТИ ИЛИ МЯГКОСТИ СВЕТА

В реальной жизни существуют источники резкого и мягкого света, поэтому важно научиться выбирать наиболее подходящую степень резкости или мягкости света в каждой схеме освещения. Резкий свет целесообразно использовать в следующих случаях.

- Имитация освещения непосредственно от небольшого, сосредоточенного источника света (в частности, электрической лампочки, подвешенной в помещении).
- Имитация прямого солнечного света в ясный день.
- Освещение космических сцен. В данном случае может быть использован источник очень резкого света, поскольку свет достигает объектов без рассеяния в атмосфере.



Рис. 5.2. Эта сцена освещена мягким светом

- Привлечение внимания зрителей к искусственному источнику света, как, например, в сцене с цирковым артистом, освещаемым прожектором.
- Проецирование теней отчетливой формы, в частности, для того, чтобы зрители распознали злодея по его тени на стене.
- Освещение неприветливой обстановки. Резкий свет обычно придает сцене жесткий вид и вызывает у зрителей чувство тревоги.

Мягкий свет целесообразно использовать в следующих случаях.

- Воспроизведение естественного света в пасмурный день, когда тени не вполне отчетливы.
- Воспроизведение света, отраженного, в частности, от стен или потолка. Такой свет, как правило, получается мягким.
- Воспроизведение света, проходящего сквозь полупрозрачные материалы, в том числе шторы или абажуры.
- Придание сцене более привлекательного вида. Мягкий свет придает многим сценам более уютный и расслабляющий вид и делает объекты более естественными и органичными. Большинство приборов для освещения помещений предназначено для создания рассеянного или отраженного света от лампы, который таким образом смягчается.
- Представление персонажей в выгодном свете. Показ многих голливудских кинозвезд крупным планом зачастую осуществляется при мягком свете.
- Повышение реалистичности визуализируемых на компьютере изображений. Исторически сложилось так, что главным изъяном большинства трехмерных визуализированных сцен всегда было очень резкое освещение, поэтому мягкий свет позволяет избежать этого недостатка.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЯГКОГО СВЕТА

В основу большинства трехмерных источников света (в частности, стандартных точечных источников света и прожекторов) положена бесконечно малая светящаяся точка пространства, вообще не рассеивающая

свет и поэтому дающая резкий свет. Тем не менее для имитации и визуализации мягкого света в большинстве программ компьютерной графики и анимации имеется целый ряд возможностей.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Поверхностный источник света является одним из наиболее эффективных средств воспроизведения мягкого света в компьютерной графике и анимации. Такой источник света воспроизводит рассеиваемый естественным образом мягкий свет, исходящий из определенной поверхности, а не из одной точки. Чем больше площадь поверхностного источника света, тем мягче свет и тени (рис. 5.3).

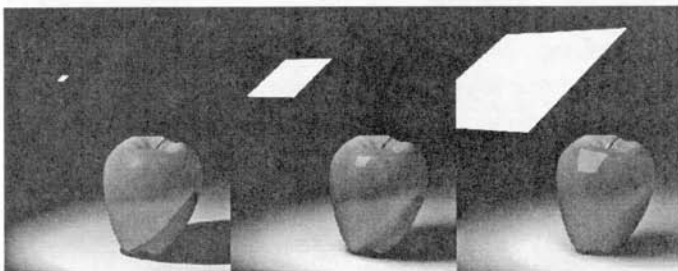


Рис. 5.3. Мягкая тень от яблока увеличивается по мере увеличения площади поверхностного источника света

Несмотря на то что поверхностные источники света способны придать сцене весьма привлекательный вид, они малопригодны для практического применения в компьютерной графике и анимации в настоящее время, вследствие того что сцены с такими источниками, дающими тени, визуализируются довольно медленно.

НА ЗАМЕТКУ

Применение поверхностных и линейных источников света более подробно рассматривается в главе 2.

ИМИТАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Воспроизведение мягкого света не ограничивается только отдельными программными и аппаратными средствами, в которых применяются самые сложные алгоритмы визуализации. Результатов, аналогичных тем, что дают поверхностные источники света, можно добиться следующим образом.

1. Начните с освещения сцены одним прожектором, как показано на рис. 5.4.
2. Используйте по возможности тени, формируемые методом проецирования карты глубин, с мягкими краями, как показано на рис. 5.5. Полученный результат пока еще мало похож на действие поверхностного источника света, одна-

Рис. 5.4. Начальное освещение сцены одним прожектором

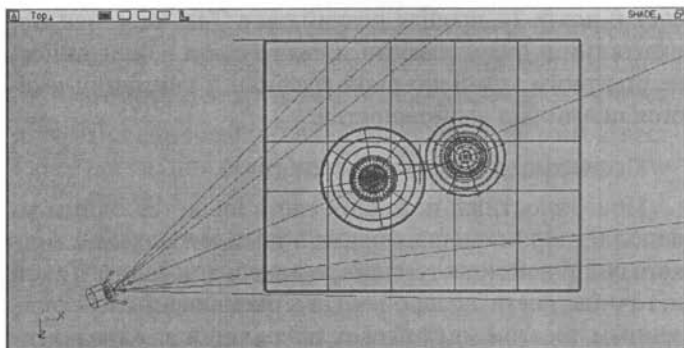


Рис. 5.5. Единственный прожектор не дает достаточно мягкий свет



ко данная мера позволяет исключить резкие края теней.

3. Уменьшите исходное значение яркости (или множителя) света приблизительно на 20%.
4. Сделайте четыре копии источника света, не меняя его параметров настройки. Расставьте вновь полученные источники света так, как показано на рис. 5.6.

Рис. 5.6. Ряд источников света делает освещение сцены более мягким и рассеянным

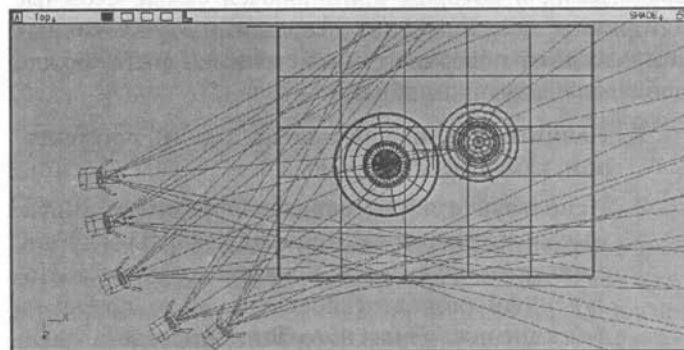




Рис. 5.7. Имитируемый поверхностный источник света, способный действительно давать очень мягкий свет

5. Выполните визуализацию сцены. Результат, приведенный на рис. 5.7, аналогичен тому, что дает поверхностный источник света, хотя визуализация данной сцены выполняется намного быстрее.

Мягкие тени могут быть сделаны более плавными и сплошными путем увеличения числа отдельных источников света, хотя и за счет более продолжительной визуализации.

Тени на рис. 5.7, как и от поверхностного источника света, становятся более рассеянными по мере удаления от отбрасывающего их объекта. Так, тень вблизи основания лампы выглядит отчетливой, а на задней стене — рассеянной.

ВИЗУАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ МЯГКОГО СВЕТА

Помимо возможности использовать несколько источников света для имитации источника мягкого света, ряд других параметров сцены позволяют придать ей смягченный вид. Для имитации некоторых визуальных признаков, характерных для мягкого света, можно придерживаться следующих рекомендаций.

- Избегайте плотных, зеркальных подсветок. Установите режим визуализации материалов с более широкими и менее резко очерченными подсветками.
- Если воспроизводится очень мягкий свет, в частности свет, отраженный от стены, сделайте так, чтобы он вообще не давал зеркальных подсветок. Для этого во многих программах имеется воз-

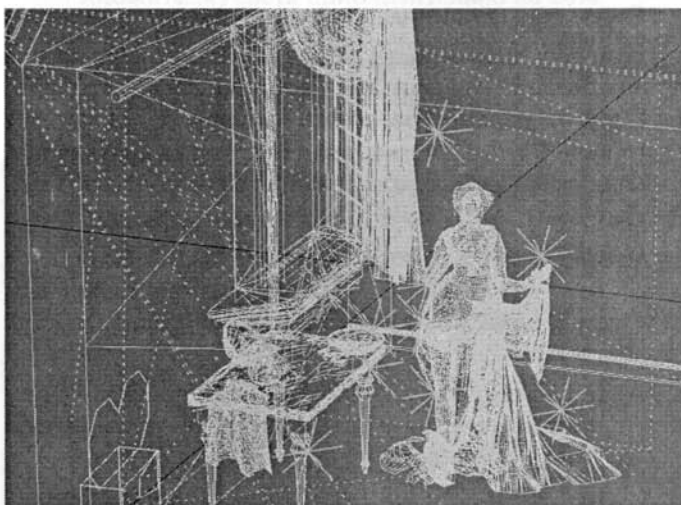
возможность отключить режим формирования зеркальных подсветок источником света.

- Введите дополнительные источники заливающего света, чтобы усилить освещение от источника направленного света и воспрепятствовать появлению резкой границы света и тени на любом краю объекта.
- Избегайте резко очерченных теней. Если недоступны поверхностные или другие источники света, дающие тени, формируемые методом трассировки лучей, используйте смягчаемые тени от прожектора, формируемые методом проецирования карты глубин.
- Настройте спад или угол рассеяния конуса прожектора таким образом, чтобы край конуса исчез незаметно.

Благодаря особому вниманию к упомянутым выше визуальным признакам мягкого света изображение, приведенное на илл. 5.2, было визуализировано без применения поверхностных источников света.

Освещение спины купальщицы получилось таким же мягким, каким оно должно быть от расположенного рядом большого окна. Подобная мягкость освещения достигнута благодаря применению нескольких источников, рассеивающих и смягчающих свет, в сочетании с соответствующей настройкой параметров поверхности объектов. На рис. 5.8 показана схема расположения 24 точечных источников света и прожекторов.

Рис. 5.8. Схема расположения многочисленных источников света в трехмерной сцене “Купальщица”



Подобные методы применяются не только для имитации поверхностных источников света, но и в качестве наиболее распространенного варианта смягчения света в профессиональных работах. До настоящего времени большинство кадров фильмов, содержащих сформированные на компьютерах изображения, визуализировались без широкого применения методов трассировки лучей, излучательности или поверхностных источников света. Вместо этого для формирования теней применялись прожекторы и метод проецирования карты глубин.

Выбор простых, эффективных и поддающихся управлению средств для создания законченной схемы освещения не должен нарушать принятые производственные принципы. В самом деле, использование наиболее подходящих функций программного обеспечения для эффективного выполнения пробной и окончательной визуализации сцены представляет собой наилучший метод разработки самых честолюбивых проектов без перегрузки системы более сложными методами визуализации, заставляющими испытывать терпение.

СИЛА СВЕТА

Одним из самых заметных свойств света является его сила (или яркость). В главе 3 при рассмотрении трехточечной схемы освещения сила света была основным определяющим фактором освещения объекта, будь то источник направленного или заливающего света.

Управление силой света источника осуществляется путем изменения яркости его окраски основными цветами RGB либо с помощью специальных параметров яркости или множителя. В некоторых программах имеются также элементы группового или глобального управления освещением, позволяющие одновременно изменять силу света всех или некоторых источников света.

Независимо от освещения сцены солнечным светом либо светом свечи, зрение человека приспособливается к яркости освещения окружающей среды. Для правильной экспозиции пленки или видеозаписи используется яркость слабого освещения свечой либо сильного освещения сцены солнечным светом.

В большинстве программ трехмерной графики и анимации отсутствуют имитируемые параметры экс-

позиции камеры, настраивающие камеру на разные условия освещения окружающей обстановки. В итоге в компьютерной графике сила света источника в большей степени учитывается при выборе яркости окончательно визуализируемого изображения, чем при настройке камеры.

В связи с тем что внешний вид источника света меняется в каждой экспонируемой по-разному сцене, один и тот же тип источника света (в частности, бытовой лампы) должен иметь разную силу света во всякой сцене, где он появляется. Так, если визуализируется сцена, освещенная лампой, в этом случае скорее всего выбирается достаточно большая сила света этого источника, как показано на рис. 5.9.

Если же лампа находится рядом с окном, освещенным солнечным светом, яркость ее освещения следует значительно уменьшить для реалистичного представления силы ее света (рис. 5.10).

Таким образом, сила света в большинстве программ не является столь же “переносимым” параметром, как другие свойства объектов, поэтому ее значение должно

Рис. 5.9. Для имитации чувствительной к свету экспозиции сцены можно выбрать довольно большую яркость лампы, которая служит единственным источником света в данной сцене

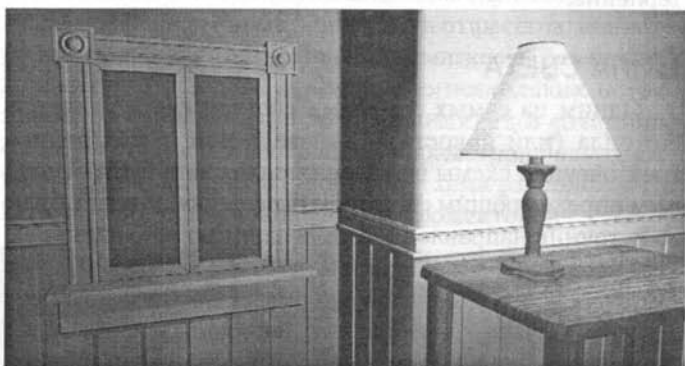
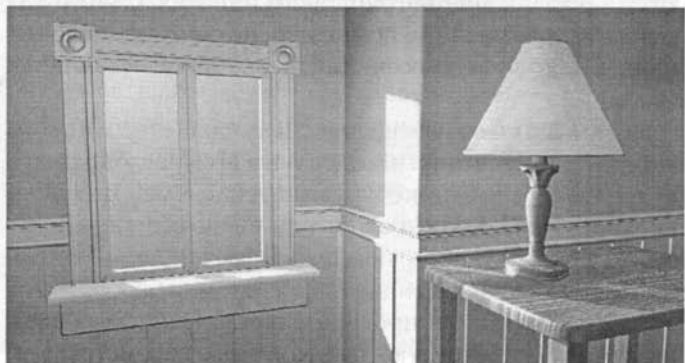


Рис. 5.10. Если солнце является преобладающим источником света в сцене, яркость света лампы должна быть значительно уменьшена



быть переосмыслено перед копированием в другие сцены. Это также означает, что для выбора экспозиции в соответствии с яркостью конкретного источника света не поможет никакая диаграмма или справочная таблица, как это может быть сделано, например, для пленки (если только средство визуализации не имитирует процесс экспонирования в камере).

Более подробно яркость источников света в трехмерной сцене рассматривается в главе 7.

ЗАТУХАНИЕ

Помимо того что источники света обладают разной силой света при разной экспозиции, еще одним фактором, оказывающим влияние на силу света источника, является расстояние между освещаемым объектом и источником света. В реальном мире свет, проходящий от источника к объекту, ослабевает по мере удаления объекта от источника света. Например, если поднести руку близко к лампочке, она будет освещена достаточно ярко, а если отвести руку на полметра от лампочки, освещение руки уменьшится до умеренной величины. Уменьшение силы света по мере его удаления от источника называется *затуханием (attenuation)*.

Если свет излучается из одной точки, его затухание происходит по *закону обратных квадратов*. Это означает, что освещение в данной точке равно силе света в месте расположения его источника, деленной на квадрат расстояния до освещаемого объекта. Данное соотношение может быть выражено следующей формулой:

$$\text{освещение объекта} = \text{сила света} + \text{расстояние}^2.$$

Следует, однако, иметь в виду, что в соответствии с законом обратных квадратов отсутствует какое-либо "предельное" расстояние для распространения света, ибо источник света может освещать любой находящийся на сцене объект независимо от его удаленности, если это достаточно яркий источник. Сила света уменьшается с расстоянием сначала наполовину, а затем еще больше, хотя и не обязательно до нуля. И несмотря на то что свет может теоретически распространяться до бесконечности, на некотором расстоянии освещение практически не позволяет что-либо различить на сцене.

Благодаря спаду силы света по закону обратных квадратов появляется возможность контролировать размер освещаемого участка. Чем ярче свет, тем большую часть сцены он освещает. Если же свет очень слабый, он будет освещать лишь небольшой участок сцены и быстро перестанет быть видимым.

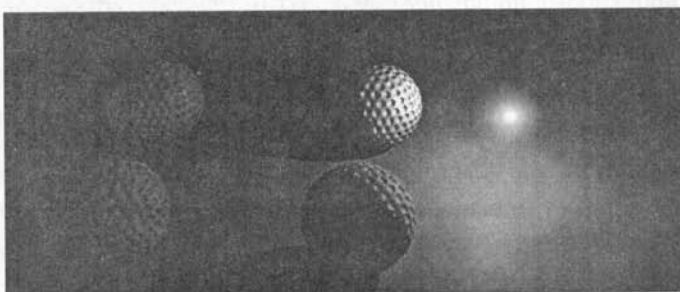
ЗАТУХАНИЕ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Большинство программ компьютерной графики и анимации допускает определенную настройку затухания света с помощью таких параметров, как “спад”, “спад на расстоянии”, “затухание” или “ослабление”.

ЗАТУХАНИЕ ПО ЗАКОНУ ОБРАТНЫХ КВАДРАТОВ

Несмотря на то что распространение света по закону обратных квадратов ближе всего соответствует реальному освещению, это не самый удобный вид затухания света в компьютерной графике. Спад света по закону обратных квадратов означает изменение силы света до такой степени, что вблизи его источника образуются яркие пятна, а по мере удаления от него появляются недостаточно хорошо освещенные участки (рис. 5.11). Отсутствие какого-либо абсолютного предельного расстояния для распространения реального света означает увеличение объема расчетов освещения даже самых удаленных участков сцены каждым источником света, даже если свет оказывается слишком слабым для того, чтобы можно было что-либо различить на сцене.

Рис. 5.11. При спаде по закону обратных квадратов свет сосредоточивается вблизи его источника



В силу упомянутых выше обстоятельств в компьютерной графике, помимо спада света по закону обратных квадратов, применяются и другие виды затухания. Более того, этот вид затухания не нашел большого распространения, причем в одних программах он вообще отсутствует, а в других предоставляется в качестве дополнительной возможности.

ЛИНЕЙНОЕ ЗАТУХАНИЕ

При линейном затухании света образуется более ровный переход от света к тени, чем в реальной жизни (рис. 5.12). Линейный спад позволяет установить расстояние, на котором свет полностью затухает, а также

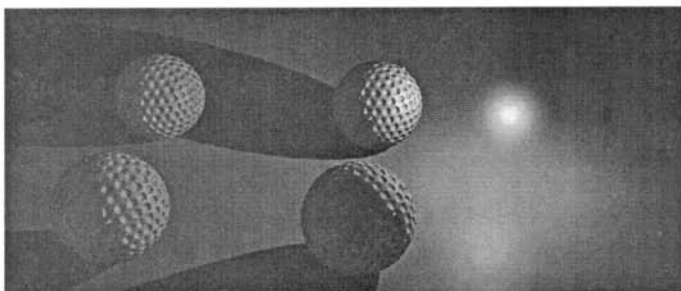


Рис. 5.12. Линейный спад света легче контролируется, хотя он и не дает абсолютно реальную картину освещения

добиться равномерного уменьшения силы света от полной яркости до нуля по мере его удаления от источника.

Линейный спад позволяет также создавать хорошо контролируемое, предсказуемое освещение. Так, достаточно установить максимальное расстояние для спада света, чтобы точно знать, что на половине этого расстояния сила света уменьшится в 2 раза.

В некоторых программах отсутствует возможность выбора спада света по определенному закону, и поэтому в их интерфейсах даже не упоминается такое понятие, как “линейный спад” или “линейное затухание”. Если же система визуализации предлагает указать только начальную и конечную точки расстояния для спада света, то скорее всего спад в данном случае будет происходить по линейному закону, даже если это не указано явно.

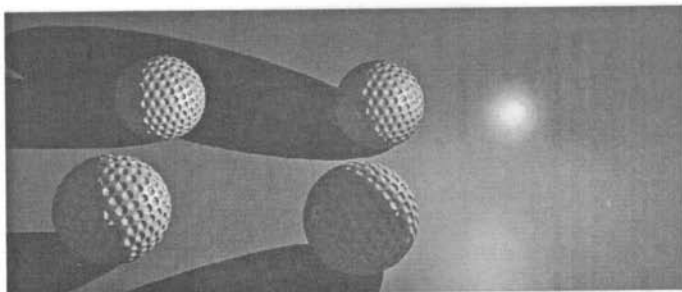
ОТСУТСТВИЕ ЗАТУХАНИЯ

Имеется также возможность установить источники света без затухания. Такой источник будет освещать объект в противоположном конце помещения столь же ярко, как и расположенный рядом с ним объект. Иногда это оказывается удобно, поскольку дает возможность установить единый уровень яркости без учета расстояния до каждого объекта. К сожалению, конечный результат не всегда получается убедительным после визуализации по сравнению с затуханием света.

На рис. 5.13 приведен пример, когда затухание света вообще не используется. Нетрудно заметить, что шары, удаленные от источника света, освещены так же ярко, как и шары, расположенные рядом с этим источником. В итоге сцена выглядит не столь реалистично, как при наличии затухания света.

Анализ примера на рис. 5.13 показывает, что даже в отсутствие затухания света плоскость основания ока-

Рис. 5.13. В отсутствие затухания яркость света не изменяется при его распространении в окружающей среде



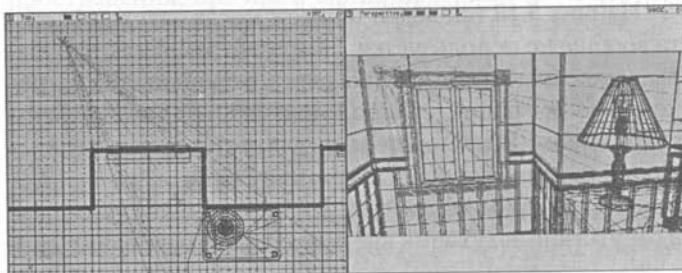
зывает освещенной более ярко вблизи источника света, что зависит не от расстояния, а от угла расположения этой плоскости относительно источника света. Таким образом, яркость поверхности по-прежнему зависит от угла ее расположения относительно источника света. Отличия в яркости освещения определяются также тенями. В итоге даже без затухания освещение сцены отличается некоторым разнообразием света и тени.

В ряде случаев отсутствие затухания позволяет добиться наиболее реалистичного вида. Например, в сцене, где свет проходит в окно, затухание обычно не требуется. Если расположить источник света за декорациями, то свету в окне затухание, по-видимому, не потребуется (рис. 5.14). Ведь солнечный свет уже преодолел огромное расстояние, прежде чем достигнуть окна, и поэтому пропорциональное изменение его силы на последних метрах до освещаемого объекта вряд ли будет заметно. Таким образом, отсутствие затухания имитирует солнечный свет лучше, чем закон обратных квадратов. (Расположение источника света, показанное на рис. 5.14, было использовано для визуализации изображения, приведенного на рис. 5.15, и аналогичных ему изображений.)

СОХРАНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СВЕТА

В реальной жизни источник света дает конечное количество света независимо от того, насколько свет рас-

Рис. 5.14. Применение расположенного поблизости прожектора для имитации солнечного света в окне служит характерным примером, когда наличие затухания света придает сцене не реалистичный вид



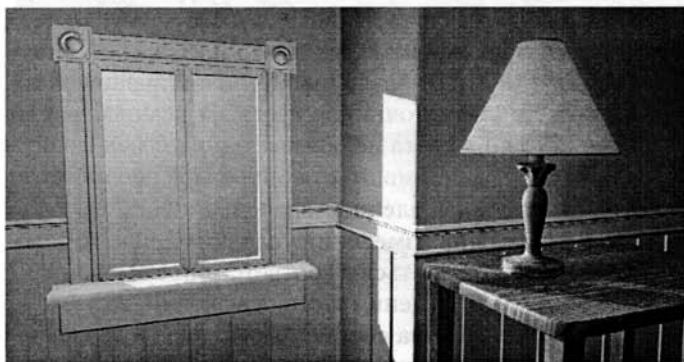


Рис. 5.15. Свет от лампы может иметь более желтый оттенок, а солнечный свет — более голубой

сеян или сосредоточен. Так, настоящий прожектор может быть настроен на режим “яркого пятна”, дающий узкий луч света, либо на режим “заливающего света”, дающий широкий луч. А поскольку прожектор дает в любом случае одно и то же количество света, узкий луч света получается более ярким, чем широкий.

Сохранение количества света является основной причиной затухания. В отличие от распространенного представления, лучи света не “затухают” и не поглощаются атмосферой. В действительности более удаленные объекты получают намного меньшую часть света от источника, а остальной свет распространяется под разными углами и не попадает на эти объекты. Закон обратных квадратов представляет собой простую геометрическую функцию: по мере расширения конуса света с расстоянием количество света, достигающего объекта, расположенного в пределах этого конуса, уменьшается пропорционально высоте конуса.

ОКРАСКА СВЕТА

Различные типы источников света могут быть распознаны по разной окраске света, который они обычно дают. Большинство бытовых лампочек, например, излучают свет, немного окрашенный в желтые и оранжевые тона, по сравнению с дневным светом, имеющим голубоватый оттенок. Благодаря воспроизведению естественной окраски света визуализируемые изображения приобретают более реалистичный вид (рис. 5.15).

Приспосабливаясь к более или менее яркому внешнему освещению, зрение человека настраивается также на восприятие различных преобладающих цветов, определяющих окраску света. Так, белая рубашка по-прежнему выглядит белой как внутри помещения, освещен-

НА ЗАМЕТКУ

Окраска естественных источников света наряду с процессом имитации цветового баланса пленки, цифровых и видеокамер более подробно рассматривается в главе 6.

ного лампы, так и снаружи под голубым небом. Цветовой баланс цифровой камеры и пленки также регулируется в зависимости от различных условий внешнего освещения и типов источников света. В компьютерной графике источник света не обязательно должен менять свою окраску в зависимости от конкретной сцены, но он должен иметь определенное значение цвета, которое может меняться при изменении условий внешнего освещения либо настраиваться в соответствии с выбранным способом воспроизведения этого освещения.

В качестве свойства света окраска позволяет зрителям судить, откуда исходит свет. Так, на илл. 5.3 показано, что дневной свет поступает из выхода в центре станции метро. И хотя за углом этого выхода ничего не видно, голубоватый оттенок света ясно показывает, что это выход в город, через который дневной свет проникает на станцию метро.

В реальной жизни (как показано на рис. 5.15 и илл. 5.3) освещение сцены имеет несколько оттенков. Даже если бы оно имело лишь один оттенок, различная окраска окружающей среды передавалась бы отраженному свету, придавая его окраске большее разнообразие. В большинстве визуализируемых сцен целесообразно использовать свет с разной окраской независимо от типов используемых источников света.

Окраска — это не просто очередное свойство света. Она позволяет создать определенное настроение и даже изменить смысл визуализированной сцены. Поэтому художники всегда обдуманно выбирают цвета и цветовые схемы. Вопросы применения цвета и его общего значения наряду с методами воспроизведения окраски различных источников света в разных условиях освещения более подробно рассматриваются в главе 6.

ПРОЕКЦИЯ СВЕТА

Лишь немногие источники света освещают объект равномерно, а чаще всего освещение приобретает некоторую форму или рисунок. *Проекция (throw)*, или “проецируемый рисунок” света, — это свойство света разделяться, принимая определенную форму или рисунок. Так, лампа на рис. 5.16 создает на стене две дуги света, а между ними — участок, менее ярко освещенный светом, проходящим сквозь абажур лампы.

В результате обычных настроек прожектора (нацеливание, изменение ширины и мягкости краев его ко-

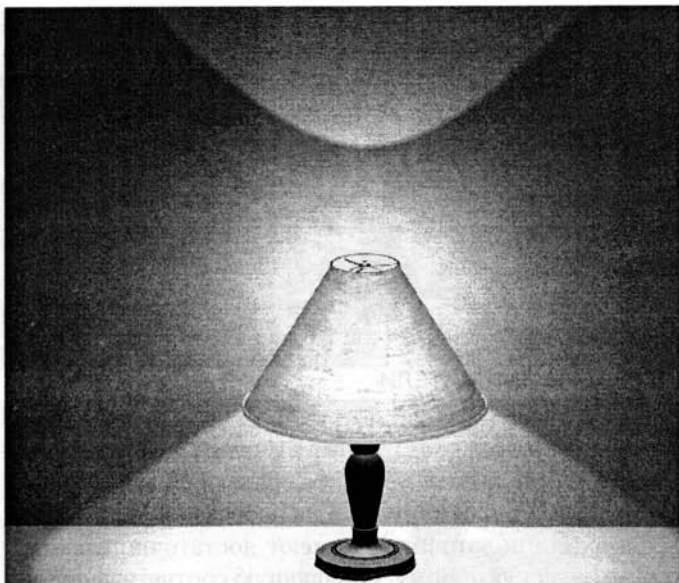


Рис. 5.16. Проецируемый рисунок света определяется абажуром лампы

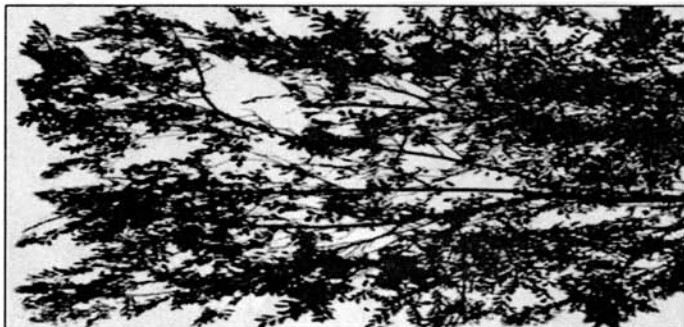
нуса) меняется и проецируемый рисунок света от этого прожектора. В большинстве программ компьютерной графики и анимации имеется также возможность создавать более сложные проецируемые рисунки света.

СОЗДАНИЕ ПРОЕЦИРУЕМЫХ РИСУНКОВ С ПОМОЩЬЮ КАРТ ТЕКСТУР

Наиболее эффективным методом настройки рисунка, проецируемого источником света, является проецирование текстуры или изображения на сам источник света. Режим "проектора" или "проецируемого изображения", по существу, превращает источник света в своего рода диапроектор, проецирующий выбранное изображение на сцену. Так, на илл. 5.4 свет приобретает пятнистый проецируемый рисунок, создающий впечатление, будто свет проникает сквозь ветви деревьев.

Можно создать карту текстуры, заслоняющую свет на темных участках и пропускающую его на светлых участках. Такие карты текстур применяются к источникам света, создавая самые разные проецируемые рисунки для имитации света, проникающего, например, в окна разной формы или проходящего сквозь кустарник. В частности, на источник направленного света, использованный в сцене на илл. 5.4, была спроецирована карта текстуры, приведенная на рис. 5.17.

Рис. 5.17. Эта карта, проецируемая на источник света, выполняет функции затенителя



ЭКРАНЫ И ЗАТЕНИТЕЛИ

При освещении киносъемок применяются так называемые *экраны (gobos)* и *затенители (cookies)* в виде кусков дерева или металла, которые дают такой же результат, как и проецируемые на источники света карты текстур. Одни затенители имеют достаточно простую геометрическую форму, придающую соответствующую форму проходящему сквозь них свету, а другие — разделяют свет на определенный рисунок. Вместо установки непосредственно на источниках света крупные затенители монтируются на отдельных стендах, заслоняющих, отменяющих или изменяющих форму света, освещающего сцену. Экран, подобно любому другому объекту, размещенному перед источником света, может изменить форму света, отбрасывая тени.

В трехмерной сцене любой объект, размещаемый перед источником света и отбрасывающий тени, может считаться своего рода затенителем, изменяющим проецируемый рисунок света в зависимости от формы и степени прозрачности поверхности, заслоняющей свет. Окрашенные прозрачные поверхности способны фильтровать и изменять свет от разных источников. Например, солнечный свет получается пятнистым и зеленоватым, проходя сквозь ветви и листья дерева, либо окрашивается в разные цвета, проникая в витражное окно, как показано на рис. 5.18.

При формировании теней методом трассировки лучей свету, проходящему сквозь поверхности, на которые проецируются карты прозрачности, передаются цвета и тона карты прозрачности в виде части проецируемого рисунка. А при формировании теней методом проецирования карты глубин прозрачные поверхности могут и не отбрасывать соответствующие тени, тогда как сплошные объекты способны отбрасывать тени,

НА ЗАМЕТКУ

Отличия между тенями, формируемыми методом трассировки лучей и проецирования карты глубин, более подробно рассматриваются в главе 4.

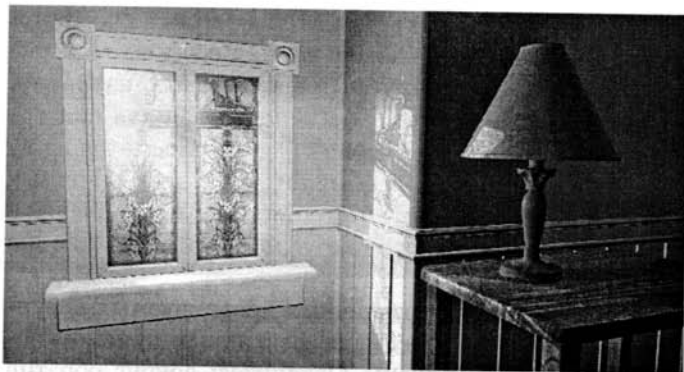


Рис. 5.18. Свет получает от прозрачной поверхности новый проецируемый рисунок

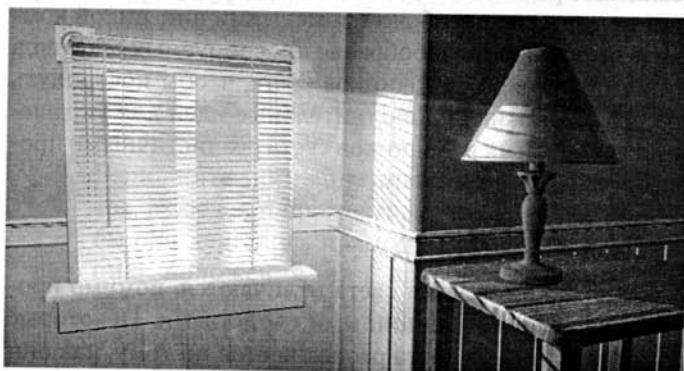


Рис. 5.19. Тени от жалюзи создают новый проецируемый рисунок света

разделяя свет, а следовательно, изменяя его проецируемый рисунок. Так, тень от жалюзи на окне позволяет разделить свет на полосатый проецируемый рисунок, как показано на илл. 5.19.

ЭФФЕКТЫ ПРОЕЦИРУЕМЫХ РИСУНКОВ

Разные проецируемые рисунки света способны изменить вид объектов и атмосферы на сцене.

Объемный эффект, использованный на рис. 5.18 и 5.19, образует видимую связь проецируемого на сцену рисунка света с его источником. Активизация объемного (“туманного”) режима источника света придает осязаемость проецируемому рисунку света, поскольку при этом становятся отчетливо видны полосы света, проникающего сквозь жалюзи. Несмотря на то что эффект объемного освещения является контролируемым свойством отдельных источников света в большинстве программ трехмерной графики и анимации, сам этот эффект не может быть отнесен к свойствам света. Объемные или туманные эффекты предназначены для имитации частиц дыма или пыли в атмосфере, которые

могут быть освещены светом с тем же самым проецируемым рисунком, что и поверхности объектов.

Полосатый проецируемый рисунок, как, например, тени от жалюзи, может быть использован для подчеркивания контуров трехмерной формы. Несмотря на то что пластинки жалюзи обычно отбрасывают прямые тени, линии проецируемого рисунка искривляются при освещении такого округлого объекта, как на илл. 5.5.

Воспроизведение различных проецируемых рисунков света является весьма эффективным приемом повышения реализма сцены. Оглянитесь вокруг, обратив внимание в своем рабочем помещении или жилой комнате на большое разнообразие проецируемых рисунков от самых разных источников света, чтобы почерпнуть из реальной жизни дополнительные идеи для украшения трехмерных источников света реалистичными проецируемыми рисунками.

АНИМАЦИЯ СВЕТА

Многие источники света отличаются, помимо прочего, своими анимационными свойствами. Некоторые типы источников света распознаются по тому, как они изменяются во времени, будь то колеблющийся свет пламени свечи, пульсирующие огни на крыше пожарной машины, солнце, движущееся за облаками, либо непостоянное голубоватое свечение экрана телевизора. Анимация изменений, происходящих в источнике света, может быть выполнена самыми разными способами: путем изменения положения источника света, его параметров или теней, отбрасываемых объектами, расположенными перед источником света.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ИСТОЧНИКА СВЕТА

Анимация положения источников света позволяет придать трехмерной сцене дополнительный интерес и динамизм. Наиболее распространенным примером перемещения источников света служат зажженные фары автомашины. Когда автомашина проезжает ночью мимо здания, особенно при повороте за угол, свет фар перемещается по стене здания, проникая в окна и создавая меняющийся проецируемый рисунок, как показано на рис. 5.20. Такая анимация особенно уместна для простой и не совсем уютной обстановки, подобной интерьеру мотеля, расположенного у дороги.

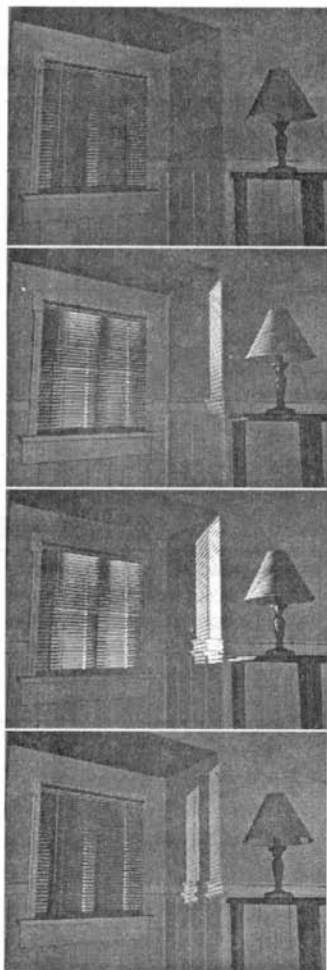


Рис. 5.20. Фары автомашины создают движущийся свет и тени в неосвещенной комнате

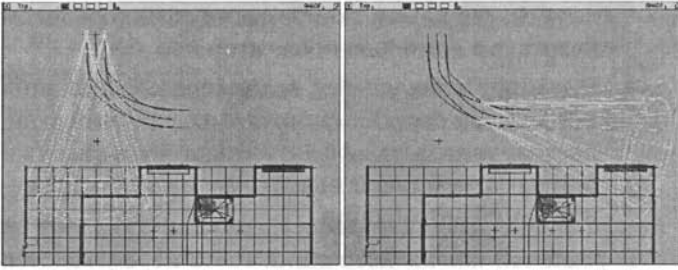


Рис. 5.21. Пара прожекторов перемещается в группе для имитации светящихся снаружи фар автомашины

Для анимации фар автомашины, особенно если ее не видно на сцене, можно воспользоваться следующей простой процедурой.

1. Разместите на сцене ряд “пустых” объектов.
2. Сгруппируйте пару прожекторов с пустыми объектами или привяжите их к пустым объектам, как показано на рис. 5.21.
3. Выполните анимацию положения группы объектов, включая и прожекторы, таким образом, чтобы они двигались прямо по дороге, либо анимацию положения или вращения группы для имитации поворота автомашины с зажженными фарами за угол здания.

В некоторых сценах большинство источников света подлежат анимации. Так, в сцене с поездом, проходящим по темному мосту в туннель (рис. 5.22), требуется целый ряд движущихся источников света.

При вводе в сцену подвижных источников света руководствуйтесь следующими рекомендациями.

- Пара прожекторов, установленных на крыше полицейской автомашины, должна вращаться на месте для создания эффекта огней, сопровождающих полицейскую сирену.
- Вращающиеся источники света могут быть использованы в качестве оградительного знака на открывающихся дверях грузового люка космического корабля, предупреждая о чем-нибудь наряду со звуковой сигнализацией.
- Перемещение солнца по небу в течение дня. Как правило, для этого требуется анимация лишь одного источника света, имитирующая замедленную (или ускоренную) съемку.
- Подвижные источники света позволяют создать впечатляющий световой эффект в сцене с верто-



Рис. 5.22. Движущийся поезд проецирует в окружающую среду свет от разных источников. (Посмотрите фильм *Train.mov*, доступный в оперативном режиме по адресу 3dRender.com/light/Train.mov.)

летами, ведущими поиск с воздуха в городском квартале с помощью прожекторов.

- В сцене с движущейся автомашиной анимация источников света, имитирующих уличные огни, позволяет создать эффект мелькающих снаружи или на заднем плане огней для имитации движения самой автомашины.

В реальной жизни источники света перемещаются во многих ситуациях. Поэтому было бы ошибкой осуществить анимацию остальных элементов трехмерной сцены и забыть об источниках света.

АНИМАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА СВЕТА

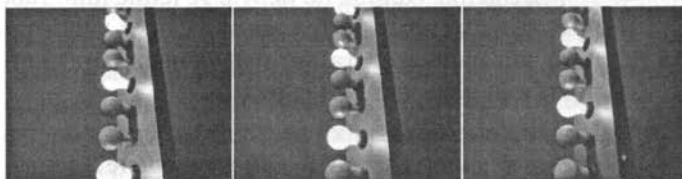
Помимо перемещения источника света в пространстве, еще один способ приведения его в движение состоит в анимации таких его настраиваемых параметров, как окраска, яркость и пр.

Процесс анимации параметров источника света отличается в разных программах, но, как правило, на панели управления или в диалоговом окне параметров источника света имеется кнопка или другой элемент управления, позволяющие регистрировать любые изменения устанавливаемых параметров в конкретном ключевом кадре. Чаще всего анимации подлежит изменение яркости источника света, имитирующее загорание и потухание лампочек. Так, для имитации вспыхивающих огней на афише кинотеатра яркость каждого источника света может регулярно изменяться от нуля до максимальной величины, как показано на рис. 5.23.

Иногда выключение источника света может быть осуществлено спустя несколько кадров анимации. Некоторые источники света могут менять свою окраску и краснеть по мере уменьшения подаваемого на них электрического напряжения. Ниже приведены характерные ситуации, когда требуется одновременная анимация окраски и яркости источников света.

- **Вход персонажа в темную комнату.** Для имитации включения персонажем света осуществляет-

Рис. 5.23. Благодаря анимации яркости источников света можно создать эффект вспыхивающих огней



ся анимация яркости некоторых находящихся на сцене источников света.

- **Воспроизведение дорожных и сигнальных огней.** Для этого осуществляется анимация включения и выключения источников света, расположенных позади разных светофорных линз.
- **Имитация огня или мерцающего экрана телевизора.** В этом случае следует не выключать полностью источники света, имитирующие огонь или светящийся экран телевизора, а лишь незначительно изменять их яркость и окраску в последовательных кадрах анимации.
- **Создание эффектов световых вспышек.** Для создания подобных эффектов, например лазерного луча в виде световой вспышки, в соответствующих местах сцены устанавливаются источники света, а затем осуществляется их анимация.

АНИМАЦИЯ ЗАТЕНИТЕЛЕЙ

Любой объект, отбрасывающий тень, может служить не только в качестве затенителя, но и подлежать анимации. В результате такой объект может отбрасывать оживляемые тени и проецируемые рисунки, даже если сам источник света, освещающий этот объект, не подлежит анимации. Так, для создания эффекта дрожащего света достаточно организовать вращение объекта перед источником света, например лопастей вентилятора перед люстрой в сцене на рис. 5.24.

Анимация источников света существенно повышает реализм и визуальную привлекательность сцены.

Фары движущихся автомашин, мерцающие или мигающие огни, источники света, заслоняемые движущимися или изменяющимися объектами, — это лишь некоторые из многочисленных примеров реальных источников света, которые могут быть симитированы путем анимации источников света в трехмерных сценах. Понаблюдайте в разное время суток за настоящими ис-



Рис. 5.24. Благодаря анимации вращающихся лопастей вентилятора получают оживляемые тени

точниками света, обратив особое внимание на движение или изменение света и тени от них.

УПРАЖНЕНИЯ

Уделите некоторое время изучению свойств света в реальном мире, а в цифровой среде обратите особое внимание на их воспроизведение при настройке освещения трехмерных сцен. Работая с конкретным источником света, задайте себе следующие вопросы, касающиеся пяти свойств света, рассмотренных в этой главе.

1. **Мягкость света.** Являются ли тени от данного источника света отчетливыми, а свет резким, либо они более рассеяны?
2. **Сила света.** Является ли данный источник света самым ярким на сцене либо он менее ярк, чем другие источники света? Насколько изменяется яркость объектов при их размещении на разном расстоянии от данного источника света?
3. **Окраска света.** Получает ли свет какую-либо окраску от окрашенного источника света либо в результате отражения от окрашенных поверхностей? Если на сцене установлено несколько источников света, то насколько они отличаются по оттенку своей окраски?
4. **Проекция света.** Насколько равномерно данный источник света освещает объекты? Образуются ли от него какие-либо формы или рисунки в окружающей среде?
5. **Анимация света.** Работает ли данный источник света устойчиво либо он каким-то образом меняется или мерцает? Какие причины могут вызвать его перемещение или изменение?

Ответы на приведенные выше вопросы, касающиеся свойств света, наблюдаемого в реальной жизни или имитируемого в конкретной работе, помогут читателю в создании более совершенных и привлекательных трехмерных сцен.

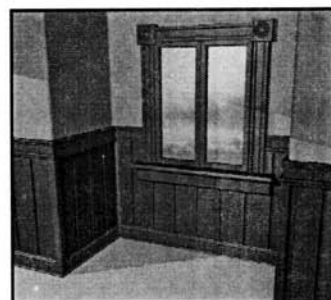
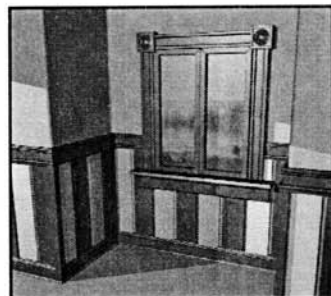
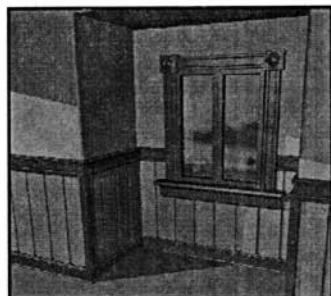
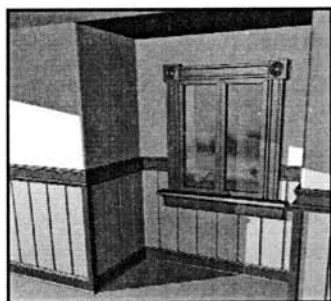
ЦВЕТ


Если требуется вызвать определенные эмоции у зрителей, то лучшего средства, чем цвет, для этого трудно найти. Настоящая глава посвящена визуальным возможностям цвета в трехмерной графике и анимации. Правильно выбранная цветовая схема позволяет создать либо усилить настроение или даже изменить смысл изображения. Однако применение цвета имеет и техническую сторону, поэтому в данной главе рассматриваются также вопросы воспроизведения цвета в цифровой среде, выбора реалистичных цветов для окраски разных типов источников света, а также методы воспроизведения цвета на пленке.

От живописи к цифровому искусству

На первых уроках живописи обычно представляют *цветовой круг*, подобный тому, что приведен слева на илл. 6.1. Тогда же дают представление и о трех *основных* цветах: красном, желтом и синем.

В компьютерной графике и анимации основными являются красный, зеленый и синий цвета, а не красный, желтый и синий. Справа на илл. 6.1 показано, насколько иначе цвета распределяются на цветовом круге художника и компьютерной графики. Так, например, оранжевый цвет присутствует в намного меньшем количестве на цветовом круге компьютерной графики, а сине-зеленые оттенки занимают на нем больше места. Это означает, что, работая на компьютере, иногда приходится намного дольше искать точный оттенок оранжевого цвета, чем цвета морской волны.





Два разных цветовых круга определяют разные способы смешения цветов на соответствующих носителях. В частности, традиционный цветовой круг (слева на илл. 6.1) определяет порядок смешения цветов красок. Смешивая красную, желтую и синюю краски (наряду с черной и белой для контроля яркости и насыщенности), можно получить практически любой цвет, именно поэтому художники и называют их основными цветами. Промежуточные сочетания основных цветов дают *вторичные* цвета: оранжевый, зеленый и фиолетовый, как показано на данном цветовом круге.

На цветовом круге, приведенном справа на илл. 6.1, показано распределение цветов в компьютерной графике путем смешения *аддитивных* основных цветов, применяемых для вывода изображений на экраны RGB-мониторов, а также *субтрактивных* основных цветов, используемых для печати на цветных принтерах.

АДДИТИВНОЕ СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

Красный, зеленый и синий называются аддитивными основными цветами, потому что любой цвет может быть представлен путем аддитивного (суммирующего) смешения красного, зеленого и синего цвета в соответствующих пропорциях. Если же эти цвета смешиваются в равных пропорциях, они образуют белый цвет (илл. 6.2).

В программах трехмерной графики и анимации цвета, как правило, хранятся в виде значений RGB основных цветов (красного, зеленого и синего). Значения цвета RGB представляют собой три числа, обозначающих соответственно уровни красного, зеленого и синего, образующие конкретный цвет. Все основные программы трехмерной графики и анимации визуализируют конечный результат в цвете RGB, а также используют этот цвет для расчета степени смешения и фильтрации окрашенного света.

СУБТРАКТИВНОЕ СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

При выводе на печать цвет воспроизводится иначе, чем на экране компьютерного монитора. Если черный экран монитора излучает в итоге красный, зеленый и синий свет, то на белую бумагу в принтере наносятся краски основных субтрактивных цветов: голубого, пурпурного и желтого, дающих конкретный цвет при субтрактивном (вычитающем) смешении в определенных пропорциях.

Основные субтрактивные цвета дополняют основные аддитивные цвета. *Дополнительными* являются пары цветов, расположенных напротив на цветовом круге. Каждый субтрактивный цвет выполняет функцию, обратную его дополнительному цвету. Так, например, голубая краска поглощает красный свет и отражает зеленый и синий, пурпурная краска поглощает зеленый свет, а желтая — синий.

Теоретически красок трех основных субтрактивных цветов должно быть достаточно для печати цветного изображения. А на практике для многокрасочной печати обычно используются четыре краски: голубая, пурпурная, желтая и черная (отсюда и сокращение СМΥК). Черная краска служит для передачи отчетливого текста и усиления затенения цветного изображения. Обычное четырехкрасочное изображение образуется путем смешения голубых, пурпурных, желтых и черных точек краски на бумаге, как показано крупным планом на рис. 6.1.

Цвет, наблюдаемый на экране RGB-монитора, может и не совпадать с цветом на четырехкрасочном оттиске. В связи с этим профессиональные полиграфисты тщательно калибруют свои мониторы для согласования их цветопередачи с разными типами принтеров. Такая калибровка нередко выполняется на глаз: рядом с монитором размещается печатное изображение, а на экран монитора выводится изображение с того же файла, с которого оно было получено при печати. Настройка монитора и параметров отображения в самом компьютере выполняется до как можно более близкого совпадения цветов изображения на экране и на оттиске. Но даже при самой точной настройке одни цвета выглядят на экране монитора иначе, чем на оттиске. Поэтому перед окончательной печатью нередко получают ряд пробных оттисков для согласования цветов.



Рис. 6.1. Основные субтрактивные цвета используются в процессе четырехкрасочной печати

НАСЫЩЕННОСТЬ

На цветовом круге показаны лишь возможные *оттенки* цвета, но не изменение его *насыщенности*. Оттенок — это свойство цвета, определяющее его окраску или местоположение в видимой области спектра (например, красный, оранжевый или желтый). А насыщенность определяет отчетливость или концентрацию цвета. Насыщенный цвет получается густым, чистым и ярким. При уменьшении насыщенности цвет становится более бледным и менее ярким. А ненасыщенные цвета превращаются в оттенки серого, как показано справа на рис. 6.2.

Рис. 6.2. Слева на полосе показана наибольшая насыщенность цвета, которая постепенно уменьшается вправо вплоть до превращения цвета в оттенок серого



Распространенной в трехмерной графике и анимации ошибкой является использование слишком насыщенных цветов в окраске объектов и света. В реальной жизни цвета далеко не всегда оказываются чистыми и насыщенными, как в компьютерной графике. Более реалистичные результаты дают грязноватые и несколько разбавленные цвета. Так, в изображении слева на илл. 6.3 выделяются красные колонны, а на изображении справа они выглядят более реалистично.

Выбор цвета представляет собой одно из самых важных решений, принимаемых при создании изображения. Несмотря на то что программное обеспечение предоставляет необыкновенно обширную палитру цветов, умение правильно выбрать наиболее подходящие цвета в значительной степени способствует повышению качества выполняемой работы.

ЦВЕТОВЫЕ СХЕМЫ

Наиболее впечатляющие изображения имеют вполне определенную *цветовую схему (color scheme)*, а не произвольные цвета со всей палитры. Цветовая схема представляет собой общий набор цветов, воспроизводимых при визуализации. Она создает первое впечатление у зрителей, прежде чем они начнут воспринимать изображенные формы и объекты, а также требуемое для сцены настроение.

Добавление нового цвета к объекту или источнику света означает не просто определение нового цвета, но

и ввод этого цвета в цветовую схему изображения. Каждый цвет интерпретируется зрителями относительно остальной цветовой схемы, поэтому следует обдуманно подходить к выбору наиболее эффективной цветовой схемы для визуализируемой сцены.

Так, например, можно выбрать устойчивую цветовую схему, состоящую из небольшого числа постоянных цветов, и окрашивать каждый элемент сцены одним из этих цветов. Нередко для сохранения цветовой схемы различные объекты на сцене окрашиваются одними и теми же цветами. В изображении на илл. 6.4 зеленый цвет используется не только на одежде женщины, но и в других элементах сцены, включая обои.

Неоднократное использование одних и тех же цветов "связывает вместе" все изображение. Так, выбранный желтый цвет луны в окне (илл. 6.4) неоднократно используется во многих объектах интерьера комнаты вплоть до отделки одежды и мебели. Благодаря сохранению ограниченной цветовой схемы каждый участок изображения безошибочно распознается как неотъемлемая часть единой сцены.

ЦВЕТОВОЙ КОНТРАСТ

В цветовой схеме может быть использован *цветовой контраст* для выделения одних цветов на сцене с целью привлечь внимание зрителей. Характерным примером цветового контраста служит изображение на илл. 6.5. В этом изображении сразу же привлекает внимание фиолетовая фигура шута. Благодаря контрасту между фиолетовым цветом и остальной цветовой схемой выделяется сам цвет, а не его оттенок или насыщенность.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЦВЕТА

Цветовой контраст становится наиболее заметным, когда цвета окружены дополняющими их цветами. Как отмечалось выше, дополнительные цвета представляют собой пары цветов, расположенные напротив на цветовом круге. Если обратиться к илл. 6.1, то можно заметить, что фиолетовый цвет находится на цветовом круге напротив желтого. Благодаря этому обеспечивается максимальный контраст, а фиолетовый цвет становится еще более насыщенным и заметным.

Такие цвета называются дополнительными, а не противоположными, потому что они действуют совме-

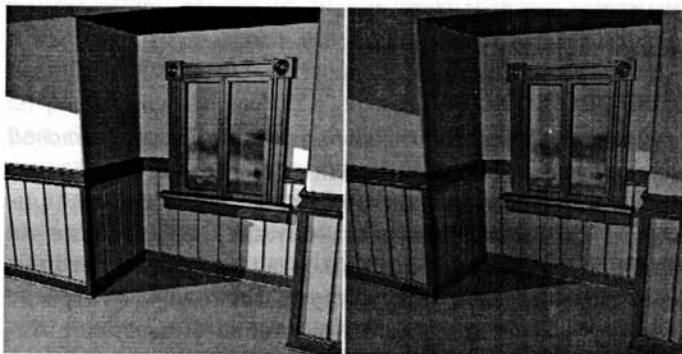
стно, хорошо дополняя друг друга. Этим их свойством следует пользоваться в своих цветовых схемах.

ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОСТЬ ЦВЕТА

Цветовой контраст увеличивается также благодаря концентрации цвета на одном участке. Если бы фиолетовый цвет был распределен по всему изображению на илл. 6.5 (в частности, на мраморной текстуре колонн), фиолетовая фигура шута не имела бы такого графического веса или привлекательности для зрителей.

Освещение сцены заливающим светом определенной окраски изменяет восприятие цвета, умаяя его исключительность. Так, слева на рис. 6.3 синий цвет выглядит отчетливым, сплошным и ярким, а справа — он уже не выделяется, поскольку сцена освещена светом голубой окраски. При этом синий цвет смешивается с синей, гнетущей атмосферой, а следовательно, изменяется и впечатление, создаваемое этим цветом. Комната справа на рис. 6.3 уже не выглядит яркой.

Рис. 6.3. Синий свет ослабляет цветовой контраст синей профилированной отделки



ЗНАЧЕНИЕ ЦВЕТА

Почему для логотипа банка, страховой компании или лечебницы обычно выбирается синий цвет, а для закуской — оранжевый? Цвет из выбранной цветовой схемы способен создать едва уловимое впечатление и вызвать разные ассоциации у зрителей.

АССОЦИИАЦИИ КУЛЬТУРНОГО ХАРАКТЕРА

Некоторые цвета приобретают свое значение благодаря ассоциациям с определенной культурой. Очевидным примером тому служат цвета национального флага, вызывающие патриотические чувства, являющиеся символом власти или традиционных ценностей в кон-

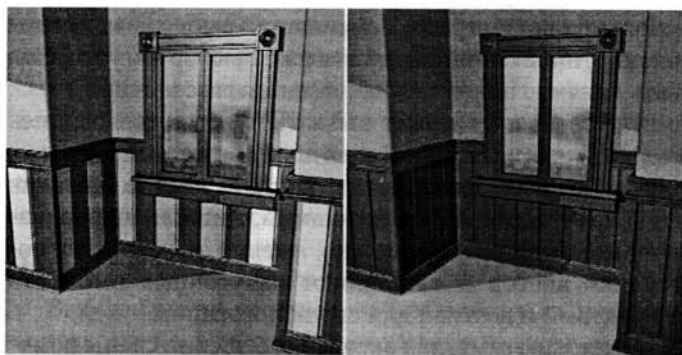


Рис. 6.4. Цвета национального флага служат примером культурных особенностей восприятия цвета

кретной культуре. Цвета флага другой нации могут иметь при сравнении более отчужденный и не вполне уместный вид (рис. 6.4). Цветовые ассоциации через национальные, художественные, религиозные и культурные традиции придают цветам разное значение в каждой культуре.

Так, например, создавая анимацию персонажа, играющего в гольф в Майами, шт. Флорида, автор может окрасить его брюки для гольфа в розовый цвет, чтобы передать настроение персонажа, находящегося на отдыхе. Одни зрители узнают в розовом распространенный в Майами цвет или найдут забавным неумение данного персонажа одеваться, а другие — посчитают предосудительным для мужчины розовый цвет одежды и неправильно истолкуют намерения автора. Сложность создания подобной продукции в том и состоит, что разные люди могут по-разному воспринимать такие элементы оформления, как цвет. Так, зеленый может оказаться цветом популярной политической партии в одной стране и экстремистской полувоенной организации — в другой. Белый может быть цветом невинности в одной культуре и цветом смерти — в другой. В работах, предназначенных для публичного показа, трудно избежать разного истолкования цвета различными категориями зрителей.

ОБЩИЕ АССОЦИАЦИИ

Некоторые цвета вызывают общие ассоциации во всем мире. Так, синий воспринимается как цвет океана и неба. Пастельные синие тона придают изображению умиротворяющий или спокойный вид. Густые, насыщенные синие тона создают впечатление солидности и внушительности. (Возможно, именно по этой причине

многие банки и страховые компании выбирают для своих логотипов синий цвет, хотя на их выбор могут оказывать влияние и другие соображения и ассоциации.)

Красный цвет может вызвать чувство тревоги, поскольку это цвет крови и огня. Горячие цвета, в том числе красный, оранжевый и желтый, обычно считаются энергичными, возбуждающими, живыми, привлекающими внимание. Возможно, именно эти свойства подобных цветов и заставляют закусовые выбирать оранжевый и желтый для своих логотипов.

Даже едва заметная окраска освещения сцены помогает создать нужное впечатление. Так, свет синей окраски позволяет создать впечатление зимы или вечерней атмосферы и придать местности или персонажу холодный вид, а свет с едва заметной красной или желтой окраской — теплый, уютный или интимный вид сцены. (Более подробно связь цвета с разными источниками света и окружающей обстановкой рассматривается ниже, в разделе “Цветовая температура”).

Любой общечеловеческий опыт может привести к общим цветовым ассоциациям. Помимо общепризнанных природных цветов, распространение глобальных информационных средств способствует популяризации во всем мире избранных цветов посредством кинематографа, телевидения, искусства, моды и рекламы. Благодаря мировым средствам массовой информации красный воспринимается во всем мире не только как цвет таких естественных понятий, как кровь и огонь, но и как цвет фирменных знаков, подобных кока-коле.

КОНТЕКСТНЫЕ АССОЦИИ

В художественном фильме значение отдельных цветов, как, впрочем, и других символов, может быть переопределено. Кадр фильма в виде части общего сюжета воспринимается иначе, чем то же самое изображение, напечатанное на бумаге или взятое в отдельности. Присутствие на экране чего-то важного для сюжета фильма или персонажа превращается в многозначительный символ.

В крупном анимационном фильме у отдельных персонажей или их групп могут быть свои цветовые схемы, причем эти схемы могут быть использованы в домашней обстановке, костюмах, реквизите или даже в качестве пигментов кожи. Как только зрители подсознательно привыкают к определенным цветам персо-

нажей, любой новый элемент, введенный в фильм, будет сразу же ассоциироваться с конкретным персонажем, если в нем используются цвета, характерные для данного персонажа. Подобно музыкальным мотивам, цветовые схемы могут сопровождать не только персонажи, но и темы, эмоции или другие периодически повторяющиеся аспекты фильма.

ЦВЕТ И ГЛУБИНА

Выбранный цвет может также оказывать влияние на восприятие, выполняя функцию *ориентира глубины* (*depth cue*) — своего рода подсказки для правильного восприятия зрителями изображения. Ориентир глубины способствует созданию впечатления, будто одни объекты выдвинуты на передний план, а другие — отступают на задний.

ТЕПЛЫЕ И ХОЛОДНЫЕ ЦВЕТА

Одни цвета обычно воспринимаются как холодные, удаленные (в частности, синий, а иногда и зеленый), а другие — как горячие, приближенные (особенно красный и оранжевый).

Даже в отсутствие других ориентиров глубины трудно заметить, что слева на илл. 6.6 показана рамка с отверстием посередине, а справа — небольшой квадрат, расположенный перед более крупным квадратом.

На этот счет существуют разные теории. Одна из причин подобного явления может состоять в том, что в природной среде многие объекты наблюдаются на фоне синего неба или зеленой листвы, поэтому вполне естественно отнести синий и зеленый к цветам “фона”. Кроме того, человеку свойственно сосредоточивать больше внимания на более теплых коричневых тонах, красных и желтых объектах (в частности, на ломтике красного фрукта, ране или телесных тонах кожного покрова людей и животных), чем на цветах листвы и неба.

Еще одним объяснением удаленности синих тонов может служить явление *хроматической аберрации* зрения человека. Это явление возникает по тому же принципу, что и разделение белого света, проходящего сквозь призму, на целый спектр отдельных цветов. Когда свет проходит сквозь призму или линзу, он преломляется под разными углами и с разными длинами волн, определяющими отдельные цвета. Все линзы в какой-то

степени проявляют хроматическую aberrацию, фокусируя свет. В частности, разные цвета фокусируются по-разному. Естественно, что хроматическая aberrация присуща и глазам как оптической системе, подобной линзам. В итоге глаза фокусируются на более коротком расстоянии, чтобы видеть красный объект, по сравнению с более длинным расстоянием для наблюдения синего объекта, находящегося на том же самом месте.

При визуализации сцены освещение заднего плана голубым заливающим светом, а переднего — красным позволяет эффективным образом усилить ощущение глубины в сцене. Естественно, что такой прием пригоден не для всякой сцены. Так, цветные сигнальные огни могут освещать сцену с фрагментом туннеля метро светом любой окраски, однако красный передний план и синий задний план придают ей большую силу (илл. 6.7).

НАСЫЩЕННОСТЬ

Восприятию глубины может также способствовать тот факт, что более насыщенные цвета выдвигаются на передний план по сравнению с менее насыщенными цветами. Всякому специалисту по рекламе известно, что отчетливый, привлекательный цвет выделяется на фоне серого, белого или черного цветов, которые менее заметны и поэтому воспринимаются как фон.

Туман или любое другое атмосферное явление (илл. 6.8) может стать причиной смещения цвета в сторону менее насыщенных тонов на расстоянии. В изображении на илл. 6.8 самый насыщенный зеленый цвет заметен на растениях, находящихся ближе к камере. Таким образом, насыщенный зеленый цвет оказывается ближе, чем менее насыщенные зеленые тона.

Ограниченный фокус и разрешение человеческого зрения позволяют также оставить самые яркие, чистые цвета для переднего плана. На нечетко сфокусированном фоне либо на объектах, кажущихся на расстоянии мелкими, тона от соседних объектов могут смешиваться, разбавляя любые отчетливые, привлекающие внимание цвета, которые иначе были бы видны вблизи.

ЦВЕТ И ТЕМНОТА

Цвет в слабо освещенных местах воспринимается иначе. Ощущение темноты в сцене может быть усилено правильно подобранной цветовой схемой.

Для более подробного ознакомления с теорией цвета и его восприятия, а также со многими сопутствующими вопросами двух- и трехмерной графики рекомендуется обратиться к отличному двухтомному изданию *Principles of Digital Image Synthesis (Принципы синтеза цифровых изображений)* Моргана Кауфманна (Morgan Kaufmann). Для чтения этой книги потребуются знания основ математики.

РАЗБАВЛЕНИЕ

Колбочки человеческого глаза, отвечающие за восприятие цвета, менее чувствительны к условиям слабого освещения, чем палочки, воспринимающие светлоту и темноту. При очень слабом освещении человек хуже воспринимает цвет. Так, пробираясь по комнате в темноте, можно воспринимать форму и расположение отдельных объектов, но не их окраску.

Многие носители выводимых данных еще больше ограничивают цвет, видимый на темных участках изображения. Цвет на очень темных участках изображения может быть плохо воспроизведен при выводе на печать, видеоленту или цветную пленку. По мере приближения окраски каждого пикселя к черному его оттенок становится менее заметным. Поэтому если требуется создать ощущение темноты в трехмерной сцене, но в то же время избежать недодержанного вида сцены, не позволяющего зрителям нормально воспринимать происходящее действие, целесообразно подобрать менее насыщенные цвета для визуализации сцены.

ГОЛУБОЙ ЗАЛИВАЮЩИЙ СВЕТ

Для освещения темных участков сцены в кинематографе принято использовать слабый голубой свет. Это, как правило, делается в тех случаях, когда участки, которые по логике вещей должны быть темными, в действительности оказываются чрезмерно освещенными. Голубая окраска дополнительного освещения участка сцены сохраняет ощущение темноты. Так, на илл. 6.9 желтый свет луны лишь обозначает освещение, тогда как голубой заливающий свет заполняет большую часть сцены, придавая стенам здания голубоватый оттенок.

Голубой заливающий свет контрастирует с цветом кожи персонажей, отчасти имитируя разбавление, которое предполагается в качестве артефакта темноты. В компьютерной графике и анимации, где в качестве персонажей часто выступают рептилии, насекомые или пришельцы, могут быть использованы и другие цвета окраски заливающего света для контраста с тонами кожного покрова подобных персонажей.

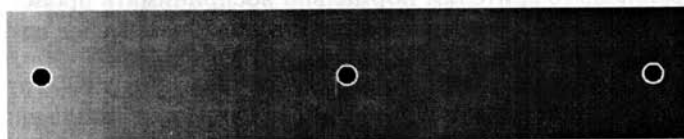
ЧЕРНОЕ И БЕЛОЕ

Черно-белое изображение — это не просто изображение, в котором отсутствует цвет. Работая в черно-

белом варианте, приходится дополнительно проводить четкую границу между фигурой персонажа и землей, декорациями и реквизитом с помощью оттенков серого. А это нередко требует манипулирования тонами изображения для присвоения различных оттенков серого по-разному окрашенным участкам или поверхностям.

В цветной фотографии на тех участках, где требуется воспроизвести насыщенный цвет, крайние пределы яркости (совершенно черные и чисто белые тона) не используются. Как отмечено крайними точками слева и справа на рис. 6.5, на недодержанных или передержанных участках цветной фотографии цвета воспроизводятся не столь яркими, как на участках средней яркости. Вследствие этого равномерное освещение и затемнение оказывается более предпочтительным для цветной фотографии, чем для черно-белой.

Рис. 6.5. Самые отчетливые, насыщенные цвета могут быть воспроизведены при среднем уровне яркости (отмеченном центральной точкой), а на темных и светлых участках (отмеченных соответственно точкой справа и слева) цвета оказываются менее насыщенными



Если просматривать цветные фотографии в полутоновом режиме (без цвета), то можно заметить, что они, как правило, оказываются менее контрастными, чем черно-белые. Самый яркий красный цвет на цветной фотографии имеет лишь средний уровень яркости при просмотре в полутоновом режиме. Это отнюдь не означает, что цветные фотографии чем-то хуже или лучше черно-белых — просто они получаются иначе. Цветные фотографии создаются, исходя из цветового, а также яркостного контраста. Вместо цветового контраста отдельные участки черно-белого изображения нередко приходится делать светлее или темнее, чтобы установить требуемый яркостный контраст.

Для осветления или затемнения отдельных участков изображения фотографы иногда прибегают к помощи фильтров. В отличие от распространенного представления, фотографы пользовались цветными фильтрами, насаживая их на объективы своих фотоаппаратов, еще задолго до появления цветной пленки. Поэтому набор цветных фильтров является одной из самых важных принадлежностей в арсенале средств фотографов, занимающихся черно-белой фотографией.

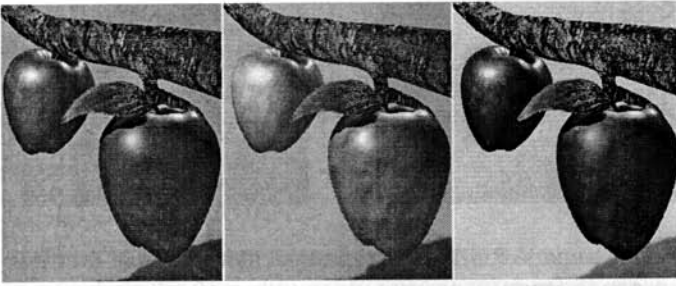


Рис. 6.6. Вместо прямого преобразования в полутоновое изображение можно воспользоваться цветными фильтрами для получения более контрастного черно-белого изображения

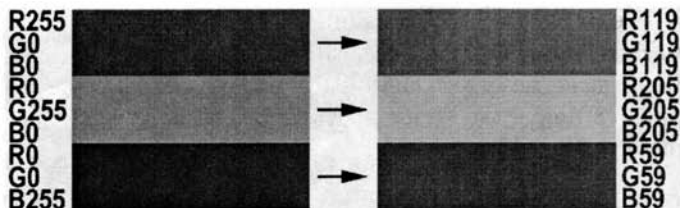
Представьте себе съемку сцены с красными яблоками, висящими на дереве с зелеными листьями на фоне синего неба (рис. 6.6). Как воспроизвести такую сцену в черно-белом варианте? Такая сцена не получится достаточно четкой, если воспроизвести яблоки, листья и небо одними и теми же оттенками серого. Если же снять ее через красный фильтр, яблоки получатся более светлыми, чем небо, как показано посередине на рис. 6.6. Красный фильтр будет поглощать синий свет от неба, делая последнее темнее даже при съемке на черно-белую пленку. В то же время красный фильтр пропускает красный свет окраски яблок, делая их светлее окружения. С другой стороны, благодаря съемке через синий фильтр яблоки получатся темнее неба, что позволит лучше выделить их в данной сцене, как показано справа на рис. 6.6.

Если программа трехмерной графики или анимации допускает создание окрашенных прозрачных объектов, то теоретически аналогичных результатов можно добиться, визуализировав сцену через красный прозрачный объект. Однако имитацию съемки через цветной фильтр можно осуществить быстрее, проще и удобнее, если обработать визуализированные изображения в программе компоновки или обработки изображений. Для этого сначала следует визуализировать изображение в многоцветном варианте, а затем откорректировать яркость в каналах красного, зеленого и синего визуализированного изображения перед его преобразованием в полутоновое. Такая обработка изображения после его визуализации позволяет вносить коррективы в изображение без повторной его визуализации. Так, для получения более качественного черно-белого изображения, приведенного справа на рис. 6.6, потребовалось лишь уменьшить яркость в канале красного и увеличить ее в канале синего перед преобразованием в монохромное изображение.

НА ЗАМЕТКУ

Пользователи Adobe Photoshop могут попробовать преобразовать цветное изображение RGB в черно-белое с помощью команды Image ⇒ Mode ⇒ Grayscale (Изображение ⇒ Режим ⇒ Полутоновой) и сравнить полученный результат с тем, что дает выполнение команды Image ⇒ Adjust ⇒ Hue/Saturation (Изображение ⇒ Настройка ⇒ Оттенок/Насыщенность) и перемещение ползункового регулятора насыщенности в крайнее левое положение. В первом случае значения цвета в каждом канале красного, зеленого и синего распределяются по-разному, а во втором — одинаково.

Рис. 6.7. Значения красного, зеленого и синего распределяются по-разному при преобразовании в полутоновое изображение в Adobe Photoshop



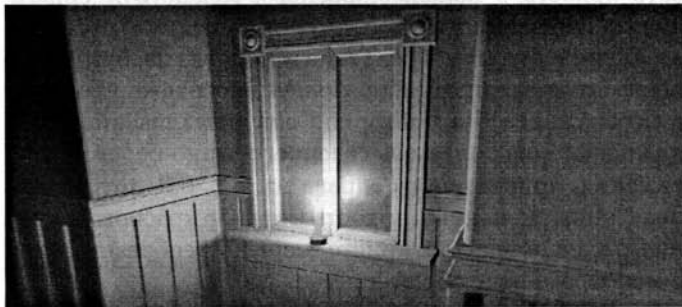
На экране RGB-монитора красная, зеленая и синяя составляющие в разных пропорциях определяют яркость отдельного пикселя. Так, яркость чисто белого света состоит на 35% из красного, на 55% из зеленого и на 15% из синего. Это обстоятельство принимается во внимание во многих программах раскраски при преобразовании в полутоновое изображение, как показано на рис. 6.7. В итоге красный, зеленый и синий преобразуются в разные оттенки серого.

ОКРАСКА ЧЕРНО-БЕЛЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Некоторые черно-белые изображения только выигрывают от окраски. Окрашенное черно-белое изображение может быть получено в любой программе раскраски или компоновки. Для этого достаточно сначала исключить любой цвет или насыщенность, а затем назначить конкретный оттенок или насыщенность для всего изображения.

Еще до изобретения цветной пленки кинематографисты признавали эмоциональное воздействие цвета. Некоторые ранние черно-белые фильмы содержали кадры сцен, окрашенные цветными красителями. Так, например, для получения окончательной копии фильма, предназначенной для демонстрации в кинотеатре, отснятый материал сцены горящего здания мог быть погружен в ванну для окраски красным красителем, а затем вмонтирован в фильм.

Рис. 6.8. После исключения цвета это визуализированное изображение было окрашено тоном сепии



Черно-белые фотографии иногда окрашиваются маслами, а очень старые фотографии желтеют от времени даже без намеренной окраски. Изображение на рис. 6.8 получило более ностальгический вид благодаря окраске тоном сепии.

ЦВЕТОВОЙ БАЛАНС

Если требуется точно воспроизвести источник света как на фотографии, для этого необходимо иметь представление о *цветовом балансе*.

Цвета освещения не переходят непосредственно в тона, воспроизводимые на фотографии. Вместо этого цвета воспроизводятся на фотографии относительно цветового баланса используемой пленки.

Цветовой баланс пленки определяет, какой цвет освещения будет воспроизведен как белый свет и какие цвета придадут свету дополнительную окраску. Например, пленка с установленным цветовым балансом для съемки внутри помещения придаст объектам, освещенным обычной лампочкой, нормальную окраску, а свету в окне — неестественную голубоватую окраску (рис. 6.9).

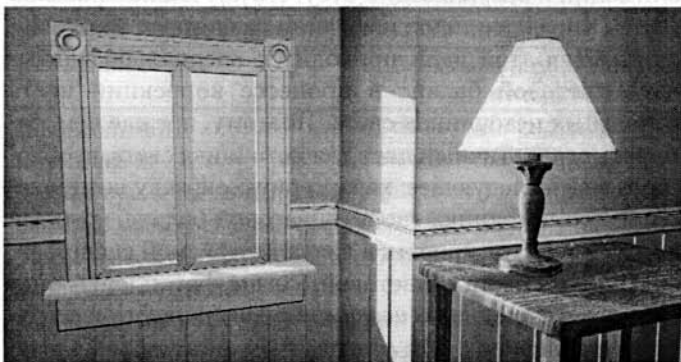


Рис. 6.9. Пленка с установленным цветовым балансом для съемки внутри помещения придает наружному свету голубоватую окраску

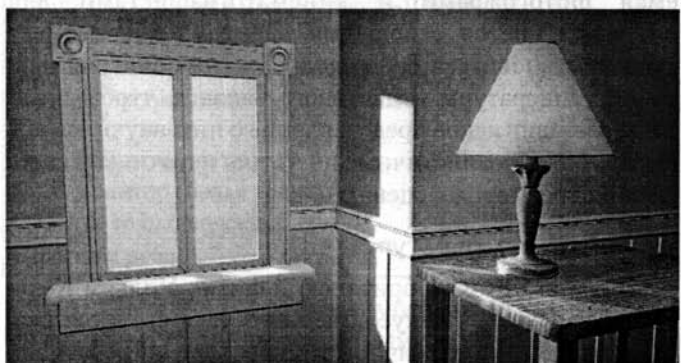


Рис. 6.10. Пленка для съемки вне помещения придает дневному свету белую окраску, а свету лампы внутри помещения — желтовато-оранжевую

С другой стороны, пленка с установленным цветовым балансом для съемки вне помещения придаст объектам, освещенным солнечным светом, нормальную окраску, а объектам, освещенным бытовой лампой, необычную желтовато-оранжевую окраску (рис. 6.10).

Установка цветового баланса характерна не только для фотопленки. Аналогичная настройка, называемая *балансом белого*, выполняется электронным путем в цифровых и видеокамерах. Даже зрение человека автоматически приспосабливается к разным условиям освещения.

В разной обстановке и в разное время суток окружающий мир воспринимается освещенным красноватым восходом, бытовой лампой или светом голубого неба. В каждой обстановке глаза настраиваются на преобладающие оттенки цвета. Привыкнув к внешнему освещению, человек начинает воспринимать преобладающий цвет освещения как белый, поэтому окружающие его объекты приобретают нормальную окраску.

В отличие от обычной видеокамеры или фотоаппарата, у камеры в большинстве программ трехмерной анимации и визуализации отсутствуют какие-либо элементы управления для имитации разного цветового баланса. Для этой цели приходится специально учитывать цветовой баланс в процессе коррекции цвета отдельных источников света. Поэтому, прежде чем выбирать реалистичный цвет для источника света, необходимо знать следующее: характерную окраску воспроизводимого источника света и цветовой баланс, который требуется сымитировать в визуализируемой сцене.

Окраска света и цветовой баланс фотопленки описываются с помощью *цветовой температуры*, измеряемой в кельвинах. Это стандартная система, используемая фотографами и кинематографистами для описания цветов освещения. Поэтому здесь имеет смысл остановиться более подробно на понятиях цветовой температуры и цветового баланса, чтобы читатель, составив ясное представление о них, научился выбирать более реалистичные цвета для источников света в своих трехмерных сценах.

ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА

В конце XIX века британский физик Уильям Кельвин обнаружил, что кусок черного угля светится разным цветом при различной температуре нагрева. Сна-

чала нагретый уголь излучал тусклый красный свет, который постепенно становился ярко-желтым по мере увеличения температуры и в конечном итоге превращался в яркое голубовато-белое свечение при максимальной температуре.

Цветовая температура измеряется в кельвинах, которые могут быть преобразованы в более привычные для измерения температуры градусы Цельсия. Шкала температур Кельвина начинается не с точки замерзания воды, а с *абсолютного нуля* при температуре -273 градуса Цельсия. Поэтому для перевода температуры в кельвинах в градусы Цельсия достаточно добавить к конкретному значению температуры число 273. Однако цветовая температура разных типов источников света сопоставляется с видимыми цветами, а не с конкретной температурой нити накаливания.

В табл. 6.1 приведены цветовые температуры, сопоставляемые с источниками света, встречающимися в реальном мире. Низкая цветовая температура (начиная с пламени спички и свечи) соответствует более красному цвету, а высокая — более голубому.

ЦВЕТОВЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА	
<i>Источник света</i>	<i>Цветовая температура в кельвинах (К)</i>
Пламя спички	1700–1800
Пламя свечи	1850–1930
Солнце при восходе или на закате	2000–3000
Бытовая лампочка накаливания	2500–2900
Лампа накаливания мощностью 500 Вт–1 кВт	3000
Кварцевые источники света	3200–3500
Флуоресцентные источники света	3200–7500
Лампа накаливания мощностью 2 кВт	3275
Лампа накаливания мощностью 5–10 кВт	3380
Прямой солнечный свет в полдень	5000–5400
Дневной свет (от солнца и неба)	5500–6500
Солнце, пробивающееся сквозь облака и легкий туман	5500–6500
Небо в пасмурную погоду	6000–7500
RGB-монитор (белая точка)	6500
Области тени снаружи	7000–8000
Облачное небо	8000–10000

Не существует четкой взаимосвязи между цветовыми температурами, приведенными в табл. 6.1, и значе-

ниями RGB, выбираемыми для цвета источника света. Тем не менее цветовые температуры помогают выбрать реалистичные цвета источников света после установки цветового баланса. Для имитации пленки, предназначенной для съемки в условиях дневного освещения, можно выбрать обычный цветовой баланс порядка 5500 К, а для имитации пленки, предназначенной для съемки при освещении лампой накаливания, — цветовой баланс 3200 К. После выбора цветового баланса цвета источников света корректируются, исходя из соотношения их цветовой температуры и выбранного цветового баланса. Именно этим соотношением и определяется окраска, которую получают источники света (рис. 6.11).

Рис. 6.11. Все цвета источников света корректируются относительно выбранного цветового баланса



После выбора цветового баланса для сцены и типа воспроизводимого источника света окраска последнего может быть взята из шкалы цветов, приведенной на рис. 6.11. Окраска источника света выбирается следующим образом.

- Если цветовая температура источника света совпадает с цветовым балансом, выбранным для сцены, он получит белую или серую окраску, как показано в центре на рис. 6.11.
- Если цветовая температура источника света ниже цветового баланса, он получит желтую или красную окраску, как показано слева на рис. 6.11.
- Если цветовая температура источника света выше цветового баланса, он получит голубую окраску, как показано справа на рис. 6.11.

Как правило, чем больше отличие цветовой температуры источника света от цветового баланса сцены, тем более насыщенной окажется окраска света. Насыщенность окраски источников света и конкретные значения цвета RGB выбираются индивидуально, поскольку не существует математического выражения, позволяющего точно определить значение цвета RGB для источника света.

Если попросить двух фотографов или кинооператоров снять сцену, они скорее всего по-разному воспримут цвета окружающей обстановки. Даже в реалистичных, “правильных” фотографиях свет может передаваться самыми разными оттенками, уровнями яркости и насыщенности.

После всех измерений и расчетов, сопутствующих выбору цвета, его окончательная коррекция по-прежнему осуществляется на глаз. Этот процесс лучше всего проиллюстрировать на конкретных примерах наружного, внутреннего и смешанного освещения.

ЦВЕТА НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Один из самых распространенных типов пленки предназначен для съемки при *дневном свете* (или *наружном освещении*). Такая пленка имеет цветовой баланс 5500 К.

Если выбран цветовой баланс 5500 К, значит, источник света с цветовой температурой 5500 К будет иметь белую или серую окраску. Но в реальной жизни окраска источника света практически всегда состоит из определенного сочетания цветов в любой окружающей обстановке. Так, дневной свет представляет собой сочетание разных цветов освещения как непосредственно от солнца, так и от неба.

В табл. 6.1 прямому солнечному свету соответствует цветовая температура 5000–5400 К, т.е. она ниже цветового баланса 5500 К. Это означает, что источник света с цветовой температурой 5000 К будет иметь желтоватую окраску, как показано слева на рис. 6.12. Свет от неба обычно находится в более широком диапазоне цветовых температур, от 7000 К до 10000 К, и поэтому его окраска будет голубоватой, как показано справа на рис. 6.12.



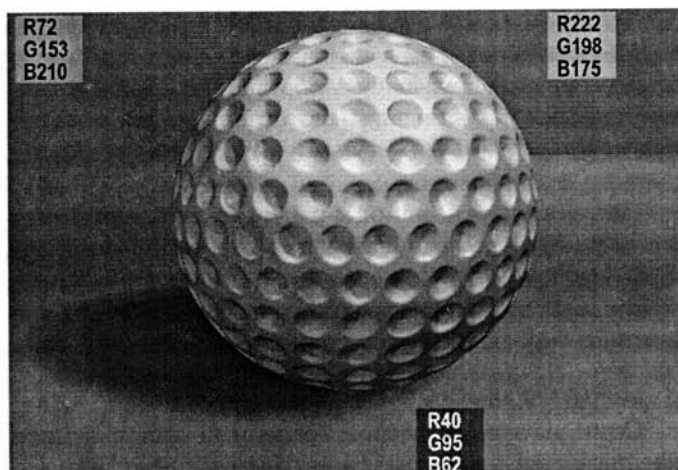
Для источника света, имитирующего солнечный свет, следует выбрать значение цвета RGB, придающее ему желтую окраску. Но даже шкала цветовых температур не избавляет от необходимости индивидуального подбора конкретного оттенка (яркости и насыщенности).

НА ЗАМЕТКУ

Интересно, что при описании “теплых” или “холодных” цветов в обыденной жизни используются совершенно иные температурные ассоциации. Красный и желтый называются “теплыми”, возможно, потому, что это цвета огня и солнца, а синий и зеленый — “холодными”, поскольку это цвета деревьев, неба, воды и льда.

Рис. 6.12. Цвета наружного освещения выбираются относительно цветового баланса используемой пленки

Рис. 6.13. Значения RGB, выбранные для солнечного, небесного света и окружающей среды



ти) желтого в зависимости от визуализируемой сцены. На рис. 6.13 приведены значения RGB (122, 198, 175), использованные для окраски источника направленного света, имитирующего солнце. (Значения RGB обычно измеряются по шкале 0–255, но если в программе используется шкала 0–1, указанный выше цвет будет представлен значениями 0,87, 0,78, 0,69.) Источник заливающего света, имитирующий небесный свет, получает голубую окраску благодаря выбору значений RGB (72, 153, 210), отражающих более высокую цветовую температуру данного источника света.

Цвета дневного освещения не ограничиваются только цветами самих источников света. В реальной жизни часть солнечного света, перед тем, как осветить объект, отражается от различных поверхностей в окружающей среде. Эффект окраски света при отражении от поверхностей иногда называется *окрашиванием (color bleeding)*. Любые цвета, преобладающие в окружающей обстановке (в частности, зеленый на зеленой лужайке), должны быть включены в окраску освещения. Так, в сцене на рис. 6.13 был введен бледно-зеленый цвет для имитации света, отражающегося от земли. Значения RGB (40, 95, 62) этого цвета были выбраны из преобладающего цвета окружающей среды, а не цвета источника света.

ЦВЕТА ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Пленка для съемки в помещении иногда называется пленкой для съемки *при свете лампы накаливания* с цветовым балансом 3200 К. Нити накаливания обыч-

НА ЗАМЕТКУ

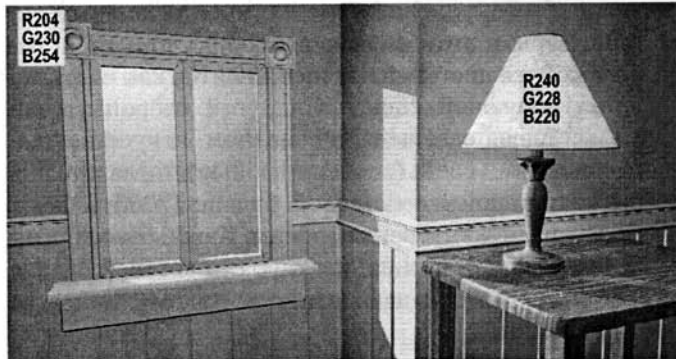
Более подробно отражение и прохождение света сквозь находящиеся на сцене объекты рассматриваются в главе 9.

но используются в бытовых электрических лампочках, а также в студийном осветительном оборудовании.

Различные цветовые температуры ламп накаливания приведены в табл. 6.1. Для большинства искусственных источников света на лампах накаливания характерны красные тона в окраске, в то время как в окраске солнечного и небесного света присутствует больше синих тонов, кроме солнечного света при восходе и на закате.

Цветовая температура обыкновенной бытовой лампочки накаливания составляет 3000 К, т.е. чуть ниже цветового баланса имитируемой пленки для съемки в помещении. Поэтому свет такой лампочки получает бледно-желтую окраску, как показано слева на рис. 6.14. Если помещение освещено также солнечным светом, проникающим в окно, то его цветовая температура находится в пределах 5000–5400 К, т.е. выше цветового баланса 3200 К имитируемой пленки. Это означает, что источник света с цветовой температурой 5000 К получит голубоватую окраску, как показано справа на рис. 6.14.

В сцене на рис. 6.15 бледно-желтый цвет используется для воспроизведения света лампы, тогда как голубой оттенок — для имитации солнечного света, проникающего в окно. Обратите внимание на то, что в данной внутренней сцене для солнечного света с цветовой температурой 5000 К были выбраны значения RGB, отличные от приведенной выше наружной сцены.



НА ЗАМЕТКУ

Студийное осветительное оборудование на лампах накаливания обычно имеет точную, постоянную цветовую температуру и питается от стабилизированных источников питания. Применение в таком оборудовании ламп разной мощности (1, 2, 5 и 10 кВт) вместо изменения яркости освещения путем регулировки напряжения, подаваемого на лампы, объясняется стремлением избежать смещения цветовой температуры при изменении напряжения.

Рис. 6.14. Цвета внутреннего освещения выбираются относительно цветового баланса используемой пленки

Рис. 6.15. Значения RGB, выбранные для солнечного, небесного света и окружающей обстановки

Реальная сцена обычно освещена светом самой разнообразной окраски. Даже если весь свет исходит от одинаковых лампочек, окраска стен может способствовать окрашиванию заливающего света, а цветовые тона абажуров примешиваются к окраске источников внутреннего освещения. Твердого правила для выбора окраски внутреннего освещения не существует, поэтому в каждой сцене следует учитывать, до какой степени окрашенный абажур или стена оказывают влияние на цвета наблюдаемой обстановки.

Еще одним фактором, способным изменить внутреннее освещение, является свет флуоресцентного источника. Цветовая температура флуоресцентного источника света согласно табл. 6.1 изменяется в широких пределах: от 3200 до 7500 К. Поэтому для создания более приятного и естественного флуоресцентного освещения многие флуоресцентные трубки окрашиваются в разный цвет.

Шкала цветовых температур ничего не сообщает о количестве зеленого цвета в окраске света, поскольку цветовая температура указывает лишь на смещение из области красного в область синего цвета. Во многих случаях флуоресцентное освещение кажется зеленоватым по сравнению с другими видами освещения. Поэтому увеличение зеленой составляющей в значении цвета RGB любого источника света придает ему вид флуоресцентного источника, а освещению всей окружающей обстановке — более искусственный вид.

ВЫБОР ПЛЕНКИ ДЛЯ СЪЕМКИ ВНУТРИ И ВНЕ ПОМЕЩЕНИЯ

В некоторых случаях пленка, предназначенная для съемки в помещении, используется для съемки вне помещения и наоборот. Если внутренняя сцена освещена, главным образом, дневным светом, проникающим в окно или дверь, в этом случае, возможно, придется выбрать такой же цветовой баланс (5500 К), как и для освещения наружной сцены. С другой стороны, если наружная сцена освещена, в основном, искусственными источниками света (особенно ночью), тогда придется выбрать такой же цветовой баланс (3200 К), как и для освещения внутренней сцены. Какой бы сцена ни была (внутренней или наружной), ее цветовой баланс определяется преобладающим источником света, а не местом съемки.

НА ЗАМЕТКУ

Цветовая температура, сопоставимая с нетемпературным источником света, в частности с флуоресцентной трубкой, имеет меньшее значение, чем цветовая температура температурного источника света (например, лампы накаливания). Температурный источник излучает свет, когда нагретый объект начинает светиться аналогично источнику света, впервые исследованному Кельвином. Стандартные электрические лампочки, свечи и даже солнце являются температурными источниками света. Помимо флуоресцентных трубок, другим примером нетемпературного источника света может служить светящийся люминофор экрана монитора или телевизора.

При съемке обычным любительским 35-миллиметровым фотоаппаратом одна и та же пленка может быть использована для съемки внутри и вне помещения без какого-либо заметного обесцвечивания снимков. Большинство типов пленок предназначено для съемки при дневном свете. Во избежание обесцвечивания при съемке в помещении в фотоаппарате используется встроенная вспышка, освещающая помещение дневным светом с соответствующей окраской. Благодаря вспышке одна и та же пленка может быть использована для съемки как внутри, так и вне помещения. Кроме того, при печати снимков с негативов в фотолаборатории используется ряд цветных фильтров для дополнительной коррекции оттенков в фотографиях, снятых в помещении.

ДРУГИЕ СПОСОБЫ УСТАНОВКИ ЦВЕТОВОГО БАЛАНСА

Помимо выбора цветового баланса одной из двух наиболее распространенных типов пленки, кинематографисты пользуются также другими доступными средствами для управления цветом изображения. В частности, на объективы камер надеваются цветные фильтры для окраски снимаемого изображения в какой-либо преобладающий цвет. Благодаря смене фильтра пленка, предназначенная для съемки при дневном свете, может быть использована для съемки в помещении, а сцена — окрашена в определенный цвет для придания конкретным кадрам съемки требуемого стилизованного вида.

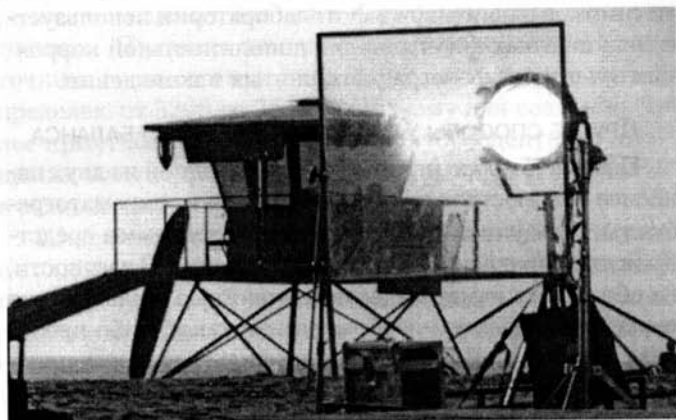
Даже после съемки процесс, называемый *выдержкой цвета (color timing)*, дает еще одну возможность изменить цветовой баланс сцены. Выдержка цвета представляет собой установку экспозиции в красном, зеленом и синем свете при печати с негатива, благодаря чему цвета на пленке получаются иными, чем цвета источников света на съемочной площадке.

Кроме того, во время съемок фильмов используются цветные *гели (gels)* для окраски источников света и согласования цветов освещения сцены. Гель представляет собой кусок окрашенного прозрачного материала. Крупные гели могут быть установлены за окном для окраски его в определенный цвет, а также для уменьшения яркости прямого солнечного света. Это дает возможность согласовать окраску света в окне с цветами источников света, используемых внутри помещения, чтобы устранить видимые отличия в цветовых тонах.

Более подробные сведения о всех типах источников света, фильтрах, цветовых температурах, а также полный набор диаграмм, таблиц и другого материала, посвященного пленкам, камерам и источникам света, можно найти в отраслевом справочнике *American Cinematographer Manual (Руководство американского кинооператора)*, изданном Американским обществом кинооператоров.

Гели обладают известной термостойкостью, поэтому они могут быть установлены непосредственно перед источниками света, как показано на рис. 6.16. Вместо того чтобы закрывать окно гелем, перед каждым источником света внутри помещения можно установить отдельный гель для придания этим источникам такой же окраски, как и у дневного света. С помощью гелей цветовые характеристики киносъемочного осветительного оборудования могут быть согласованы с окраской солнечного света, света лампы или любого другого источника света.

Рис. 6.16. Гель регулирует цветовую температуру источника света



Цветовой баланс используется в кинематографе не только для реалистичной цветопередачи, но и в качестве операторского средства стилизации и контроля внешнего вида изображения. Выбор цветового баланса для сцены может превратиться в творческий процесс — все зависит от того, какой внешний вид сцены требуется. “Неестественная” окраска сцены иногда позволяет повысить качество создаваемой продукции в большей степени, чем реалистичный или обычный цветовой баланс. В частности, легкий оттенок зеленого способен придать пространству сцены застывший или менее естественный вид либо передать ощущение болезненности, холода и безликости. Всего этого удалось добиться в сцене на рис. 6.17 благодаря окраске источников света зеленоватым оттенком.

Экспериментируйте с цветами источников света в трехмерной сцене, чтобы добиться требуемого заверченного вида создаваемой продукции. Взяв на вооружение кинематографические методы освещения, окраска которого зачастую отличается от естественной,

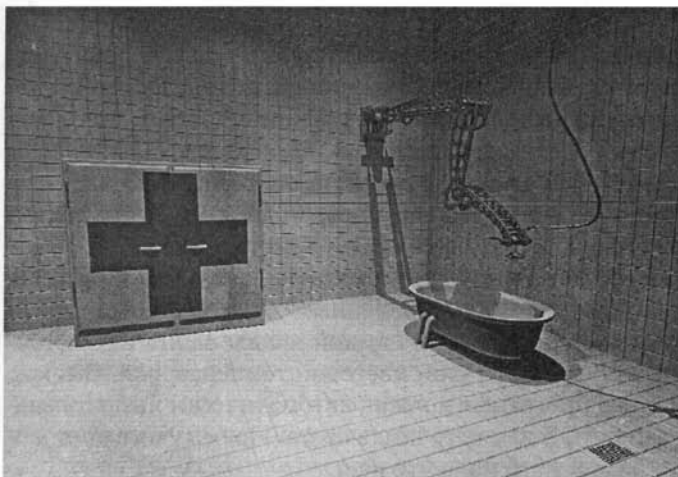


Рис. 6.17. В визуализированном изображении Вацлава Чижковского (Vaclav Cizkovski) с помощью зеленого света создается определенное настроение

следует пытаться отступать от значений, которые предполагает цветовая температура, всякий раз, когда такое нарушение от общего правила может улучшить визуализируемую сцену.

В качестве специального метода стилизации иногда уместно окрасить изображение с помощью отчетливо окрашенных источников света. Так, отличия в цветовой температуре в сцене на рис. 6.18 не скрыты, а, наоборот, преувеличены. Благодаря этому создается сильный контраст и подчеркивается отличие между теплым помещением и холодной погодой снаружи.

О ПРИМЕНЕНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, НЕ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО УСТАНОВКУ ЦВЕТОВОГО БАЛАНСА

Как упоминалось выше, у камер в большинстве программ трехмерной анимации и визуализации отсутст-

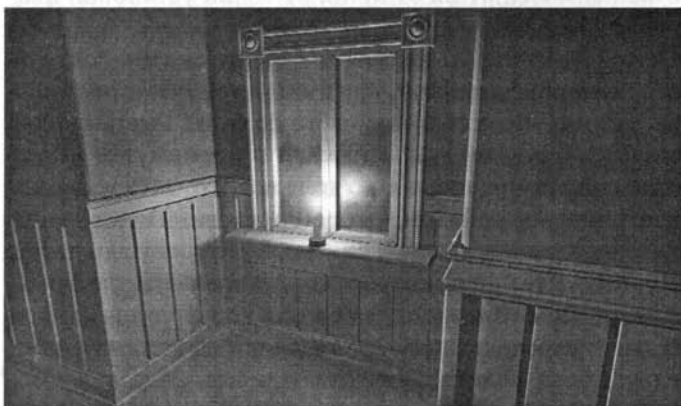


Рис. 6.18. Разность цветовых температур может служить стимулом для окраски источников света

ует возможность установки цветового баланса. Несмотря на это, некоторые производители подобных программ попытались возместить этот недостаток, предоставив возможность коррекции цвета источников света с помощью цветовых температур вместо непосредственного контроля значений цвета RGB источников света. Некоторые программы допускают выбор цветовой температуры 3200 К источника света, но не позволяют указать тип имитируемой пленки с цветовым балансом, установленным для съемки при дневном свете, освещении лампой накаливания или источником света с другой цветовой температурой. В таком случае программа должна автоматически выбрать значение RGB для источника света. Но без учета цветового баланса это мало что дает.

Конкретные цвета RGB, выбираемые для источников света в программах, пытающихся игнорировать установку цветового баланса, могут оказаться не столь реалистичными и точными, как при выборе цвета посредством описанного выше процесса. Например, если источник направленного света должен имитировать прямой солнечный свет, а источник заливающего света — небесный свет, программа, не поддерживающая установку цветового баланса, может выбрать одинаковые оттенки голубого для обоих источников света, поскольку оба источника света имеют высокую цветовую температуру. В итоге сцена теряет яркость и разнообразие цветов, которых можно добиться при правильно установленном цветовом балансе. В приведенном выше разделе «Цвета наружного освещения» было показано, каким образом выбираются более разнообразные цвета для солнца и неба в зависимости от их отличия от точки установки цветового баланса.

Точка установки цветового баланса должна соответствовать определенной части видимой области спектра. Если одни источники света должны иметь синюю окраску, а другие — красную, то в промежутке между этими цветами непременно должна быть точка с цветовой температурой, при которой источники света не получают дополнительную синюю или красную окраску. Поэтому в тех программах, где установка цветового баланса не предусмотрена, цветовая температура, произвольно определяющая центр спектра, должна выбираться по крайней мере автоматически.

Подобно экспозиции, которая требуется для фиксации светлых и темных тонов сцены, правильная установка баланса необходима для фиксации оттенков окраски света в сцене. Неправильно или неудачно выбранный цветовой баланс может ограничить цветопередачу, поэтому рекомендуется всячески избегать любых диаграмм или подключаемых модулей, которые вынуждают постоянно выбирать одни и те же значения цвета RGB для конкретного типа источника света.

Не следует думать, что подключаемый модуль, способный автоматически выбирать “правильный” цвет для источника света, обязательно выберет наиболее подходящий цвет. Собственное восприятие цвета и правильное представление о цветовых температурах естественных источников света и цветовом балансе помогут читателю самостоятельно подобрать значения цвета RGB, который будет выглядеть лучше, чем цвет, автоматически выбранный подключаемым модулем. Несмотря на различные возможности коррекции цвета окраски источников света, имеющиеся в интерфейсе программы, только средство визуализации фактически сохраняет и автоматически использует конкретные значения цвета RGB во время визуализации. Поэтому правильное представление о внутренней интерпретации цвета RGB в программе трехмерной графики и анимации имеет решающее значение для управления цветом в процессе визуализации.

Цвет RGB

Программа визуализации рассчитывает комбинации цветов освещения, прохождение и отражение света от окрашенных поверхностей на основании цветовой модели RGB. А поскольку визуализация выполняется в цветовом пространстве RGB, результаты вывода в цвете станут более понятными и предсказуемыми, если иметь ясное представление о том, что такое цвет RGB.

СПЕКТР

Цвет RGB представляет собой ограниченное воспроизведение конкретного спектра цветов, который может реально существовать. В реальной жизни один источник света может излучать свет на нескольких длинах волн. Полный спектр цветов, на которые разлагается видимый свет, может быть представлен в виде диаграммы, приведенной на рис. 6.19. На этой диаграм-

Рис. 6.19. Спектральное распределение световой энергии может быть представлено в виде сложного сочетания длин волн

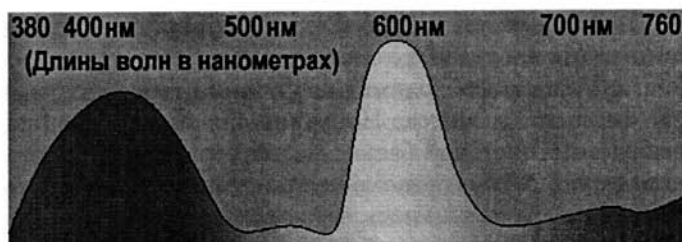
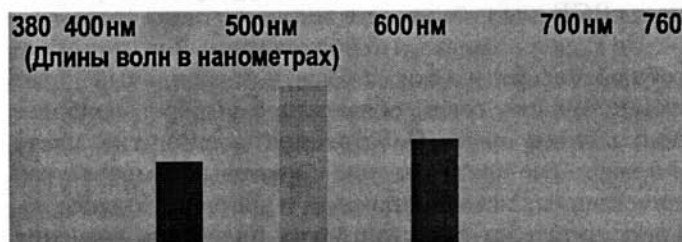


Рис. 6.20. Цвет RGB воспроизводит лишь некоторые длины волн света



ме показана *амплитуда* света (или его яркость) для каждой длины волны (или цвета) видимой области спектра. Вместо излучения света на всех длинах волн видимой области спектра в телевизорах и мониторах применяются люминофоры, излучающие свет только трех цветов: красного, зеленого и синего. Для отображения конкретного цвета монитор изменяет силу света в этих трех областях спектра, как показано на рис. 6.20. При этом свет с длиной волны в промежутке между красным, зеленым и синим цветами, воспроизводимыми монитором, не контролируется.

Как ни странно, такое ограниченное воспроизведение с помощью цвета RGB воспринимается как «полный цвет». Объясняется это тем, что глаза человека выбирают силу света лишь на трех перекрывающихся, характерных участках видимой области спектра и воспринимают цвет, исходя из относительной силы света в каждом диапазоне длин волн. За распознавание цвета отвечают окрашенные пигментом клетки глаза, называемые *колбочками*. Эти колбочки бывают трех типов: одна окрашена пигментом для фильтрации света и сильнее всего реагирует на коротковолновое излучение (этот участок видимой области спектра обозначен буквами «КВ» на илл. 6.10), другая лучше всего реагирует на средневолновое излучение (соответствующий участок видимой области спектра обозначен буквами «СВ» на илл. 6.10), а третья — на длинноволновое излучение (данный участок видимой области спектра обозначен буквами «ДВ» на илл. 6.10). Таким образом, восприятие

цвета человеком основано на относительной силе реакции каждого из трех типов колбочек.

В связи с тем что человек воспринимает лишь относительную силу света на трех упомянутых выше участках видимой области спектра, ограниченного воспроизведения спектрального состава света с помощью цвета RGB оказывается достаточно для удовлетворительного отображения большинства цветов. При этом большая часть информации, которую содержит окраска света, не видна невооруженным глазом.

Иногда свет источников с разным спектральным составом кажется наблюдателю одинаковым. В результате разложения света на составляющие с помощью призмы обнаруживается разный спектральный состав этих источников света, однако невооруженным глазом эти отличия не воспринимаются. Если обратиться к диаграмме на рис. 6.19, то можно заметить, что спектральный состав данного источника света образуется, в основном, из синего и желтого и незначительного количества зеленого в промежутке между этими двумя преобладающими цветами. Тем не менее невооруженный глаз будет воспринимать зеленую составляющую этого источника света и не сможет отличить его от источника света с непрерывным спектром, сосредоточенным в области чисто зеленого цвета.

Если на слух человек способен отличить ноту, воспроизводимую струной и собственным голосом, то воспринять зрением аналогичные различия в цвете он не может. При смешении двух цветов получающаяся в итоге комбинация длин волн может восприниматься человеком таким же образом, как и спектрально чистый цвет промежуточной длины волны. Это все равно, что воспроизвести одновременно на пианино ноты до и ми. По этому звуку вряд ли можно судить, что была воспроизведена еще и нота ре. Несмотря на столь значительную потерю цветовой информации в воспринимаемом свете, в этом есть свои преимущества. Благодаря именно этой особенности зрения стало возможным воспроизведение промежуточных цветов путем смешения красителей в соответствии с RGB и другими цветовыми моделями.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧИСТОТА

В большинстве случаев окрашенный свет оказывается не вполне *спектрально чистым*, т.е. он не содержит

все длины волн видимой области спектра. Если в результате коррекции цвета источника света на компьютере можно получить чисто-зеленый цвет без красного и синего, то в реальной жизни встретить что-либо подобное будет непросто. Слева на илл. 6.11 показаны цветные объекты, освещенные белым светом, а справа — те же объекты, освещенные чисто-зеленым светом. Последнее изображение выглядит просто нереально, поскольку объекты, представляющие самые разные цвета, теперь разделены по три на две группы одинаковых зеленых и черных шаров.

Данный пример наглядно показывает, что подобную чистоту и идеальность воспроизведения цвета трудно обнаружить в реальной жизни. Если бы зеленый свет отличался некоторым разнообразием своего спектрального состава, у трех зеленых шаров в приведенном выше примере был бы по крайней мере разный оттенок зеленого. А если бы три других шара не были окрашены только одним цветом, а содержали бы на своей поверхности пыль, грязь и разные изъяны, они отражали бы по крайней мере часть зеленого цвета и не выглядели бы совершенно черными.

Таким образом, для создания натуралистических сцен к чистым цветам RGB необходимо примешивать “грязь”, добавляя немного красного, зеленого и синего даже для наиболее отчетливо окрашенных источников света. Если исследовать значения RGB в оцифрованной фотографии, то скорее всего обнаружится большой разброс значений красного, зеленого, синего и совсем немного пикселей любого из чистых цветов RGB.

ЦИФРОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЦВЕТА

В различных программах трехмерной графики и анимации для обозначения числовых значений RGB используются разные шкалы: 0–255, 0,0–1,0 или 0%–100%. Несмотря на такое разнообразие, значение 0 обозначает черный цвет или отсутствие конкретного значения цвета, а верхний предел шкалы — полное значение конкретного цвета. В большинстве программ для непосредственного управления значениями цвета используется шкала 0–255, обозначающая 256 возможных уровней яркости красной, зеленой и синей составляющих цвета. Другие шкалы более удобны, и поэтому они могут быть использованы для управления цветом даже при разной его *разрядности (bit-depth)*.

Разрядность цвета — это число двоичных разрядов (битов) информации, приходящихся на каждый пиксель визуализированного изображения. Наименьшей разрядностью в компьютерной графике обладает 1-разрядный цвет, создающий монохромное изображение. Каждому пикселю 1-разрядного изображения соответствует один бит, принимающий значение 0 (отсутствие цвета или черный цвет) или 1 (наличие какого-либо одного цвета — белого, зеленого или янтарного, в зависимости от цвета люминофора монохромного монитора).

При увеличении числа двоичных разрядов на пиксель увеличивается и число возможных цветов. Так, в 2-разрядном цвете на каждый пиксель приходится по два бита, а это означает четыре возможных цвета.

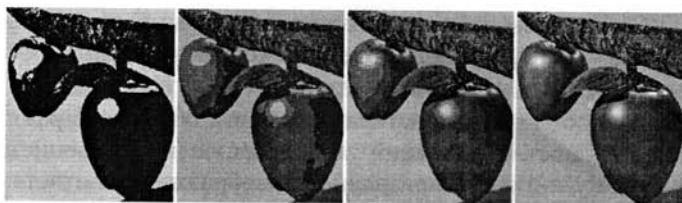
- Комбинация двоичных разрядов 00 дает цвет 0.
- Комбинация двоичных разрядов 01 дает цвет 1.
- Комбинация двоичных разрядов 10 дает цвет 2.
- Комбинация двоичных разрядов 11 дает цвет 3.

При наличии всего двух двоичных разрядов на каждый пиксель для получения цветного изображения могут быть использованы четыре цвета. Каждый дополнительный бит удваивает число возможных цветов. В частности, комбинация трех битов дает восемь возможных цветов, комбинация четырех битов — 16 цветов, а комбинация восьми битов — 256 цветов. Таким образом, число цветов равно разрядности цвета, возведенной в степень 2.

В устройствах отображения 256 или меньшего числа цветов обычно используется *справочная таблица цветов (CLUT)*, или *палитра цветов*, описывающая цвет, который дает каждое числовое значение. Так, например, в справочной таблице цветов для 2-цветного устройства отображения цветом 0 может быть обозначен черный, цветом 1 — голубой, цветом 2 — пурпурный, а цветом 3 — желтый. Все изображение должно содержать по крайней мере один из возможных цветов из справочной таблицы цветов. Это может означать, что изображениям с сокращенным числом цветов не всегда хватает цветовых тонов для создания непрерывного затенения или передачи каждого цвета из трехмерной визуализируемой сцены, как показано на рис. 6.21.

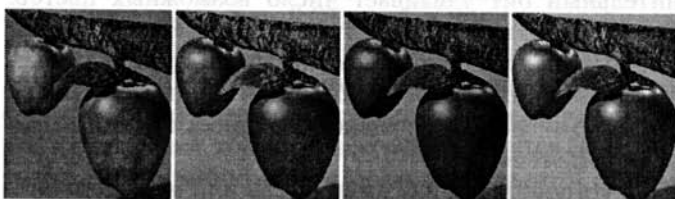
При увеличении числа битов на пиксель свыше 8 для обозначения цветов уже не требуется произвольный выбор палитры. Вместо этого в изображении ис-

Рис. 6.21. Слева направо: изображение с 1 битом на пиксель (2 цвета), 2 битами на пиксель (4 цвета), 4 битами на пиксель (16 цветов) и 24 битами на пиксель (16777216 цветов)



пользуются три значения цвета в виде трех информационных каналов красного, зеленого и синего с отдельным числовым значением для каждого пикселя. Большинство визуализируемых трехмерных сцен выводятся с 8 битами на каждый канал цветовой информации, что дает 256 возможных уровней яркости красного, зеленого и синего. На рис. 6.22 показано, каким образом красная, зеленая и синяя составляющие цветного изображения могут быть отображены в виде отдельных каналов. Такое представление цвета с помощью трех каналов по 8 двоичных разрядов на каждый называется *24-разрядным цветом* и допускает 16777216 возможных цветов в изображении ($256 \times 256 \times 256 = 16777216$). Это наиболее распространенный формат вывода в программах трехмерной визуализации.

Рис. 6.22. Каналы красного, зеленого и синего (слева) образуют вместе многоцветное изображение (справа)



Иногда визуализацию требуется выполнить с меньшей разрядностью, чем у 24-разрядного цвета, например, для распространения продукции в интерактивной среде, на CD-ROM или в виде файлов формата GIF в Web. В таком случае визуализация обычно выполняется в 24-разрядном цвете, но с использованием контролируемой, ограниченной цветовой схемы, а значит, и сокращенной палитры цветов. По завершении визуализации в программе трехмерной графики или анимации полученные 24-разрядные изображения преобразуются в программе редактирования или раскраски изображений в формат конечного продукта с сокращенным числом цветов.

32-разрядный цвет включает в себя то же число возможных цветов и ту же цветовую информацию RGB,

что и 24-разрядный цвет. Но помимо этого, в 32-разрядный цвет входит еще один 8-разрядный канал, называемый *альфа-каналом* (*alpha channel*). Этот канал может содержать такую дополнительную информацию, как прозрачность каждого пикселя или маски, применяемую при компоновке изображений. Содержимое альфа-канала более подробно рассматривается в главе 10. В результате ввода дополнительного 8-разрядного канала на каждый пиксель в общем приходится 32 бита, хотя изображение RGB остается таким же, как и при 24-разрядном цвете.

Для некоторых цифровых кинематографических приложений иногда используется больше 8 битов на каждый канал. Ряд средств визуализации допускают вывод в формате 16 битов на канал, что позволяет более точно воспроизвести уровни красного, зеленого и синего. При наличии трех каналов цвета и одного дополнительного альфа-канала в итоге на каждый пиксель приходится от 48 до 64 битов. 48- или 64-разрядный цвет особенно удобен для дополнительного манипулирования или коррекции цвета изображений после визуализации без существенного ухудшения их качества. Однако для визуализации с большей разрядностью цвета требуется больше места для хранения визуализированных изображений или кадров анимации, но в целом процесс визуализации в данном случае выполняется не намного медленнее, чем при 24-разрядном цвете. В действительности многие средства визуализации выполняют внутренние расчеты всех цветов в формате 16 битов на канал, а затем округляют результат до 8 битов на канал при выводе изображения.

РЕЗЮМЕ

При выборе цвета для трехмерной сцены необходимо принимать во внимание следующие пять факторов.

- Особое внимание необходимо уделить выбору четко определенной цветовой схемы для создаваемых сцен, вместо того чтобы использовать произвольные цвета для окраски различных объектов.
- Не существует единого “настоящего” цвета, который всегда бы подходил к конкретному источнику света. Цвета окраски источников света следует рассматривать относительно цветового баланса пленки, цифровой или видеокамеры ли-

Художники, занимающиеся компьютерной графикой для кинематографа и мультимедиа, могут по-разному трактовать понятие разрядности цвета. Как правило, те, кто работает в кинематографе, трактуют разрядность цвета поканально, т.е. под термином “16-разрядный цвет” они понимают 16 битов на каждый канал и 48 или 64 бита на каждый пиксель. А разработчики мультимедийной продукции трактуют разрядность цвета в виде общего числа разрядов на каждый пиксель, т.е. под термином “16-разрядный цвет” они понимают лишь 16 битов на каждый пиксель.

бо преобладающего цветового оттенка, к которому приспособливается зрение человека.

- Несмотря на то что отдельные цвета могут меняться в разных сценах, относительная окраска различных типов источников света должна сохранять легко распознаваемую взаимосвязь с их цветовой температурой. Каким бы ни был установленный для съемки цветовой баланс, свет бытовой лампы всегда будет казаться более красным, чем дневной, а заливающий небесный свет — более голубым, чем солнечный.
- Сцена получается более яркой и реалистичной, если в освещении объектов присутствуют разнообразные цвета. Отличие в цветовой температуре может служить в качестве удобной отправной точки для внесения разнообразия в освещение.
- Источники света, способные воспринимать цвета окружающей обстановки, вносят в сцену разнообразие и имитируют естественную окраску в отраженном свете.

Лишь немногие правила ограничивают возможности работы с цветом в визуализируемых сценах. Тем не менее главным недостатком большинства визуализируемых работ является пренебрежение цветом, ибо слишком часто пользователи программ трехмерной графики и анимации выполняют визуализацию, не думая о цвете, и тем самым упускают возможность применить принципы, изложенные в этой главе.

УПРАЖНЕНИЯ

1. Загрузите созданную ранее сцену и выполните ее визуализацию при разной окраске света. Попробуйте изменить настроение в изображении, сделав его более радостным, печальным или пугающим. Попробуйте придать сцене ночной или утренний характер. Покажите по-новому окрашенные сцены своим друзьям и обсудите с ними впечатления от разных вариантов сцен.
2. Загрузите в программу раскраски изображение какой-нибудь сцены и попробуйте исключить цвет. Во многих случаях предпочтение отдается черно-белым вариантам визуализированных изображений с повышенным контрастом. По-

попробуйте также окрасить изображение в разные цвета и определить конкретную цветовую схему в визуализированных изображениях.

3. Допустим, что вам поручено визуализировать логотип курьерской службы “Официальный курьер”. Какой цвет вы выберете для слова “Официальный” и для слова “курьер”? Поясните свой выбор.
4. По телевизору можно часто наблюдать, как для создания доверия к личности политического деятеля съемка выполняется в теплых, желтоватых тонах. Как такой съемке удастся придать иной оттенок по сравнению с другой съемкой в том же помещении? Какими соображениями обычно руководствуются для придания сцене подобного или иного вида?
5. Попробуйте осветить сцену светом двух разных источников. Можно ли каким-то образом обозначить невидимый в кадре источник света с помощью используемых цветов?

ЭКСПОЗИЦИЯ

Экспозиция представляет собой ответственный момент открытия затвора фотоаппарата или кинокамеры для прохождения света через объектив к пленке. Благодаря экспозиции контролируется, главным образом, яркость и контраст снимаемого изображения, хотя она оказывает также влияние на структуру изображения, фокус и количество регистрируемого движения. В трехмерной графике и анимации приходится самостоятельно решать, следует ли имитировать результаты установки экспозиции камеры. В этой главе поясняются функции экспонирования в трехмерной графике и анимации, методы контроля экспозиции в настоящих фотоаппаратах и кинокамерах и способы имитации фотоэкспонирования в трехмерной сцене.

ГИСТОГРАММЫ И ОБЩИЕ НЕДОСТАТКИ ЭКСПОНИРОВАНИЯ

В этом разделе рассматривается целый ряд общих недостатков экспонирования и контраста, способных отрицательно повлиять на качество визуализируемых изображений, если их вовремя не обнаружить и не устранить. Визуальный контроль результатов пробной визуализации, как правило, считается наиболее важным средством проверки передачи цветовых тонов, используемых в сцене. Не менее ценным оказывается и такое средство, как гистограмма, с помощью которой дополнительно проверяется экспозиция сцены.

Гистограмма представляет собой диаграмму, которая строится на компьютере для отображения частоты появления всех возможных цветовых тонов в изобра-

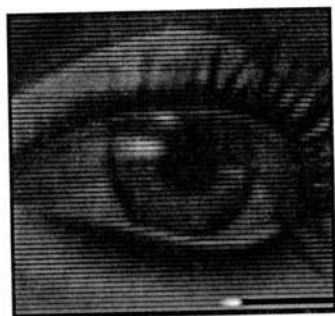
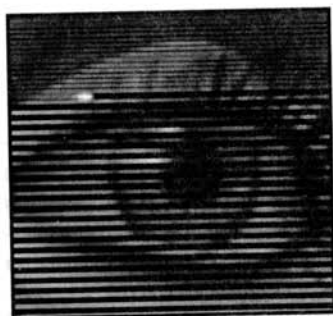
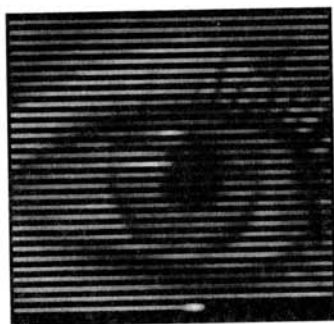
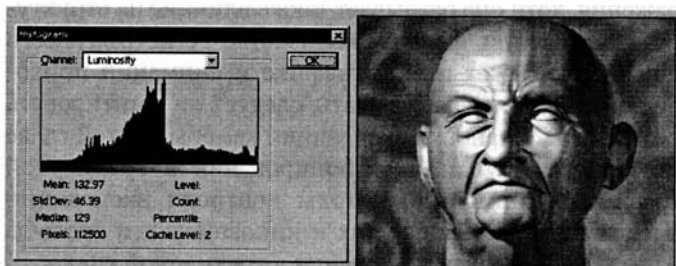




Рис. 7.1. Гистограмма показывает частоту появления различных цветовых тонов в визуализированном изображении. (Модель головы из коллекции NURBANA, созданная Эми Е. Медфорд (Аму Е. Medford).)

жении. Для просмотра гистограммы визуализированного изображения его следует загрузить в программу редактирования, раскраски или компоновки изображений, поддерживающую функцию гистограмм.

Типичная гистограмма приведена на рис. 7.1. Каждому из 256 возможных уровней яркости изображения в гистограмме соответствует отдельный вертикальный столбец (в данном случае анализируется изображение с 8 битами на каждый канал). Высота каждого столбца определяется числом пикселей, используемых в изображении для воспроизведения соответствующего цветового тона. Столбцы в левой части гистограммы показывают число пикселей, используемых для передачи черных и темных тонов, столбцы в центре гистограммы — число пикселей, используемых для передачи средних тонов, а столбцы в правой части гистограммы — число пикселей, используемых для передачи светлых тонов вплоть до чисто-белого цвета на правом краю гистограммы.



Гистограмма служит удобным средством анализа передачи разных оттенков в трехмерной визуализированной сцене. В последующих разделах настоящей главы будет показано, каким образом гистограмма позволяет выявить и устранить различные недостатки экспонирования.

- Передержка.
- Недодержка.
- Полосатость.
- Малый контраст.
- Большой контраст.
- Ограничение.

В каждом из последующих разделов рассматриваются недостатки экспонирования, которые могут быть

выявлены с помощью гистограммы. В качестве дополнения визуального контроля сцены анализ гистограммы помогает поддерживать качество создаваемых работ на должном уровне, а также сохранить качество визуализируемых изображений при их переносе с экрана монитора на пленку, видеоленту или оттиск на бумаге.

ПЕРЕДЕРЖКА

Передержка (overexposure) характерна для работ начинающих художников. В передержанных изображениях используются только светлые тона и совсем немного — темные.

Не контролируя полностью используемые в сцене источники света, начинающие художники зачастую позволяют свету заливать все участки сцены, что в итоге приводит к передержке сцены при визуализации.

Гистограмма, приведенная на рис. 7.2, ясно указывает на передержку изображения. Самые высокие

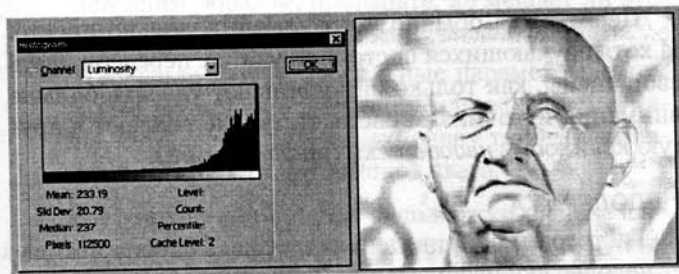


Рис. 7.2. Эта гистограмма демонстрирует передержку, поскольку большая ее часть смещена вправо

столбцы на правом краю гистограммы показывают большое число пикселей, использованных для передачи светлых тонов при визуализации, а расположенные слева самые низкие столбцы — небольшое число пикселей, использованных для передачи темных тонов.

Обычно в изображении сцены используется вся палитра, включая светлые и темные тона, если только сцена не должна быть специально освещена ярким светом, например, для отображения вспышки в анимации. Если гистограмма указывает на недостаточное количество темных тонов в визуализированной сцене, для улучшения ее освещения можно предпринять следующие шаги.

- Исключите из сцены лишние источники света, не выполняющие четко определенной и конкретной роли.

- Выключите общее освещение, чтобы исключить лишнее освещение всех поверхностей в сцене.
- Ограничьте область действия источников света, уменьшив пределы спада их света конкретным участком сцены либо сузив конус прожекторов.
- Убедитесь в том, что тени визуализируются полностью и что для окраски тени или яркости полной тени не выбран более светлый тон. После настройки сцены выполните ее новую визуализацию и еще раз проверьте по гистограмме, что в сцене используется весь диапазон тонов: от светлых до темных.

Если визуализированные изображения получаются передержанными согласно гистограмме, но внешне таковыми не выглядят на экране монитора, убедитесь в отсутствии слишком большого количества бликов и отраженного света от экрана монитора и проверьте, достаточно ли яркости монитора для отображения всего диапазона тонов.

Передержка обычно устраняется довольно просто. И хотя обучающихся постоянно учат не передерживать свои сцены, как только они начинают уделять больше внимания источникам света, то тут же впадают в другую крайность: *недодержку* (*underexposure*).

НЕДОДЕРЖКА

Гистограмма, приведенная на рис. 7.3, обнаруживает недодержку изображения. Теперь столбцы смещены на левый край гистограммы, указывая на то, что в визуализированном изображении используются только самые темные тона.

Если гистограмма обнаруживает недодержку визуализированных изображений, поверьте наличие в трехмерной сцене следующих возможных причин этого явления.

Рис. 7.3. Эта гистограмма демонстрирует недодержку, поскольку большая ее часть смещена влево



- Сила света ряда источников света может оказаться слишком малой. Кроме того, некоторые источники света, возможно, следует сделать более яркими.
- Затухание или ослабление света источников света может оказаться настолько большим, что свет от них не достигает освещаемых объектов. В таком случае следует увеличить расстояние спада света или уменьшить его затухание.
- Убедитесь в том, что отражающие поверхности действительно отражают свет, а прозрачные — пропускают свет. Если же поверхность окружена темнотой, то ее способность отражать или пропускать свет сделает ее еще темнее.
- Источники света могут быть иногда затенены, в частности, плафонами осветительных приборов, внутри которых они находятся. Так, если один из источников света не освещает сцену надлежащим образом, проверьте, не мешает ли этому окружающая его геометрическая форма.
- Проверьте любые глобальные параметры, в том числе затемнение в глубину или эффекты тумана, которые иногда делают сцену темнее независимо от яркости источников света.

После устранения причин недодержки в сцене следует повторить ее визуализацию и проверить по гистограмме, насколько полно используется весь диапазон тонов, а не только самые темные из них.

ЛЮБИТЕЛЬСКИЙ МРАК

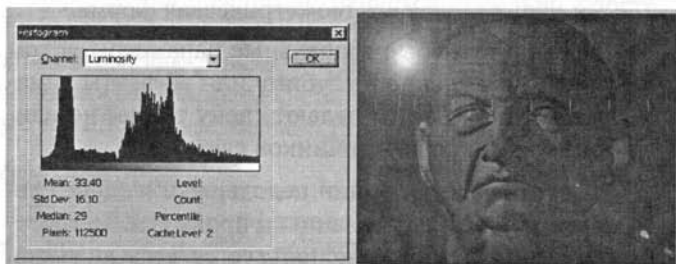
Многие обучающиеся в стремлении сделать свои трехмерные визуализированные сцены более реалистичными или изящными попутно обнаруживают, что темнота является удобным средством скрыть допущенные ошибки. Практически любой недостаток, который выявляется при визуализации, будь то плохо настроенный материал, шов или изъян в геометрической форме, неверно залегающие тени или непривлекательная подсветка, может быть скрыт, если сделать сцену достаточно темной. В итоге визуализированные сцены некоторых начинающих художников страдают так называемым *любительским мраком* (*student murk*), или хронической недодержкой сцен.

Проблема любительского мрака сродни стремлению нерадивых учеников скрыть свою безграмотность благодаря неразборчивому почерку. В обоих случаях учащиеся на самом деле скрывают всю свою работу, а не только ошибки. Недодержка сцены — это ошибка, которая может неожиданно проявиться при печати, проецировании на экран или просмотре визуализированной работы в видеоварианте. Поэтому вместо того чтобы погружать основные недостатки сцены в мрак, старайтесь их устранять.

ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ И НЕДОДЕРЖКА

Самая худшая ситуация возникает, когда такой оптический эффект, как свечение или блики в объективе, используется в сцене, которая в противном случае получается недодержанной. Благодаря яркому оптическому эффекту гистограмма может показывать нормальное экспонирование сцены, даже если сами объекты, находящиеся на сцене, недостаточно освещены. Пример подобной ситуации приведен на рис. 7.4.

Рис. 7.4. Если недодержанная сцена содержит свечение или другие оптические эффекты, ее гистограмма может показывать нормальное экспонирование



Яркие оптические эффекты в снимаемой сцене делают и без того мрачные объекты еще менее различимыми. Поэтому если в сцену требуется ввести оптические эффекты, начинать следует с ее пробной визуализации без подобных эффектов, с тем чтобы определить, насколько правильно сцена экспонирована.

ПОЛОСАТОСТЬ

С недодержкой связан еще один распространенный недостаток — *полосатость (banding)*, называемая также *огрублением (posterization)* или *оконтуриванием (contouring)*. Изображение с недостатками полосатости содержит заметные цветовые полосы и ступеньки вместо равномерного затенения. На появление полосатости могут указывать заметные промежутки между столбцами гистограммы, как показано на рис. 7.5.

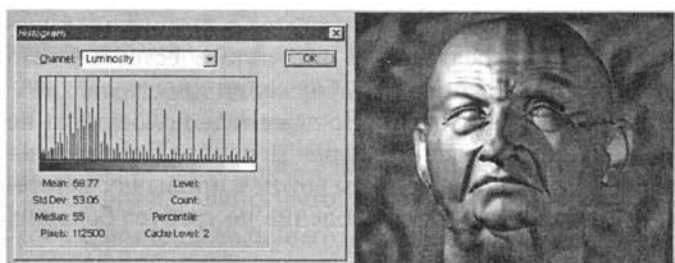


Рис. 7.5. На появление полосатости указывают промежутки между столбцами гистограммы, которые особенно заметны на щеках визуализированной модели головы

Полосатость нередко обусловлена чрезмерным манипулированием или обработкой изображения. Этот недостаток проявляется при попытке откорректировать визуализированное изображение слабо освещенной сцены путем увеличения его яркости в программе редактирования или раскраски изображений. Причиной появления промежутков между столбцами гистограммы является распределение небольшого числа соседних оттенков, использованных в исходном изображении, по всей палитре при увеличении яркости изображения. Аналогичное явление полосатости иногда возникает и в том случае, если изображение сначала воспроизведено с сокращенной разрядностью цвета либо в режиме индексированного цвета, а затем преобразовано в многоцветное.

Недостатки полосатости могут быть устранены или предупреждены следующими способами.

- Убедитесь в том, что сцена освещена полностью, без недодержки.
- Назначьте карты текстур для нетекстурированных поверхностей. Иногда даже небольшого количества карт отображения цветов или рельефности оказывается достаточно для устранения полосатости.
- Если оцифровка изображений или карт текстур выполняется с помощью планшетного сканера, попробуйте настроить яркость и контраст на панели управления сканера вместо коррекции изображения после оцифровки.
- Придайте источникам света реалистичную окраску, вместо того чтобы использовать чисто-белые источники света. Расстройка каналов красного, зеленого и синего уменьшает на треть любую полосатость или ступенчатость.
- Введите при необходимости небольшое размытие, чтобы устранить остатки полосатости.

НА ЗАМЕТКУ

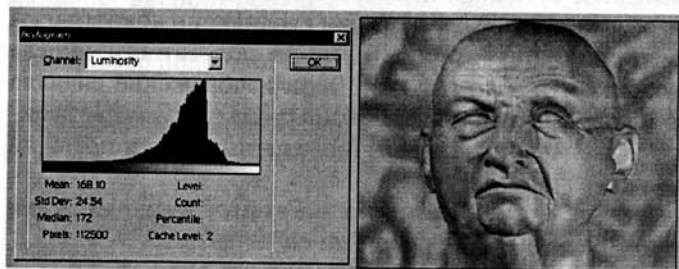
На панели управления монитора должен быть установлен режим отображения "реалистичного цвета", называемый также режимом "миллионов цветов", "24-разрядного цвета" или "32-разрядного цвета", для оценки мелких недостатков визуализированного изображения. В противном случае при выводе на экран монитора в изображении может появиться полосатость, даже если в его файле подобный недостаток отсутствует.

Отнюдь не каждый промежуток в гистограмме указывает на полосатость. В результате естественного разброса одних тонов в изображении иногда оказывается больше, чем других. Но даже если полосатость не возникает, приведенные выше меры предотвращения подобного явления должны войти в привычку читателя, тем более что их соблюдение не требует больших усилий.

МАЛЫЙ КОНТРАСТ

Гистограмма, большая часть которой сосредоточена на одном участке палитры, как показано на рис. 7.6, свидетельствует о малококонтрастном изображении. Если в изображении используются, в основном, тона средней части палитры цветов и совсем мало темные и светлые тона, оно выглядит выцветшим или подернутым дымкой.

Рис. 7.6. На малококонтрастную сцену указывает сосредоточение большей части гистограммы на одном участке



Формально рассмотренные выше недодержанные и передержанные изображения могут считаться малококонтрастными, поскольку в передержанном изображении используются только самые светлые тона, а в недодержанном — самые темные. Таким образом, устранять недостатки малококонтрастной сцены следует, начиная с приведенного ранее в этой главе перечня мер борьбы с недодержкой и передержкой.

Если визуализированные сцены страдают недостатком малого контраста, следует также убедиться в точности установки одного источника направленного света, а также в том, чтобы любые находящиеся на сцене источники заливающего света не мешали или не подавляли своей яркостью источник направленного света (более подробные сведения о соотношении направленного и заливающего света приведены в главе 3).

Малый контраст считается недостатком, если он нежелателен или неуместен в сцене. Однако в следующих

случаях сцены могут быть намеренно сделаны мало-контрастными.

- Имитация атмосферы, наполненной туманом, пылью или снегом.
- Создание ностальгического вида, как, например, у пожелтевших фотографий.
- Смягчение внешнего вида сцен, как при фотографировании моделей через газовую ткань.
- Получение нейтрального фона, в частности, при оформлении элементов, размещаемых позади текста в титрах.

Если малый контраст визуализированных сцен является необходимостью, он превращается из недостатка в достоинство сцены. В действительности слишком большой контраст также считается недостатком некоторых сцен.

БОЛЬШОЙ КонтРАСТ

Гистограмма, разделенная на два отдельных столбца светлых и темных тонов и содержащая совсем небольшое количество средних тонов, свидетельствует об очень большом контрасте визуализированной сцены. Так, гистограмма, приведенная на рис. 7.7, указывает на изображение, совершенно лишенное затенения и состоящее из двух ровных участков белого и черного.

Высококонтрастные изображения могут быть использованы для создания впечатляющего эффекта. Такие изображения всегда привлекают большее внимание зрителей, чем малоконтрастные. И если достаточный контраст важен для привлекательности изображения, то слишком большой контраст приводит к тому, что отдельные участки изображения скрываются в темноте или оказываются передержанными, а затенение между крайними участками света и тени используется недостаточно для моделирования формы объекта.

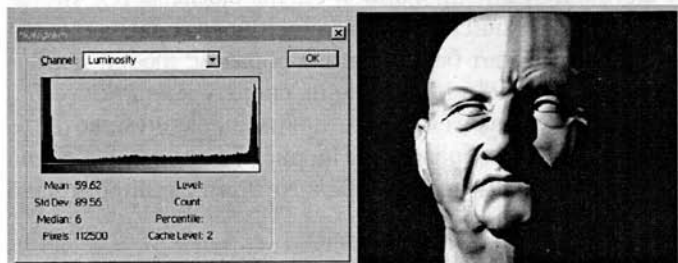


Рис. 7.7. О большом контрасте сцены свидетельствует гистограмма, сосредоточенная в основном на темных и светлых участках

Поэтому необходимо уделять особое внимание контролю уровня контраста для достижения требуемой четкости сцены без потери всех промежуточных тонов, необходимых для полного затенения.

Для повышения контраста изображения обычно используются следующие приемы.

- Выберите прожекторы вместо всенаправленных источников света, чтобы сосредоточить весь свет на отдельных участках сцены.
- Добейтесь того, чтобы тени визуализировались достаточно темным цветом, а если их края должны быть более резко выраженными, выберите для их формирования метод трассировки лучей.
- Установите в сцене сильное затухание света на расстоянии или его спад по закону обратных квадратов.
- Выключите общее освещение в сцене и используйте небольшое либо среднее количество заливающего света.

Непреренно проверьте уровень контраста изображения визуальнo, не полагаясь только на гистограмму. Ведь гистограмма показывает, как используются тона во всем изображении, тогда как контраст больше всего заметен, когда светлые и темные тона располагаются рядом, а между ними имеется резкий переход.

ОГРАНИЧЕНИЕ

Досадным недостатком цифровых изображений является *ограничение (clipping)*. Цифровая палитра достигает максимального уровня яркости, который она способна представить, в области чисто-белого цвета, а минимального уровня — в области совершенного черного. Но иногда затенение сцены достигает этих пределов на крайних участках света и тени, и далее изменение тонов уже не происходит. Так, если отдельный участок визуализированной сцены оказывается чисто-белым, то независимо от увеличения его освещенности он уже не станет белее. Таким образом, любой дополнительный свет или затенение сверх уровня чисто-белого ограничивается самым ярким значением, которое может быть отобрано. На рис. 7.8 показана сцена с ограниченным уровнем белого и смещенной вправо гистограммой.

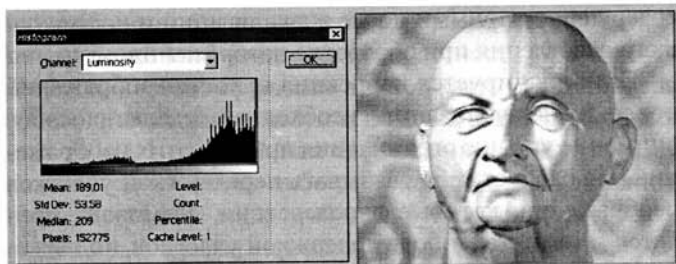


Рис. 7.8. Об ограничении свидетельствуют резкие "пики" на правом краю гистограммы

Если палитру требуется использовать максимально, включая светлые и темные тона, то полностью избежать ограничения вряд ли удастся. Иногда наличие в визуализированной сцене участков, достигающих области совершенно черного и чисто-белого, оказывается желательным свойством, а не визуальным недостатком.

Тем не менее ограничение может оказаться очень заметным при осветлении или затемнении изображения после его визуализации с ограничением. Так, на рис. 7.8, если его сделать темнее в программе редактирования изображений. Участок этого изображения, заполненный ранее чисто-белым, после затемнения стал серым, неестественно ровным и без затенения. Объясняется это тем, что все пиксели на передержанных участках изображения получились вследствие ограничения одинаково чисто-белыми, без какого-либо изменения тонов или затенения. А если ограниченное изображение затемняется в процессе его обработки, то все чисто-белые пиксели могут приобрести ровный серый тон, причем такая обработка изображения не может привести к появлению затенения или изменения тонов, поскольку оно было ограничено в исходном изображении при его визуализации. Такой же ограниченный, ровный вид могут приобрести и те участки изображения, которые были недодержаны или получились

НА ЗАМЕТКУ

В некоторых программах контролируются участки сцены, которые оказываются "белее белого", что дает возможность применять вокруг них такие визуальные эффекты, как свечение, однако уровни яркости в окончательно визуализированном изображении, выводимом в файл, будут ограничены установленными пределами. В ряде программ имеется возможность визуализации и обработки изображений с большим, чем 8, числом битов на канал, что позволяет существенно уменьшить влияние ограничения.

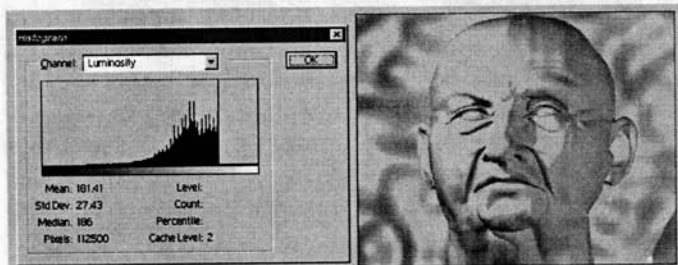


Рис. 7.9. Цифровая коррекция яркости изображения после визуализации может привести к тому, что участки ограниченной яркости получатся неестественно ровными

НА ЗАМЕТКУ

Для фотопленки также характерны ограничения на степень светлоты или темноты отдельных участков изображения. Допустимые пределы яркости для конкретного типа пленки называются *интервалом экспозиции (exposure latitude)*. Однако интервал экспозиции аналоговой пленки не обрывается резко в точке отсечки, как в цифровых системах, поэтому ограничение является, главным образом, недостатком последних.

совершенно черными после визуализации и последующего осветления при обработке изображения.

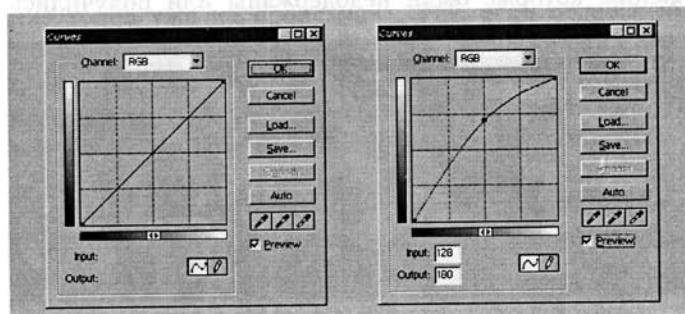
Если планируется коррекция яркости изображений после их визуализации, необходимо уделить особое внимание уровню ограничения яркости этих изображений. Не следует себя связывать передержкой участков изображения, которые впоследствии, возможно, придется затемнять, либо недодержкой участков, подлежащих затемнению. В главе 10 рассматривается особый случай затемнения изображений: если требуется добавить тени в изображении, предварительно следует убедиться в том, что поверхность, на которую должна падать тень, не заполнена чисто-белым.

ГАММА-КОРРЕКЦИЯ

У каждого устройства вывода есть свой показатель *коэффициента контрастности, или гаммы (gamma)*, который определяет соотношение между сигналом, посланным на устройство, и конечным результатом, полученным на этом устройстве. Так, коэффициент контрастности видеомониторов определяет соотношение между посылаемыми на них видеосигналами и фактической яркостью изображения, выводимого на экран, а коэффициент контрастности принтера — соотношение между уровнями затемнения в файле изображения и темнотой конкретной краски, наносимой на бумагу.

По мере нанесения черной краски на белую бумагу последняя быстро темнеет. А значение цвета, воспроизводимого где-то посередине между белым и черным на экране монитора, может дать намного более темный тон на печатной странице. Если визуализированные сцены первоначально предназначаются для просмотра на компьютерном мониторе, а затем выводятся на печать, они должны подлежать *гамма-коррекции (gamma-correction)*, которая представляет собой функцию обработки изоб-

Рис. 7.10. Гамма-коррекция для печати изменяет переход от тени к свету, используя соотношение, наглядно представленное в виде кривой



ражения, выполняющую его коррекцию для компенсации отличий коэффициента контрастности у разных устройств. Гамма-коррекция может быть представлена в виде кривой зависимости выходных тонов от входных (рис. 7.10). Прямая линия слева на рис. 7.10 указывает на отсутствие каких-либо изменений в изображении, причем каждый выходной тон будет соответствовать входному. А кривая справа на рис. 7.10 увеличивает коэффициент контрастности изображения, делая более светлыми средние тона исходного изображения.

Изменение коэффициента контрастности на первый взгляд может показаться аналогичным изменению яркости изображения. Однако при этом отнюдь не обязательно смещается уровень яркости черного (т.е. самые темные тона, используемые в изображении) либо белая точка (т.е. самые светлые тона). Коэффициент контрастности регулирует быстроту перехода от тени к свету. На рис. 7.11 показано изображение до и после гамма-коррекции для печати. Обратите внимание на расширение тех частей гистограммы, которые соответствуют большей крутизне кривой гамма-коррекции, а также на сокращение ее участков, соответствующих меньшей крутизне этой кривой.

Если правильно использовать доступную палитру при первоначальном оформлении и визуализации сцены, ее визуализированное изображение не сильно страдает от обработки (как автоматически, так и вручную) для вывода на другие носители.

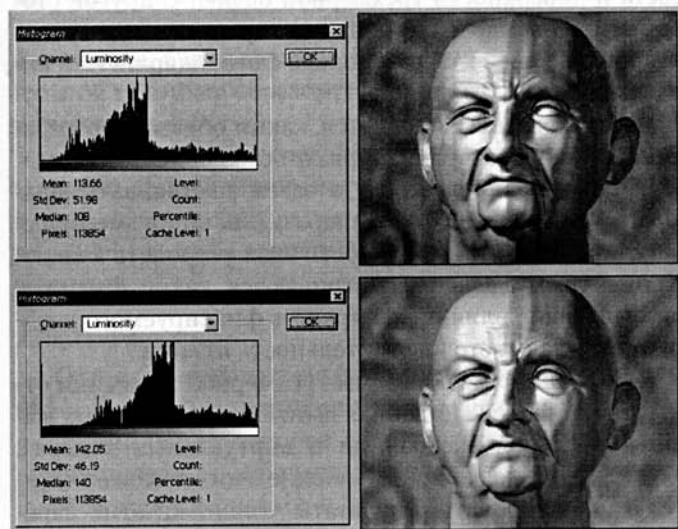


Рис. 7.11. Гистограммы до и после гамма-коррекции (вверху и внизу) показывают изменение яркости в области средних тонов

Проверку по гистограмме целесообразно выполнять после каждого этапа обработки изображения, особенно это касается гамма-коррекции. На участках гистограммы, растянутых в результате гамма-коррекции, могут вполне естественно появиться промежутки между столбцами. Это явление может оказаться незначительным, если исходное изображение правильно экспонировано. Но если сцены получаются недодержанными, то в результате гамма-коррекции в их изображениях может появиться заметная полосатость.

Несмотря на то что гистограммы чаще всего используются для контроля операций обработки изображений, во время работы над трехмерной продукцией профессиональные художники редко обращаются к ним при освещении своих сцен. Тем не менее, если нет уверенности в том, что темные и светлые тона используются правильно, этот факт удобно проверить по гистограмме. По мере приобретения читателем опыта реалистичного освещения трехмерных сцен проверка каждого его проекта по гистограмме будет давать независимую объективную оценку точности совпадения тонов, отображаемых на экране монитора и выводимых в файл изображения.

ИМИТАЦИЯ НАСТОЯЩИХ КАМЕР

Во время работы в трехмерной цифровой среде приходится постоянно регулировать яркость и контраст визуализируемых изображений, настраивая источники света и поверхности трехмерной сцены. С другой стороны, при съемке настоящих сцен яркость снимков или кадров регулируется с помощью фотоаппарата или кинокамеры.

В этом разделе поясняется, каким образом фотографы и кинооператоры измеряют освещенность снимаемых сцен экспонометром, а затем настраивают диафрагму и выдержку фотоаппарата или кинокамеры для регулировки чувствительности этих устройств к свету. Кроме того, здесь рассматриваются такие факторы, оказывающие влияние на яркость фиксируемого изображения, как светочувствительность пленки.

В большинстве программ трехмерной анимации отсутствует непосредственная имитация упомянутых выше параметров экспозиции в виртуальных камерах. Тем не менее ясное представление о них поможет читателю симитировать результаты установки этих пара-

метров в трехмерной сцене, а также улучшить взаимосвязь цифровой продукции с отснятым материалом, который содержит естественное движение и с которым эта продукция объединяется.

ИЗМЕРЕНИЕ

Гистограммы дают объективные показатели уровня яркости трехмерной сцены, а в реальном мире фотографы и кинооператоры пользуются *экспонетрами* для измерения уровня освещенности снимаемых сцен. Экспонетры бывают самых разных типов и размеров: отдельные ручные приборы, как, например, на рис. 7.12, либо встроенные в камеры.

Экспонетры используются двояким способом. Во-первых, они могут работать в *падающем свете*, измеряя количество света, достигающего объекта. Для этого экспонетр направляется на свет в месте расположения объекта. И во-вторых, они могут работать в *отраженном свете*, измеряя количество света, отраженного от объекта в месте расположения камеры. Зачастую экспонетры снабжены полупрозрачным колпачком (см. рис. 7.12), который надевается на чувствительный элемент и смещается, регулируя количество измеряемого света, падающего под разными углами.

По существу, гистограммы пробных визуализированных изображений можно сравнить с результатами измерений экспонетром в отраженном свете. Они показывают тона окраски света, фактически достигающего камеры от освещенного объекта. Это означает, что цвет и яркость поверхностей, видимых в визуализируемой сцене, будут оказывать влияние на форму гистограммы таким же образом, как и цвет и яркость источников света.

После измерения освещенности экспонетром фотограф и кинооператор могут установить соответствующие значения диафрагмы и выдержки фотоаппарата или кинокамеры в зависимости от уровня освещенности сцены.

АПЕРТУРА

Одним из самых важных устанавливаемых параметров настоящей камеры является *апертура (aperture)* — отверстие, через которое свет достигает пленки при экспонировании. В большинстве камер величина апертуры может изменяться в большую или меньшую сто-



Рис. 7.12. Для измерения ручным экспонетром падающего света белый пластмассовый колпачок смещается в сторону



Рис. 7.14. Для визуализации цвета выдержки и диафрагмы экспонетром в отраженном свете — камера

Рис. 7.15. Измерение уровня освещенности сцены с помощью экспонетра

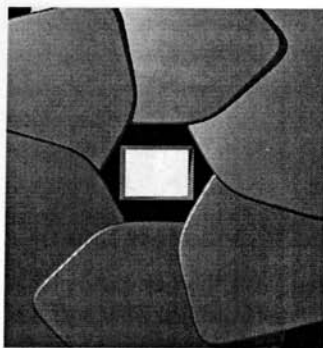


Рис. 7.13. Апертура камеры изменяется с помощью металлических створок



Рис. 7.14. При уменьшении чисел диафрагмы апертура увеличивается, а при увеличении этих чисел — уменьшается

рону, регулируя количество света, достигающего пленки при экспонировании.

Величина апертуры изменяется с помощью конструкции, состоящей из металлических створок, придающих апертуре шестиугольную или восьмиугольную форму (рис. 7.13). Форма апертуры иногда проявляется в таком эффекте, как блики в объективе.

ДИАФРАГМА

Величина апертуры измеряется в числах *диафрагмы* (*f-stop*). Чем больше число диафрагмы, в частности 64, тем меньше апертура, а следовательно, в камеру поступает меньше света. И наоборот, чем меньше число диафрагмы, например 1,4, тем больше апертура, а следовательно, в камеру поступает больше света.

Не совсем понятный и кажущийся на первый взгляд произвольным последовательный ряд чисел диафрагмы, как, например, на рис. 7.14, на самом деле выбран таким образом, чтобы при увеличении каждого числа диафрагмы апертура сокращалась наполовину. У различных объективов могут быть разные минимальные и максимальные числа диафрагмы, но, как правило, они имеют следующий ряд чисел: 1,4, 2, 2,8, 4, 5,6, 8, 11, 16, 22, 32, 45, 64.

ГЛУБИНА РЕЗКОСТИ

Помимо простого изменения яркости снимаемой сцены, установка диафрагмы имеет ряд побочных эффектов, самым значительным из которых является *глубина резкости* (*depth of field*), определяющая удаленность объекта, находящегося в фокусе, от камеры.

Несмотря на то что объектив фокусируется на конкретном расстоянии, глубина резкости определяет пределы, в которых объекты остаются в приемлемом фокусе без заметной нечеткости наведения на резкость. Чем больше число диафрагмы, тем больше глубина резкости, что иногда еще называется *глубоким фокусом* (*deep focus*). При глубоком фокусе вся сцена оказывается в фокусе: от объектов, ближе всего расположенных к камере, до удаленных объектов на заднем плане, как показано слева на рис. 7.15.

При малом числе диафрагмы получается мелкая глубина резкости, а значит, в фокусе могут оказаться лишь некоторые объекты, как показано справа на рис. 7.15. При этом любой объект, находящийся ближе

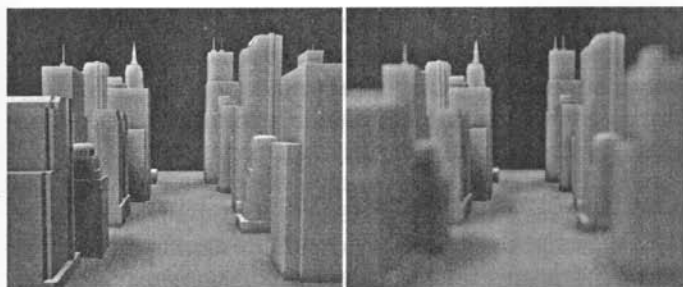


Рис. 7.15. Чем меньше апертура, тем больше глубина резкости (слева), и наоборот, чем больше апертура, тем мельче глубина резкости (справа)

к камере и дальше от нее, сразу же оказывается не в фокусе.

Для глубокого фокуса требуется много света. В слабо освещенной окружающей среде приходится шире открывать апертуру для обеспечения достаточного света, но при этом сокращается глубина резкости. Так, для съемки фильма «Гражданин Кэйн» (*Citizen Kane*) Орсона Уэллса (Orson Welles), где впервые был широко использован глубокий фокус, потребовалось большое количество источников заливающего света, чтобы сохранить приемлемую диафрагму камеры.

Для создания эффектов глубины резкости в программах трехмерной графики и анимации иногда требуется устанавливать определенное число диафрагмы, чтобы воспроизвести нужную глубину резкости. Как следует из рис. 7.16, если требуется очень ограниченная глубина резкости, необходимо выбрать малое число диафрагмы, а если требуется глубокий фокус — большое.

Если в программе трехмерной графики или анимации указывается диафрагма для управления глубиной резкости, эта программа обычно имитирует лишь глубину резкости, связанную с конкретной диафрагмой. Указываемая диафрагма не будет оказывать влияние на яркость кадра съемки, хотя это основная функция

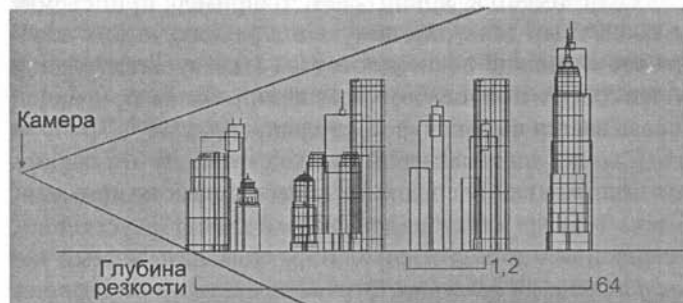


Рис. 7.16. Настроить глубину резкости можно с помощью устанавливаемых чисел диафрагмы

диафрагмы при настройке настоящей камеры. В некоторых программах нельзя указать диафрагму, а вместо этого для имитации глубины резкости предоставляется возможность указать начальное и конечное расстояние для фокуса, которым легче управлять.

СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПЛЕНКИ

Еще один способ оказать влияние на экспозицию камеры состоит в выборе разных типов пленки, поскольку одни типы пленки более чувствительны к свету, чем другие. Конкретная *светочувствительность пленки* (*film speed*) определяет быстроту ее реакции на свет.

При прочих равных условиях экспозиции выбор светочувствительности пленки связан со следующими компромиссными вариантами.

- *Высокочувствительная пленка*, быстро реагирующая на свет и допускающая установку меньшей апертуры или выдержки при обычных условиях освещения. Это дает возможность получить изображение с глубоким фокусом либо воспроизвести резкими быстро движущиеся объекты. Недостаток высокочувствительных пленок состоит в том, что они, как правило, обладают крупной зернистостью и меньшей контрастностью, чем менее чувствительные пленки.
- *Малочувствительная пленка*, обладающая мелкой зернистостью и лучше передающая свет и контраст. В связи с тем что малочувствительная пленка медленнее реагирует на свет, к ее недостатку следует отнести необходимость устанавливать большую выдержку, а следовательно, увеличивать размытость движения, либо большую апертуру, а значит, ограничивать глубину резкости.

Если имеется яркий свет, например при съемке в солнечный день, для получения резких, четких изображений можно воспользоваться малочувствительной пленкой. А при слабом освещении более пригодной оказывается высокочувствительная пленка.

Съемка видеокамерой меньше зависит от выбора пленки, так как последняя в видеокамерах не применяется. Тем не менее видеокамеры вносят в установку экспозиции дополнительный фактор, называемый *коэффициентом усиления*. Этот коэффициент определяет

усиление электрического сигнала, формируемого светочувствительной микросхемой видеокамеры или матрицей ПЗС. Действие коэффициента усиления аналогично описанным выше побочным эффектам светочувствительности пленки. Так, если видеокамера используется для съемки при слабом освещении, повышение коэффициента усиления может привести к увеличению зернистости изображения и уменьшению разрешения аналогично влиянию высокочувствительной пленки на снятое изображение.

ДВИЖЕНИЕ И ЧАСТОТА КАДРОВ

Кино- и видеокамеры работают с определенной частотой кадров, обычно измеряемой числом кадров в секунду и определяющей количество кадров, экспонируемых в секунду на движущейся пленке, или изображений, записываемых на видеоленту.

Кинофильмы, как правило, снимаются с частотой 24 кадра в секунду. Такая частота обычно называется *частотой смены кадров (sound speed)*, поскольку она является стандартной для съемки на пленку синхронно с записью звуковой дорожки.

Во всем мире применяются различные телевизионные стандарты с разной частотой кадров. Так, телевизионный стандарт NTSC, распространенный в Северной Америке и большей части стран Тихоокеанского бассейна, определяет частоту чуть меньше 30 кадров в секунду, а два других распространенных в остальном мире стандарта, PAL и SECAM, — частоту 25 кадров в секунду.

ВЫДЕРЖКА

С частотой кадров тесно связана *выдержка (shutter speed)*, определяющая продолжительность открытия затвора камеры для экспонирования пленки светом и обычно выражаемая в долях секунды. Для съемки кинофильмов характерна выдержка $1/48$ секунды, при которой затвор камеры открывается и закрывается через равные промежутки времени, соответствующие частоте 24 кадра в секунду.

Чем дольше затвор открыт, тем больше света достигает пленки. Так, при выдержке $1/4$ секунды на пленку попадает в 2 раза больше света, чем при выдержке $1/8$ секунды. При удвоении продолжительности открытия затвора снимаемая сцена получается в 2 раза ярче.

НА ЗАМЕТКУ

На видеоискателях и органах управления многих фотоаппаратов и кинокамер выдержка указывается сокращенно. Так, например, выдержка 1/250 секунды обозначается числом 250, а выдержка 1/500 секунды — числом 500. Таким образом, чем больше числовое обозначение, тем меньше выдержка.

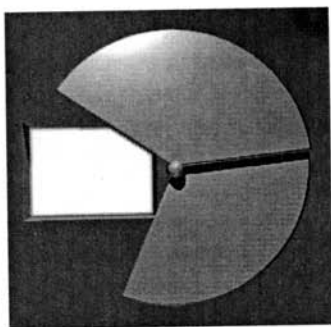


Рис. 7.17. Просвет во вращающемся диске образует угол раскрытия затвора

Вместо долей секунды выдержка иногда еще обозначается в виде *угла раскрытия затвора (shutter angle)*. В качестве затвора большинства кинокамер служит диск, поворачивающийся на 360° для экспонирования каждого кадра. При открытом затворе свет проходит в просвет в этом диске и, таким образом, достигает пленки. А непрозрачная металлическая шторка заслоняет свет в закрытом положении затвора. Угол раскрытия затвора регулирует степень открытия затвора с помощью металлической шторки (рис. 7.17).

Наиболее распространенный угол раскрытия затвора 180° означает, что затвор в течение одной половины периода открыт, а в течение другой — закрыт. Таким образом, угол раскрытия затвора 180° соответствует выдержке, равной половине частоты кадров. Например, при стандартной для кинематографа частоте 24 кадра в секунду и угле раскрытия затвора 180° выдержка составит $1/48$ секунды.

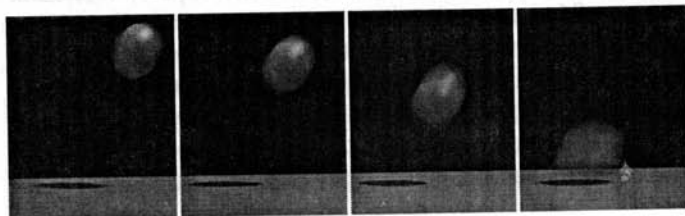
Угол раскрытия затвора, деленный на 360, дает ту часть частоты кадров, которая фактически используется в качестве значения выдержки для установки экспозиции. Так, при угле раскрытия затвора 90° выдержка составляет $1/4$ периода, что при частоте 24 кадра в секунду соответствует выдержке $1/(4 \times 24)$ или $1/96$ секунды.

РАЗМЫТОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Помимо количественного изменения экспозиции, выдержке присущ весьма заметный побочный эффект, регулирующий величину *размытости движения (motion blur)* в кадре съемки. Размытость движения определяет количество движения или изменение в сцене, фиксируемое в течение экспозиции одного кадра, как показано на рис. 7.18.

Во многих программах визуализации имеется возможность настройки имитируемой выдержки для визуализации размытости движения, причем эта выдержка зачастую обозначается числами от 0 до 1 либо в процентах от 0% до 100%. Если угол раскрытия затво-

Рис. 7.18. Размытость движения 0,5 имитирует угол раскрытия затвора 180°



ра взят из съемки с естественным движением, его следует разделить на 360, чтобы получить значение, вводимое в программу трехмерной графики или анимации. Так, если сцена снята при угле раскрытия затвора 180° , в качестве значения выдержки следует ввести 0,5 (или 50%), что позволит получить результаты, приведенные на рис. 7.18.

В качестве эмпирического правила для получения наиболее реалистичных, естественных результатов величину размытости движения следует поддерживать в пределах от 0,5 до 0,75. Слишком малая величина размытости движения делает последнее прерывистым и неестественным, а полная величина 1 (или 100%) имитирует угол раскрытия затвора 360° , при котором затвор вообще не закрывается, а пленка не перемещается к следующему кадру, что практически невозможно в настоящей кинокамере. Слишком большая величина размытости движения приводит к появлению остаточного изображения или следа, тянущегося за объектами при их перемещении, вместо воспроизведения естественной размытости движения.

Для имитации большинства реалистичных видов размытости движения необходимо также принимать во внимание тот факт, что большая выдержка обычно требуется для съемки при слабом освещении, а малая — при ярком. Дополнительная размытость движения придает темным сценам более естественный вид, имитируя большую выдержку. А небольшая размытость движения может быть использована в очень яркой сцене для имитации малой выдержки.

Поля ВИДЕОКАДРА

В большинстве видеокамер кадры фактически создаются посредством двух отдельных экспозиций в течение каждого кадра, называемых полями видеокадра. Поле представляет собой половину видеокадра, разделенного чередующимися строками развертки (рис. 7.19). *Строки развертки (scanlines)* представляют собой горизонталь-



Рис. 7.19. Два поля, чередующиеся на телевизионном экране, образуют видеокадр

ные линии изображения, образующие видеокадр, причем каждая из них соответствует одной строке пикселей в визуализированном изображении.

Сначала отображаются нечетные строки развертки первого поля, а затем четные строки второго. При чересстрочной развертке двух чередующихся полей на экране отображается полный кадр с заданным разрешением, включая все строки обоих полей.

Преимущество деления кадра на два поля состоит в том, что выборка движущихся объектов производится с удвоенной частотой кадров, в результате чего движение воспроизводится более плавно и точно. При этом затвор открывается не 25 или 30 раз в секунду, а 50 или 60 раз в секунду, фиксируя поля. Это означает, что развертка любых движущихся объектов осуществляется с удвоенной частотой.

В большинстве программ трехмерной графики и анимации имеется возможность выполнить визуализацию с частотой полей видеокадра. В этом режиме визуализации выводится в два раза больше файлов изображений, визуализируемых дважды в каждом кадре, чтобы изображения полей отображались затем с чередованием в разные моменты времени. Подобным образом фактически имитируется движение, регистрируемое обычной видеокамерой.

При использовании полевой развертки в 2 раза уменьшается не только выдержка, но и величина размытости движения. Некоторые художники даже отключают размытость движения при визуализации своих трехмерных сцен для вывода в видеоформате с полевой разверткой, хотя полное отсутствие размытости движения иногда может выглядеть нереалистично. Визуализированные кадры анимации объекта, приведенные на илл. 7.1, показывают разные варианты визуализации полей и размытости движения. Из данного рисунка можно сделать вывод, что при визуализации полей размытость движения играет менее существенную роль.

На рис. 7.20 показан эффект колеса повозки, который иногда проявляется при совпадении темпа снимаемого движения с частотой кадров. Этот эффект получил свое название от сцен погони из вестернов, в которых часто фигурировали быстро движущиеся повозки. При просмотре таких фильмов создавалось впечатление, будто колеса вращаются в обратном направлении. Данный эффект объясняется тем, что кажу-

Альтернативой чересстрочной (полевой) развертке служит *построчная развертка*, при которой каждый кадр изображения не делится на два поля, а разворачивается построчно, т.е. в порядке следования строк от начала до конца кадра. Построчная развертка применяется в компьютерных мониторах, в телевизионных системах высокой четкости, а также в некоторых типах записывающих видеокамер.



Рис. 7.20. По приведенным здесь кадрам трудно судить, в каком направлении вращается колесо

щиеся одинаковыми спицы колеса менялись местами, когда затвор камеры был закрыт, что затрудняло слежение за ними между кадрами. Для уменьшения эффекта колеса повозки можно добавить размытость движения, увеличить (по возможности) частоту кадров либо активизировать визуализацию полей, если таковая окажется пригодной.

Для одних видов трехмерной анимации визуализация полей подходит больше, чем для других. Ниже приведен ряд ситуаций, когда визуализация полей оказывается вполне уместной.

- Графические работы, выполняемые для видео и телевидения и требующие максимальной плавности движения.
- Объединение трехмерных графических элементов с материалом, отснятым на видеокамеру с чересстрочной разверткой.
- Визуализация плавного движения с минимальной размытостью или вообще без таковой.
- Корпоративная видеопродукция, анимационное графическое оформление “плавающих логотипов” и создание трехмерных графических элементов, включаемых в титры.

Тем не менее режим визуализации полей для конкретного проекта необходимо выбирать благоразумно. Ниже приведены ситуации, когда визуализация полей оказывается неуместной.

- Графические работы, выводимые на пленку или на экраны компьютерных мониторов с построчной разверткой, поскольку визуализация полей пригодна лишь для чересстрочного видео.
- Анимация персонажей, даже если она предназначена для видео, поскольку промежуточные интерполируемые позы персонажей, вводимые при визуализации полей, только ухудшают, а не улучшают качество анимации по ключевым кадрам.
- Визуализация с выводом в разных телевизионных стандартах для выпуска продукции на меж-

дународном уровне. Такая продукция теряет качество в меньшей степени при преобразовании в другие стандарты, если ее визуализация выполняется без полей.

- Применение трехмерных графических элементов в телевизионных проектах вместе с материалом, содержащим естественное движение и отснятым на пленку либо с помощью систем с построчной разверткой. Такие элементы должны быть визуализированы с частотой кадров отснятого видеоматериала.
- Ретуширование, изменение размера, вращение, размывание или другие ручные операции с трехмерными графическими элементами после их визуализации.

Если же нет уверенности, что для создаваемой видеопродукции действительно требуется визуализация полей, то главным критерием выбора остается внешний вид выводимого материала. Для этого необходимо сначала выполнить пробную визуализацию на видеоленту с полями и без таковых, а также с любой размытостью движения, а затем сравнить качество полученного видеоматериала в обоих вариантах и выбрать наилучший.

ДРУГИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭКСПОЗИЦИЮ

Помимо апертуры, выдержки и светочувствительности пленки, существуют и другие факторы, способные оказывать влияние на экспозицию настоящей камеры.

- Фильтр *ND* (*нейтральной оптической плотности*), надеваемый на объектив камеры и ограничивающий экспозицию, но не ухудшающий качество изображения и не изменяющий другие факторы.
- Различные методы обработки пленки, позволяющие увеличить экспонирование пленки на эквивалентное число диафрагмы и, как правило, изменяющие зернистость и цветопередачу в процессе обработки пленки.
- Различные регулируемые параметры процесса печати фото- или киноплёнок с негативов, допускающие дополнительное манипулирование яркостью и цветами изображений.
- Тонкая настройка на яркость и контраст при офигурвке пленки в *телекинодатчике* (*telecine*)

(системе преобразования в видео в реальном масштабе времени) или *телевизионном кинопроекторе (film scanner)* (цифровом преобразователе с высоким разрешением).

Таким образом, перед тем, как появиться на пленке, видеоленте или печатном оттиске, изображения подвергаются значительной обработке. Поэтому для выбора наиболее подходящих тонов, передающих любую часть фотоизображения, приходится принимать немало решений во время самых разных процессов обработки.

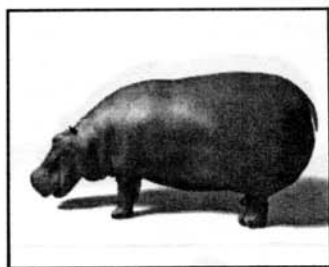
Самый важный вывод, который можно сделать из изучения регулируемых параметров экспозиции, состоит в том, что яркость в реальном мире не преобразуется непосредственно в тона изображения. Фотографическое изображение или кинокадр является не объективно зафиксированным моментом, взятым из реальной жизни, а субъективным отображением сцены фотографом или кинооператором.

УПРАЖНЕНИЯ

1. Загрузите одну из своих трехмерных сцен в программу редактирования изображений и проверьте их по гистограмме. Видны ли по ней какие-либо недостатки или особенности экспозиции, отмеченные в этой главе? Можно ли внести какие-то изменения, вернувшись к трехмерной сцене?
2. Проанализируйте отдельные поверхности в своих трехмерных сценах и выявите среди них те, что выделяются в окружающей обстановке. Насколько яркой оказывается самая темная и самая светлая части такой поверхности? Насколько такая поверхность подобна остальным объектам, освещенным тем же источником света?
3. Проанализируйте в режиме стоп-кадра ряд сцен из взятого напрокат фильма, снятых ночью или при слабом освещении. Насколько велика при этом глубина резкости? Насколько велика размытость движения, когда объект быстро перемещается? На какие компромиссы, по вашему мнению, пришлось пойти кинооператору при съемке той или иной сцены? Задайте себе эти же вопросы при анализе сцен, снятых на натуре при солнечном свете.

8

ГЛАВА



Композиция и постановка

В этой главе рассматриваются вопросы, имеющие важное значение для компоновки всей визуализируемой сцены, а не только ее освещения. При этом необходимо решить, в каком месте визуализируемой сцены должен находиться каждый объект, где должна располагаться камера для получения наиболее удачного кадра, какой вид съемки потребуется для анимации. Решение этих вопросов позволяет повысить художественный и профессиональный уровень создаваемой работы. А для этого необходимо иметь правильное представление о таких рассматриваемых в этой главе понятиях, как *композиция*, т.е. компоновка всей визуализируемой сцены, и *постановка*, т.е. расположение объектов и персонажей в кадре. Художественные принципы и кинематографические правила, рассматриваемые в настоящей главе, связаны скорее с камерой, чем с освещением, однако правильное представление об этих правилах имеет решающее значение для создания привлекательного кадра или превосходного результата окончательной визуализации.

Виды съемки

Язык кинематографа включает в себя определенное число основных видов съемки. Поэтому очень важно уметь различать и описывать виды съемки так, как это делают создатели фильмов, чтобы планировать и обсуждать свою цифровую продукцию или брать на вооружение кинематографические приемы, раскрывающие сюжет.



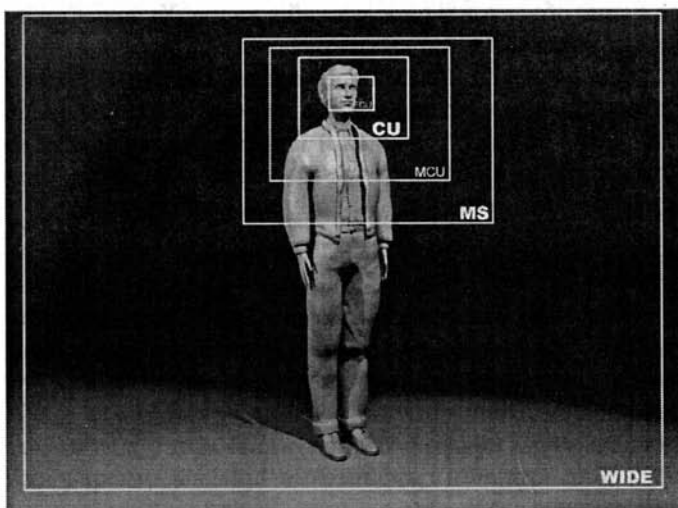
ПЛАНЫ СЪЕМКИ

Виды съемки отличаются, в основном, *планом съемки (shot size)*, который определяет, какая часть сцены будет видна в кадре. Ниже приведены пять наиболее распространенных планов съемки в порядке увеличения части сцены, наблюдаемой в кадре.

- **Предельно крупный план (ECU)** — заполняет весь экран мелкими деталями сцены. При такой съемке показывается лишь часть лица персонажа.
- **Крупный план (CU)** — плотное кадрирование конкретного участка, например лица персонажа.
- **Средний крупный план (MCU)** — находится посередине между крупным и средним планом и зачастую используется для показа персонажа с головы до плеч.
- **Средний план (MS)** — охватывает более обширный участок, чем крупный план. Обычно средним планом показывается верхняя часть тела персонажа, его руки и голова.
- **Общий план (WS или WIDE)** — охватывает широкий вид всего места съемки, объекта или действия. Как правило, общим планом показывается весь персонаж с головы до пят либо целые группы персонажей.

Светлыми квадратами на рис. 8.1 выделены части фигуры персонажа, обычно охватываемые перечисленными выше планами. Это лишь общие рекомендации,

Рис. 8.1. Предельно крупный план (ECU), крупный план (CU), средний крупный план (MCU), средний план (MS) и общий план (WIDE) чаще всего используются для съемки персонажей



поскольку конкретные планы съемки зависят от размера объекта съемки и окружающей его обстановки. Так, например, при анимации футбольного матча весь стадион показывается общим планом, а отдельные игроки — крупным, а при анимации персонажей-насекомых общим планом охватывается лишь несколько десятков сантиметров пространства.

Используя самые разные планы, как показано на рис. 8.2, можно придать более интересный и кинематографический вид визуализированным сценам и кадрам анимации. Для этого необходимо прежде всего исследовать наиболее интересные участки трехмерных сцен на предмет их показа, например, предельно крупным или средним крупным планом.

Съемка общим планом позволяет показать всю окружающую обстановку в целом, более широко захватить действие либо представить одновременно положение всех персонажей на сцене. Но прежде чем переходить к показу деталей крупным планом, следует дать зрителям общее представление о сцене с помощью *дальнего плана (establishing shot)*. Это более общий план, предназначенный для установления связи с остальными кадрами снимаемой сцены и показа окружающей обстановки, которая может быть невидна крупным планом. Иногда перед началом сцены внутри здания делается съемка дальним планом, показывающая здание снаружи для установления связи с местом действия.

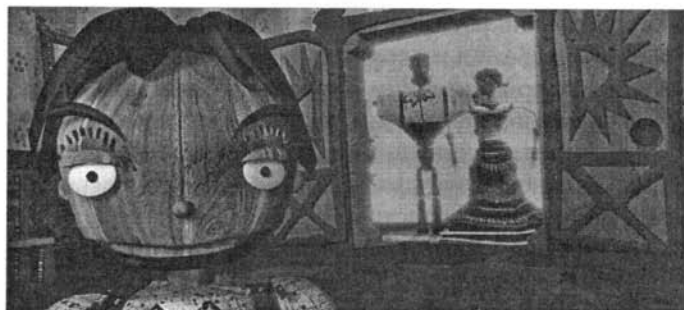
Средние и крупные планы помогают привлечь внимание зрителей к сцене и обнаружить детали либо выражение лица персонажей. Крупные планы особенно полезны для визуализации продукции, предназначенной для телевидения или отображения на экранах небольших размеров.

Съемка реакции (reaction shot) представляет собой показ реакции персонажа на конкретное наблюдаемое им событие. Обычно для показа реакции персонажа используется крупный план. Съемка реакции служит одним из самых распространенных примеров применения крупного плана, поэтому ее следует непременно включать в каждую создаваемую последовательность действия, чтобы поддерживать интерес зрителей к эмоциональной стороне раскрываемого сюжета. Даже если в анимации показываются самые разные события: от сражения космических кораблей до нашествия доис-



Рис. 8.2. Общий план (вверху) помогает зрителям сориентироваться, средний план (посередине) охватывает действие, а предельно крупный план (внизу) обнаруживает дополнительные детали

Рис. 8.3. Разводка по оси Z сочетает в себе показ одного персонажа крупным планом с показом остальных персонажей общим планом, как в данной сцене, поставленной Хорхе Р. Гуттиэрресом



торических ящеров на город, происходящее на экране будет больше интересовать зрителей, если они увидят также реакцию отдельных персонажей на все эти события.

РАЗВОДКА ПО ОСИ Z

Для съемки трехмерной сцены отнюдь не обязательно всегда использовать только крупный или только общий план, поскольку различные объекты или персонажи могут находиться на разном расстоянии от камеры.

Постановка сцены с различными объектами, находящимися на разном расстоянии от камеры, называется *разводкой по оси Z* (*Z-axis blocking*). Примером разводки по оси Z может служить показ крупным планом персонажа, приближающегося к камере, в то время как другой персонаж остается удаленным на заднем плане (рис. 8.3).

Используйте возможности трехмерного пространства при постановке сцены, вместо того чтобы выстраивать в линию все персонажи на одинаковом расстоянии от камеры!

ВСТРЕЧНАЯ СЪЕМКА

Отдельные виды съемки могут быть объединены для постановки диалогов, встреч или других сцен, в которых оба персонажа обращены лицом друг к другу.

СРЕДНИЙ ПЛАН ДВУХ АКТЕРОВ

Средний план двух актеров (*two-shot*) — это просто вид съемки, при которой показываются два персонажа (рис. 8.4). Несмотря на удобство и простоту среднего плана двух актеров, он может иметь плоский и неинтересный вид. Более изящный способ съемки сцены с двумя персонажами состоит в том, чтобы начать ее со среднего плана двух актеров в качестве установочного

НА ЗАМЕТКУ

На первый взгляд *разводка по оси Z* кажется термином, взятым из компьютерной графики, но в действительности данный термин применялся кинематографистами задолго до появления трехмерной графики, анимации и визуализации.

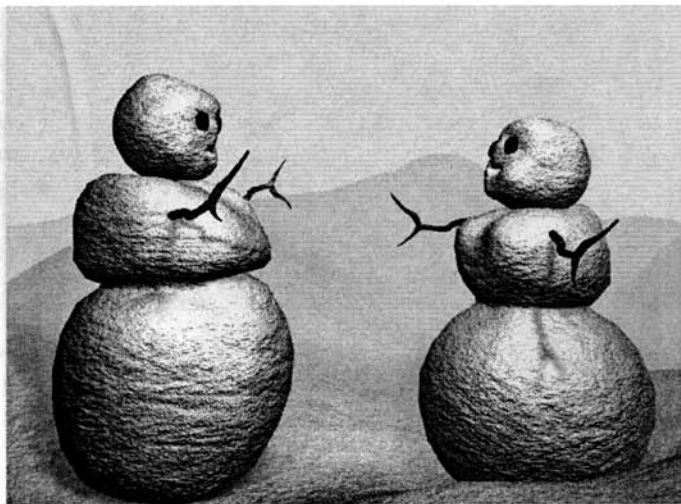


Рис. 8.4. Средним планом двух актеров обычно показывают оба персонажа на сцене

плана, а затем выполнить монтажный переход к съемке крупным планом или через плечо.

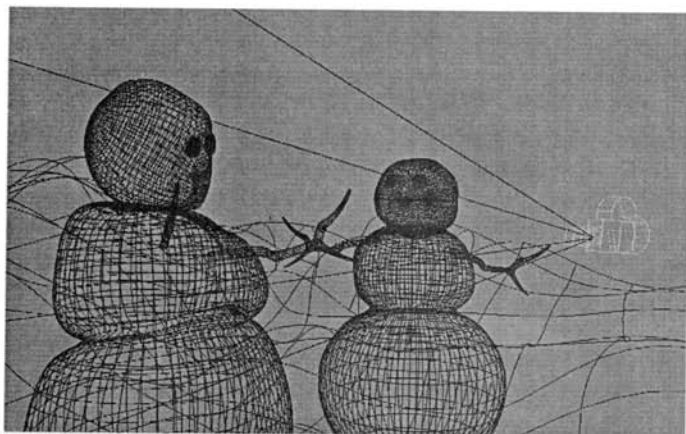
СЪЕМКА ЧЕРЕЗ ПЛЕЧО

Съемка через плечо (*over-the-shoulder shot* — *OSS*, или *OTS*) представляет собой разновидность съемки крупным или средним планом, при которой один персонаж показывается через плечо другого персонажа, находящегося на переднем плане (илл. 8.1). Съемка через плечо сосредоточивает основное внимание на одном персонаже и в то же время дает достаточное представление о положении другого персонажа. Несмотря на то что лицо персонажа, стоящего спиной к камере на переднем плане, не видно, его присутствие в кадре позволяет установить пространственное соотношение между обоими персонажами и выполнить правильное кадрирование сцены.

Для съемки через плечо достаточно разместить камеру таким образом, чтобы сцену было видно через плечо одного персонажа, как показано на рис. 8.5, а затем выполнить кадрирование другого персонажа до среднего или крупного плана. Благодаря эффекту глубины резкости передний план может быть отделен от заднего, но это необязательно. Приведенный здесь пример сцены показывает, что она может быть снята через плечо любого из персонажей.

Ряд кадров, сменяющих кадры съемки через плечо (обычно это кадры, снятые крупным планом), называется *встречной съемкой* сцены (*shot/counter-shot*). Это

Рис. 8.5. Съемка через плечо называется так потому, что камера размещается для показа сцены через плечо одного персонажа и кадирования другого



распространенный и достаточно эффективный способ фиксации практически любого вида взаимодействия двух персонажей. Встречная съемка постоянно применяется в сценах фильмов и телевизионных программ, где персонажи обмениваются репликами, выстрелами, поцелуями или ударами.

Если планируется съемка каждого персонажа через плечо, ее можно дополнить встречной съемкой вместо среднего плана двух актеров, чтобы придать анимации более привлекательный, кинематографический вид, а также привлечь больше внимания зрителей к происходящему на сцене действию. Дополнительное преимущество съемки сцены диалога через плечо по сравнению с планом двух актеров состоит в том, что во время такой съемки можно избежать анимации лица одного из персонажей и в то же время показать реакцию на его реплику другого персонажа.

УГЛЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ КАМЕРЫ

Расположение камеры способно изменить внешний вид и назначение съемки. Кроме того, от выбора положения камеры зависят углы ее расположения.

ЛИНИЯ ДЕЙСТВИЯ

Если сцена снимается под разными углами расположения камеры и отдельные виды ее съемки планируются смонтировать в цельную последовательность, в этом случае очень важно руководствоваться следующим непреложным правилом: все углы расположения камеры должны выбираться исходя из ее расположения по одну сторону линии действия. *Линия действия (line of*

action) представляет собой траекторию, вдоль которой смотрят или перемещаются объекты, либо воображаемую линию, проведенную между двумя взаимодействующими персонажами. Так, например, в виде сцены сверху (рис. 8.6) в качестве линии действия служит линия, проведенная между двумя персонажами.

Вряд ли имеет смысл переходить к съемке персонажей под каким-либо углом с противоположной стороны, поскольку при этом полностью меняется направление съемки. Так, если персонаж смотрит в правую сторону экрана, то вряд ли стоит резко менять угол расположения камеры таким образом, чтобы персонаж теперь смотрел в левую сторону экрана только потому, что он должен повернуться в эту сторону.

Если персонаж перемещается в кадре к правой стороне экрана, убегая, например, от погони, он должен и далее перемещаться в том же направлении во всех последующих кадрах до тех пор, пока ему не придется повернуть назад. Изменение угла расположения камеры не должно менять направление движения персонажа на экране.

Данный принцип хорошо знаком футбольным болельщикам, смотрящим футбольные матчи по телевизору. При этом все камеры, как правило, устанавливаются на одной стороне стадиона. Но иногда камеры устанавливаются и с противоположной стороны для фиксации действия, которое иначе осталось бы незамеченным. Во избежание недоразумения на экран телевизора обычно выводится поясняющая надпись "Обратный ракурс" всякий раз, когда показ матча пере-

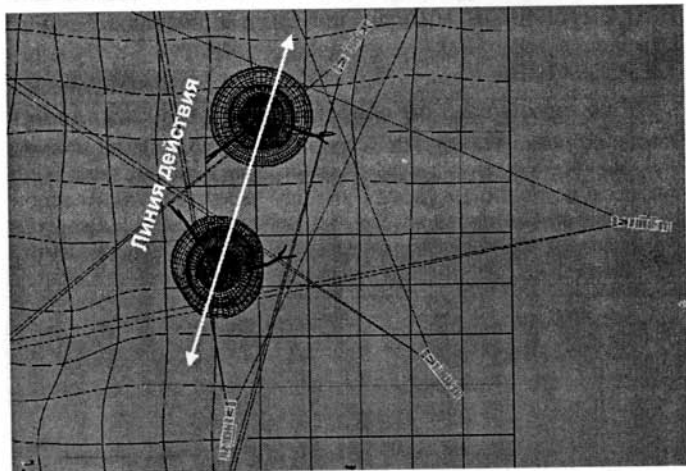


Рис. 8.6. Из этого вида сцены сверху следует, что углы расположения всех камер оказываются по одну сторону от воображаемой линии действия, проведенной между двумя персонажами

ключается на камеру, установленную по другую сторону линии действия.

Если съемка камерой производится по одну сторону линии действия, этим же соображением следует руководствоваться и при установке освещения. Как правило, источник направленного света и большинство источников заливающего света размещаются по ту же сторону линии действия, что и камера. В большинстве сцен только заднюю подсветку, а также источники света, освещающие декорации, приходится размещать по другую сторону линии действия.

СЪЕМКА ПОД БОЛЬШИМ И МАЛЫМ УГЛОМ

Съемка большинства объектов, как правило, выполняется при расположении камеры на высоте глаз человека среднего роста либо на высоте глаз персонажей, находящихся на сцене. Благодаря перемещению камеры на другую высоту образуются иные углы расположения камеры, которые иногда оказываются более интересными и эффектными.

Для съемки под малым углом (*low-angle shot*) камера размещается ниже объекта и направляется вверх, как показано слева на рис. 8.7. Малый угол расположения камеры может быть использован для придания персонажу более величественного, мощного или благородного вида, а также для преувеличения размеров окружающей обстановки и архитектурных пространств.

Для съемки под большим углом (*high-angle shot*) камера размещается выше объекта и направляется вниз, как показано справа на рис. 8.7. Съемка под большим углом делает персонаж более мелким, молодым, слабым, смущенным, миловидным или невинным.

ПЕРСПЕКТИВА

Еще одной важной особенностью съемки является *перспектива*. Находясь в разном положении, камера показывает сцену с разной перспективой.

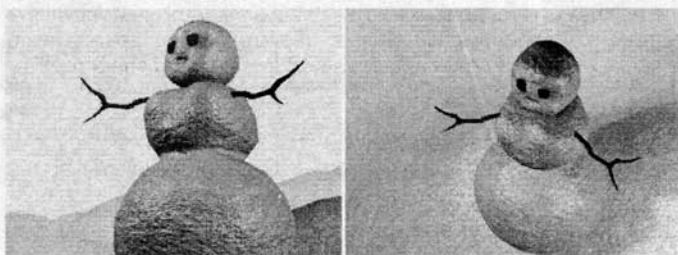


Рис. 8.7. Съемка под малым углом (слева) делает персонаж крупнее и мощнее, а съемка под большим углом (справа) — мельче и беспомощнее, даже не меняя его положение

НА ЗАМЕТКУ

Эффектный пример съемки под малым углом приведен на илл. 6.9, где двери благодаря такому приему кажутся более массивными и с трудом открываемыми.

При удалении камеры от объекта вид сцены изменяется, даже если увеличить фокусное расстояние объектива камеры для сужения поля зрения и укрупнить план для компенсации расстояния. На рис. 8.8 показаны три разных перспективы одной и той же сцены, визуализированной при трех разных положениях камеры.

В верхнем кадре на рис. 8.8 камера расположена ближе к объектам, используя широкое поле зрения (80°) для охвата всей сцены, в центральном кадре камера больше удалена от объектов, используя среднее поле зрения (40°), а в нижнем кадре камера сильно удалена от объектов, используя поле зрения 20° . Обратите внимание на то, как перспектива изменяет восприятие пространства между красными мячами. В частности, благодаря размещению камеры вблизи объектов создается впечатление большей глубины резкости, а также преувеличивается любое движение в анимации как в сторону камеры, так и от нее.

Когда камера располагается ближе к объектам, вид заднего плана позади объектов становится крупнее, а пространство расширяется. Кроме того, такое расположение камеры как бы ускоряет действие, в частности, персонажи двигаются быстрее, покрывая большее расстояние. Это особенно справедливо для любого движения, направленного в сторону от камеры.

Съемка крупным планом на расстоянии как бы сжимает сцену и уменьшает ощущение ее размера и глубины. Создание ощущения “сжатости пространства”, как показано в нижнем кадре на рис. 8.8, может пригодиться для передачи тесноты помещения или потерянности персонажа в толпе, но в то же время уменьшает впечатление от других кадров анимации.

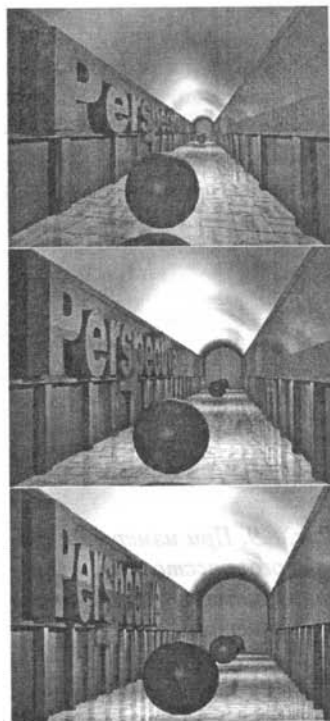


Рис. 8.8. Благодаря изменению перспективы один и тот же коридор выглядит очень длинным (вверху) или коротким (внизу)

НА ЗАМЕТКУ

Ощущение беспокойства, характерное для фильмов ужасов, можно создать благодаря одновременной анимации изменения поля зрения и положения камеры в противоположных направлениях. Так, если удалять камеру от объектов в кадрах анимации, приведенных на рис. 8.8, и одновременно укрупнять план, компенсируя изменение расстояния, во время такой съемки произойдет значительное искажение перспективы.

Для выбора нейтральной перспективы существует следующее эмпирическое правило: необходимо сначала мысленно поставить себя в предполагаемое положение наблюдателя конкретной сцены в трехмерном про-

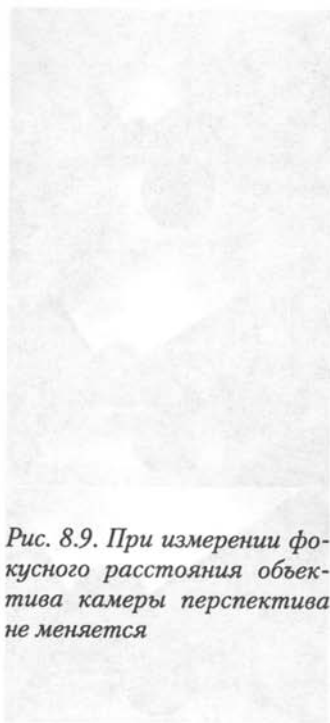
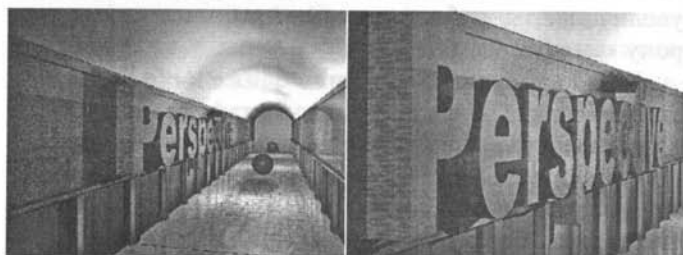


Рис. 8.9. При измерении фокусного расстояния объектива камеры перспектива не меняется

странстве, а затем расположить камеру на том же расстоянии. Так, если сцена происходит внутри помещения, камера должна размещаться не далее, чем это позволяет реальный размер помещения.

Важно иметь в виду, что перспектива сцены изменяется лишь при перемещении камеры в новое положение. Она не меняется при изменении плана (фокусного расстояния объектива камеры или поля зрения), когда камера остается в том же положении. Так, на рис. 8.9 показаны два кадра, снятых разным планом при одном и том же положении камеры. Перспектива надписи "Perspective" (Перспектива) в левом кадре остается той же, что и в правом кадре, снятом крупным планом. Если увеличить надпись в левом кадре, она окажется точно такой же, как и в правом.



Что касается выбора перспективы, то фотографы обычно считают, что более привлекательными получаются фотографии, снятые на определенном расстоянии до объекта съемки, чем фотографии, снятые очень близко от самого объекта. Для получения естественных, неискаженных перспективой фотографий людей обычно используются телеобъективы с узким полем зрения, позволяющие делать снимки крупным планом на удалении и называемые иначе *объективами для портретной съемки (portrait lenses)*. А фотографии, снятые широкоугольным объективом очень близко от объекта съемки, получаются с искаженной перспективой и поэтому менее привлекательны.

СЪЕМКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Еще один распространенный вариант угла расположения камеры используется при *съемке с точки зрения (POV shot)*. При съемке сцены с точки зрения камера располагается в той точке, из которой персонаж наблюдает сцену.

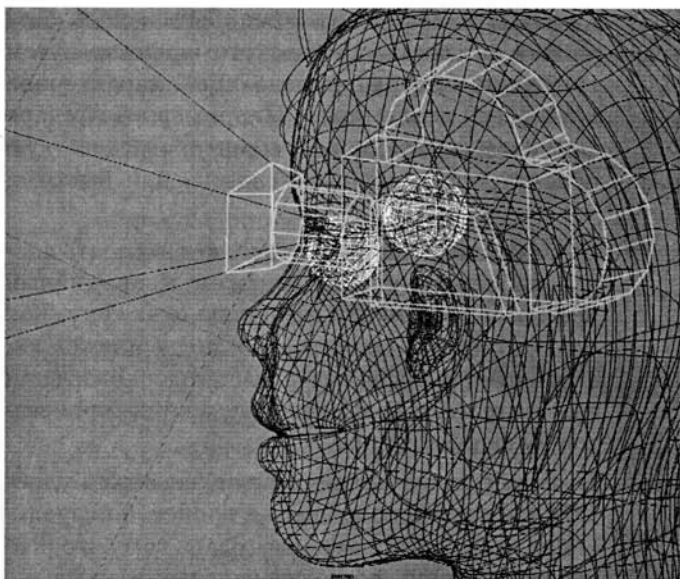


Рис. 8.10. Для быстрой организации съемки с точки зрения достаточно расположить камеру прямо между глаз модели персонажа и ограничить ее перемещение

Организовать съемку с точки зрения в трехмерной среде нетрудно. Для этого достаточно установить камеру прямо между глаз модели персонажа, как показано на рис. 8.10. Если персонаж перемещается, необходимо сгруппировать с ним камеру или ограничить ее перемещение, чтобы она следовала за персонажем, либо выполнить анимацию камеры для имитации движения персонажа. Как правило, при съемке с точки зрения персонаж скрывается, за исключением некоторых частей его тела, например рук, видимых в кадре.

Ниже приведены некоторые примеры полезного применения съемки с точки зрения в анимации.

- **Показ сцены с точки зрения персонажа помогает зрителям отождествить себя с персонажем или поставить себя на место персонажа в сцене.** Так, если какой-то объект должен неожиданно выскочить и вызвать удивление персонажа, необходимо выполнить анимацию его прыжка в сторону камеры, чтобы вызвать аналогичное удивление у зрителей.
- **Съемка с точки зрения позволяет фиксировать динамику действия или события.** Так, если персонаж проваливается в дыру, благодаря анимации камеры можно передать перемещение в пространстве с точки зрения персонажа.

- **Съемка с точки зрения может быть использована для создания комического эффекта путем анимации камеры, передающей характерное движение персонажа.** Например, благодаря анимации камеры можно симитировать шаткую походку подвыпившего человека или быстрый бег собаки.
- **Съемка с точки зрения позволяет показать сцену, наблюдаемую персонажем в орудийный прицел, телескоп или замочную скважину.** Как правило, кадры такой съемки подвергаются видеообработке после визуализации для имитации формы телескопа, замочной скважины или искажения фокуса визира.
- **Съемка с точки зрения может оказаться удобным средством сокращения процесса визуализации некоторых сцен.** Благодаря тому что персонажа не видно, когда сцена показывается с его точки зрения, при таком виде съемки отпадает необходимость анимации или визуализации персонажа.
- **В фильмах ужасов принято показывать сцены с точки зрения убийцы или чудовища, преследующего очередную жертву.** Благодаря съемке с точки зрения зритель не видит самого убийцу, а смотрит глазами убийцы на ни о чем не подозревающую жертву.

Итак, пользуйтесь съемкой с точки зрения в своей анимации там, где это уместно. Следует, однако, иметь в виду, что такой вид съемки весьма заметен, а иногда просто отвлекает внимание зрителей, если используется чрезмерно.

ДВИЖЕНИЯ КАМЕРЫ

Анимация положения камеры относится к самым распространенным методам трехмерной анимации, и поэтому при чрезмерном использовании может отвлекать внимание зрителей. Неестественное движение камеры может привлечь внимание зрителей к самой камере, напомнив им о том, что они смотрят компьютерную анимацию. Если же требуется анимация более реалистичных и естественных движений камеры, рекомендуется изучить наиболее распространенные виды движения настоящей камеры.

- **Панорамирование** — камера поворачивается из стороны в сторону и оказывается нацеленной, в основном, влево или вправо. Во время панорамирования положение камеры не меняется, она лишь нацеливается в разном направлении.
- **Вертикальное панорамирование** — камера наклоняется вниз или поднимается вверх, не меняя своего положения на месте установки.
- **Трансфокация** — фокусное расстояние объектива камеры изменяется для расширения или сужения поля зрения, увеличивая выбранную часть сцены без перемещения самой камеры. При *трансфокации на плюс (zoom in)* поле зрения сужается и укрупняется план, а при *трансфокации на минус (zoom out)* поле зрения расширяется и уменьшается план.
- **Съемка в движении** — положение камеры изменяется, например, при перемещении рядом с объектом либо при сближении с персонажем на сцене. Так, при *“наезде” (dolly in)* камера физически приближается к объекту, создавая более крупный план, а при *“отъезде” (dolly out)* камера удаляется от объекта.
- **Наведение на резкость со штатива** — во время съемки изменяется фокусировка объектива камеры, в результате чего объекты, находящиеся на разном расстоянии от камеры, оказываются в фокусе либо вне фокуса, как показано на рис. 8.11.

Следует заметить, что большинство перечисленных выше распространенных видов движения камеры фактически не изменяют ее положения. При обычном и вертикальном панорамировании, трансфокации или наведении на резкость со штатива камера может оставаться на месте установки на штативе — изменяется лишь направление ее нацеливания либо настраивается ее объектив.

Движение камеры следует использовать лишь в том случае, если этого требует действие или событие по сюжету. Ниже приведены примеры, когда движение камеры может оказаться уместным.

- Для слежения за движущимся персонажем или транспортным средством может быть использо-

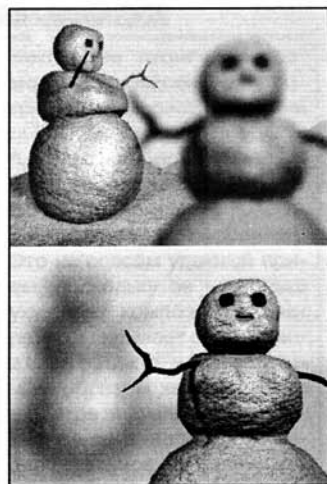


Рис. 8.11. При наведении на резкость со штатива настраивается фокус объектива камеры, благодаря чему объекты показываются по очереди без перемещения камеры

вано панорамирование или съемка в движении. При этом персонаж должен начать движение раньше камеры, чтобы она следовала за ним, а не опережала его!

- Движение камеры может потребоваться для съемки с точки зрения.
- Благодаря “отъезду” обнаруживается окружающее пространство, особенно при охвате дальним планом впервые показываемой окружающей обстановки.
- Для создания впечатляющего эффекта иногда камера медленно приближается к персонажу для подчеркивания определенных действий или диалогов.

Благодаря применению альтернативных приемов (в частности, панорамирования или монтажного перехода к другому виду съемки) отпадает необходимость анимации положения камеры. Ведь анимация камеры, если, конечно, в ней нет особой потребности, лишь отвлекает внимание зрителей, а не помогает раскрытию сюжета.

Анимацию любого движения камеры целесообразно начинать со статического кадра с правильно составленной композицией. Во время движения камеры кадрирование нередко нарушается, тем не менее, ее движение должно остановиться на другом статическом кадре с правильно составленной композицией. Таким образом, во время видеомонтажа анимации не нужно будет выполнять монтажные переходы посреди съемки движущейся камерой.

КАДРИРОВАНИЕ

Кадрирование — это своего рода искусство размещения объектов внутри визуализируемого изображения. Кадрирование сцены зависит от того, какие объекты должны быть видны в визуализированном изображении, а также от того, как разделяется пространство внутри изображения.

Если объект находится в самом центре кадра, такой кадр выглядит неестественно, неинтересно и, как правило, его композиция оказывается неудачной. Для улучшения композиции объект следует немного сместить относительно центра кадра.

ПРАВИЛО ТРЕТЕЙ

При составлении композиции кадра полезно разделить его на три части по вертикали и горизонтали, как показано на рис. 8.12, а затем разместить объект вдоль одной воображаемой линии, разделяющей кадр, либо расположить наиболее интересную часть сцены в точке пересечения двух таких линий.

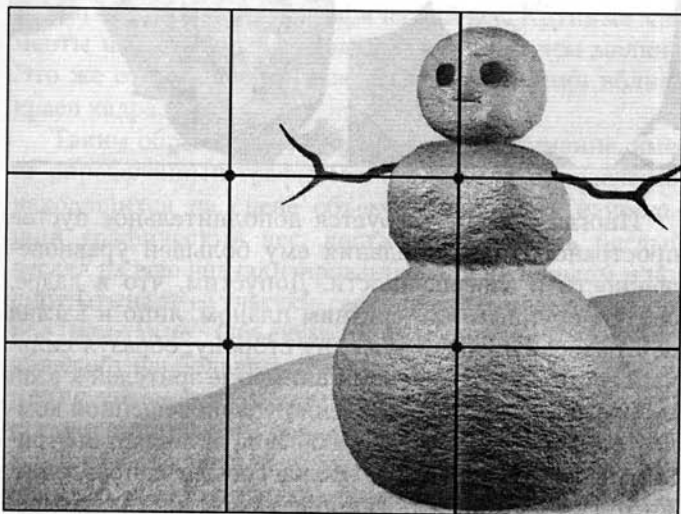


Рис. 8.12. Правило третьей помогает правильно разместить объект в кадре и тем самым улучшить его композицию

Так, если в сцене видна линия горизонта, ее лучше всего поднять на одну или две трети кадра, чем оставить в его центре, поскольку при этом кадр окажется как бы разделенным надвое.

ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО

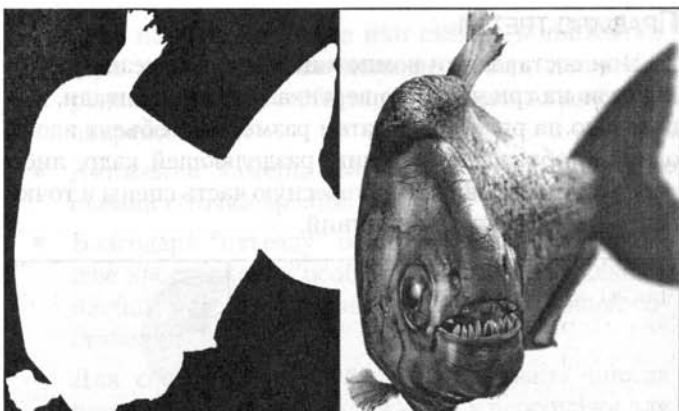
О большинстве изображений можно сказать, что они состоят из положительного и отрицательного пространства. При этом положительное пространство включает в себя часть изображения, в которой показан основной объект либо объекты переднего плана, а отрицательное пространство — части изображения, которые могут быть отнесены к заднему плану или обстановке, окружающей объект. Правильно составленная композиция представляет собой гармоничное сочетание положительного и отрицательного пространства. Так, слева на рис. 8.13 отрицательное пространство выделено черным, а положительное — белым.

НА ЗАМЕТКУ

Некоторые технически грамотные пользователи программ трехмерной анимации пытаются автоматизировать процесс кадрирования съемок, нацеливая камеру на центр подлежащего анимации объекта или персонажа. Это не совсем удачный прием, поскольку он не только ухудшает композицию кадра, но и скрывает общее движение объекта, неестественным образом закрепляя его в центре визуализированных кадров анимации. Даже незначительное нацеливание камеры вручную дает лучший результат, чем автоматическое ее нацеливание на центр объекта.



Рис. 8.13. Формы, образующие отрицательное пространство (выделенное черным), могут иметь столь же важное значение, как и все, что составляет положительное пространство



Иногда в кадре требуется дополнительное пустое пространство для придания ему большей уравновешенности и завершенности. Допустим, что в кадре, снятом крупным или средним планом, лицо и взгляд персонажа направлены в одну сторону, образуя сильный вектор, направляющий внимание зрителей к этой стороне кадра. Для составления уравновешенной композиции впереди персонажа обычно оставляется отрицательное пространство, обозначающее направление, в котором он смотрит. Кинооператоры иногда называют дополнительное пространство, оставляемое впереди персонажа, *пространством взгляда (look space)* или *носовым пространством (nose room)*. Верхнее изображение на рис. 8.14 выглядит уравновешенным и в нем остается достаточно отрицательного пространства, чтобы можно было проследить направление взгляда персонажа.

В отсутствие пространства взгляда либо при распределении отрицательного пространства по разным участкам изображения зритель не в состоянии проследить направление взгляда персонажа, в результате чего композиция оказывается усеченной, неуравновешенной и незавершенной. Судя по отрицательному пространству, зрители могут по-разному интерпретировать позу персонажа в кадрах на рис. 8.14. Так, в неуравновешенном кадре внизу кажется, что женщина намеренно отвернулась и выглядит обособленной от окружающей ее обстановки. Благодаря изменению одной лишь композиции в нижнем кадре удастся передать замкнутый, интроспективный характер персонажа, не меняя его позы.

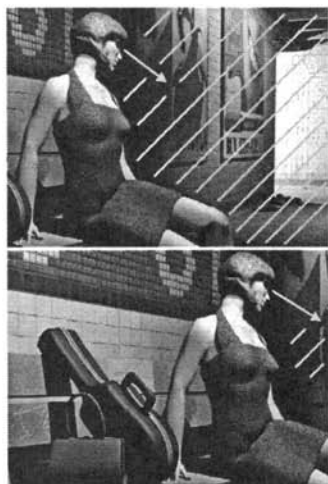


Рис. 8.14. В уравновешенной композиции (вверху) для персонажа остается достаточно пространства взгляда (показанного косыми линиями), а в неуравновешенной композиции (внизу) внимание зрителей сразу же привлекается к боковой стороне кадра

ГРАФИЧЕСКИЙ ВЕС

Все, что находится в визуализируемой сцене, имеет свой *графический вес* (*graphic weight*). Под графическим весом участка сцены или объекта подразумевается степень его привлекательности или преобладания в композиции. Яркие или отчетливо окрашенные элементы, контрастирующие с окружающей их сценой, имеют самый большой графический вес. Крупные элементы имеют больший графический вес, чем мелкие. Это же относится и к участкам изображения вблизи краев кадра.

Таким образом, все, что привлекает внимание, имеет определенный графический вес. Для определения находящихся на сцене объектов, имеющих наибольший графический вес, достаточно бросить беглый взгляд на всю визуализированную сцену в целом и посмотреть на те ее участки, где сосредотачивается основное внимание. Объекты, привлекающие внимание, обладают наибольшим графическим весом. Для достижения уравновешенности композиции такие объекты следует тщательным образом разместить в кадре.

Лопата с красным совком, добавленная в сцену на рис. 8.15, имеет наибольший графический вес и способна нарушить уравновешенность композиции, в особенности потому, что она находится у края кадра. При первом же взгляде на изображение, приведенное слева на рис. 8.15, привлекает внимание участок вокруг лопаты в ущерб остальной части кадра. На изображении, приведенном справа на рис. 8.15, уравновешенность композиции восстанавливается благодаря вводу окрашенных объектов с противоположной стороны и смещению лопаты от края кадра.

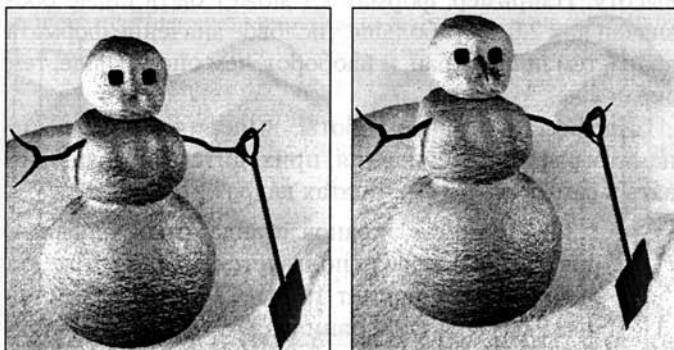


Рис. 8.15. Графический вес лопаты нарушает уравновешенность композиции (слева), но после внесения некоторых корректив уравновешенность композиции сцены восстанавливается (справа)

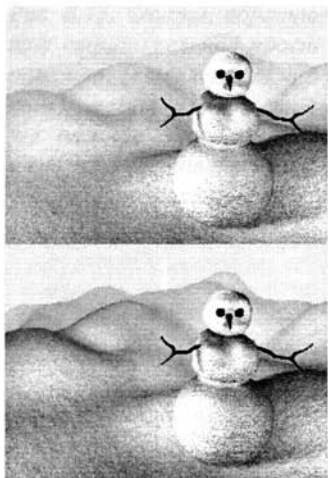


Рис. 8.16. Графический вес снеговика в правой части кадра нарушает уравновешенность композиции (вверху), но благодаря настройке освещения усиливается левая часть кадра и уравновешенность композиции восстанавливается (внизу)

Выбранное освещение повышает или уменьшает графический вес различных участков сцены. Слабо освещенные участки визуализированной сцены получают выцветшими, малоконтрастными, а следовательно, они имеют меньший графический вес, тогда как более затененные, контрастные и окрашенные участки — большой вес, поскольку они выделяются. Иногда для повышения веса определенного участка сцены достаточно ввести окрашенное освещение или дополнительные подсветки либо увеличить контраст. Так, изображение, приведенное вверху на рис. 8.16, не уравновешено, причем наиболее привлекательные его участки находятся справа, а на изображении внизу голубая задняя подсветка придает сугробам более яркий и привлекательный вид, а следовательно, восстанавливает интерес к сцене.

КАДРИРОВАНИЕ ДЛЯ КИНЕМАТОГРАФА И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Кадрирование создаваемой работы является не только искусством, но и наукой. Для выполнения работ, предназначенных для вывода на разные носители, необходимо иметь некоторое представление о форматах, принятых в кинематографе и на телевидении.

ФОРМАТЫ КАДРА И ПЛЕНКИ

У кадров, в которых размещается сцена, оказываются разные пропорции в зависимости от формата пленки или телевизионного экрана, для которых визуализируется графическая работа. Соотношение ширины и высоты изображения называется *форматом кадра* (*aspect ratio*). Так, если ширина кадра в два раза больше его высоты, он будет иметь формат 2:1.

Форматы кадра обозначаются и по-другому: в виде одной цифры результата деления ширины кадра на его высоту. Например, формат 2:1 может быть иначе обозначен как 2,0. Чем больше числовое значение формата кадра, тем шире экран, и наоборот, чем оно меньше, тем экран уже.

Профессиональные работы, выполняемые для кинематографа и телевидения, приходится визуализировать в самых разных форматах кадра.

- **1,33** — формат экранов стандартных телевизоров. Во всем мире используется один и тот же телевизионный формат 1,33, несмотря на отличия в системах кодирования цветных телевизионных сигналов.

вываается в *полное кадровое окно (full gate)*, включая участки, выходящие за пределы прямоугольника формата 1,85. Для этого требуется получить более крупные визуализированные изображения, особенно если предполагается преобразование полного кадра в формат видеофильма. С другой стороны, такой практический прием предоставляет дополнительные удобства для создания визуальных эффектов, поскольку различные участки более крупного рирпроеекционного фона могут быть иногда использованы для изменения кадрирования в формате 1,85 с целью использовать части кадра пленки, выходящие за рамки данного формата.

Для панорамной внестудийной съемки часто используется формат 2,35. Благодаря высокому качеству, обеспечиваемому этим форматом, он также применяется для съемки крупно-бюджетных фильмов. Обычно фильм, снятый в формате 2,35, демонстрируется с анаморфотной насадочной линзой, предназначенной для сжатия изображения по горизонтали до формата 35-миллиметровой пленки, причем такое сжатие выполняется более эффективно, чем в стандартном формате 1,85. В итоге фильмы, снятые в формате 2,35, получают более высокого качества. Кроме того, формат 2,35 дает режиссерам дополнительные возможности освещения сцен, поскольку в данном случае высота кадра оказывается меньше, чем в других более узких форматах, а значит, освобождается дополнительное место для размещения на съемочной площадке источников верхнего света.

Несмотря на все преимущества формата 2,35, современные кинотеатры оборудованы целым рядом небольших экранов для одновременного показа разных фильмов, причем ширина этих экранов не может быть сильно увеличена для демонстрации фильмов формата 2,35. Поэтому такие фильмы проецируются на экран в кадре меньшего формата: с той же шириной, но с меньшей высотой. Если быть точным, то "широкоэкранные" демонстрации фильмов следовало бы назвать "короткоэкранными", поскольку единственное изменение размера экрана в данном случае связано с уменьшением высоты кадра.

АДАПТАЦИЯ ДЛЯ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

При адаптации фильмов или другой широкоэкранный видеопродукции для показа по телевизору со стан-

дартным форматом экрана форматы 1,85 и 2,35 приходится преобразовывать в формат 1,33.

Одним из методов адаптации широкоэкранных изображений по стандартному видеоформату является *установка в рамку (letter boxing)*. Установленное в рамку изображение состоит из исходного, показываемого полностью широкоэкранным изображением, а также черных участков выше и ниже этого изображения для заполнения пустой части более узкого формата телевизионного экрана. Слева на рис. 8.18 полностью показано изображение формата 1,85, установленное в рамку кадра телевизионного формата 1,33. Установка в рамку представляет собой эффективный метод сохранения композиции широкоэкранный фильма, однако многим телезрителям не нравится, когда часть экрана их телевизоров заполнена черными участками.

Для заполнения изображением всего телевизионного экрана применяется другой метод адаптации широкоэкранных фильмов для телевидения — *панорамирование и сканирование (pan and scan)*. Данный метод предполагает прогон всего фильма и выборочную обрезку каждого кадра слева и справа, в результате чего для демонстрации по телевизору остается лишь центральная часть изображения. Справа на рис. 8.18 показано широкоэкранный изображение, обрезанное до формата 1,33. Если вспомнить о важности наличия свободного пространства в композиции кадра, то метод панорамирования и сканирования можно считать излишним видеоизменением оригинальной работы автора фильма.



Рис. 8.18. Кадр формата 1,85 может быть преобразован в формат 1,33 методом установки в рамку (слева) или панорамирования и сканирования (справа). (Все приведенные здесь сцены в метро визуализированы автором в колледже дизайна при Центре искусств в Пасадене, шт. Калифорния. В моделировании фигур людей принимала участие Лиза Тэйт (Lisa Tate).)

С процессом панорамирования и сканирования связана также анимация участка изображения, обрезаемого в каждом кадре. В частности, кадр в видеоварианте может быть буквально панорамирован по исходному кадру фильма, начиная с его левого края и кончая правым. Этот эффект на первый взгляд очень похож на ре-

зультаты панорамирования кинокамеры в исходном варианте фильма, но на самом деле он больше напоминает горизонтальную прокрутку изображения. При просмотре видеофильмов (которые обычно не устанавливаются в рамку) попробуйте обнаружить незначительные эффекты горизонтального панорамирования, произвольно введенные в процессе преобразования широкоэкранных фильмов в видеоформат.

Вывод за край экрана

К сожалению, невозможно гарантировать, что телезрители смогут наблюдать кадры визуализированной для телевидения анимации от края до края. Часть видеоизображения может выходить за пределы полезной площади экрана телевизора в результате процесса, называемого *выводом за край экрана (overscanning)*. Размер изображения, выводимого на экран телевизионной трубки, оказывает несколько больше полезной площади экрана. Вывод за край экрана применялся в первых моделях телевизоров для устранения неустойчивости размера изображения в результате изменений напряжения в электросети. Вывод за край экрана и центровка изображения в значительной степени зависят от модели телевизора и его настройки, поэтому кадры адаптированной для телевидения анимации могут быть по-разному обрезаны на экранах телевизоров разных моделей.

Как показано на рис. 8.19, существуют рекомендуемые области экрана, позволяющие принять во внима-

Рис. 8.19. Наиболее важные элементы изображения должны находиться в пределах безопасных областей титров, действия и изображения, чтобы не оказаться за краем экрана



ние вывод за край экрана при кадрировании сцен, выводимых на видеоленту либо предназначенных для показа по телевизору. Если на экран телевизора выводится текст, который должны прочитать зрители, важно, чтобы этот текст не оказался за краем экрана. Для этого текст должен располагаться по центру *безопасной области титров (title safe area)*, составляющей 80% полезной площади экрана.

Для того чтобы зрители не упустили важную часть действия, все самые ответственные элементы сцены должны располагаться по центру *безопасной области действия (action safe area)*, составляющей 90% полезной площади экрана.

По мере приближения к краю кадра элементы сцены, выходящие за пределы *безопасной области изображения (picture safe area)*, скорее всего будут обрезаны на экранах большинства телевизоров.

УПРАЖНЕНИЯ

1. Проанализируйте какую-нибудь сцену киноили видеофильма и определите, какие виды съемки, планы и углы расположения камеры были в ней использованы. Можете ли вы обнаружить встречную съемку, дальние планы и съемку реакции?
2. Загрузите изображение одной из своих визуализированных сцен в программу раскраски и поэкспериментируйте с его обрезкой до более мелких кадров. Выглядит ли оно лучше в другом формате кадра? Насколько улучшится или изменится внешний вид изображения после удаления одной его стороны и смещения объекта относительно центра?
3. Выполните визуализацию созданной трехмерной сцены с разной перспективой. Выясните, насколько изменяется ощущение размера и пространства при разной перспективе. Насколько улучшится сцена, если разместить одни объекты на переднем плане, непосредственно перед камерой, а другие — удалить на задний план?

9

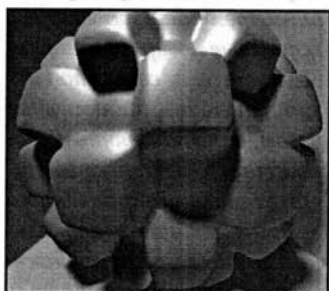
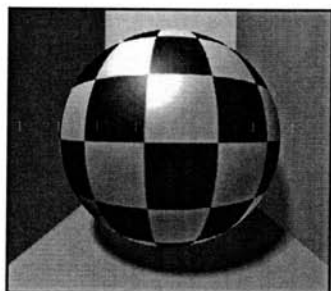
ГЛАВА

МАТЕРИАЛЫ И АЛГОРИТМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В этой главе прослеживаются все основные стадии затенения, текстурирования и визуализации сцен и попутно даются рекомендации относительно того, как добиться наилучшего качества визуализируемых трехмерных сцен при максимально эффективном использовании программного обеспечения. Процесс визуализации начинается с установления реакции поверхностей на свет для того, чтобы они получились правильно затененными. Проецирование текстур придает материалам дополнительное разнообразие и необходимый реализм, а эффекты трассировки лучей обеспечивают точное воспроизведение теней, отбрасываемых объектами, а также отражение одних объектов в других. И, наконец, в этой главе будут рассмотрены некоторые развитые методы глобального освещения объектов отраженным светом.

ЗАТЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Творческий подход к освещению не ограничивается лишь установкой источников света. Отражение света от поверхностей или его поглощение ими имеет столь же важное значение для визуализации, как и размещение источников света. Для получения наилучших результатов необходимо иметь ясное представление о том, как трехмерные поверхности отражают свет и как настраиваются материалы или оттителители (называемые также постройителями теней) для получения наиболее реалистичного затенения.



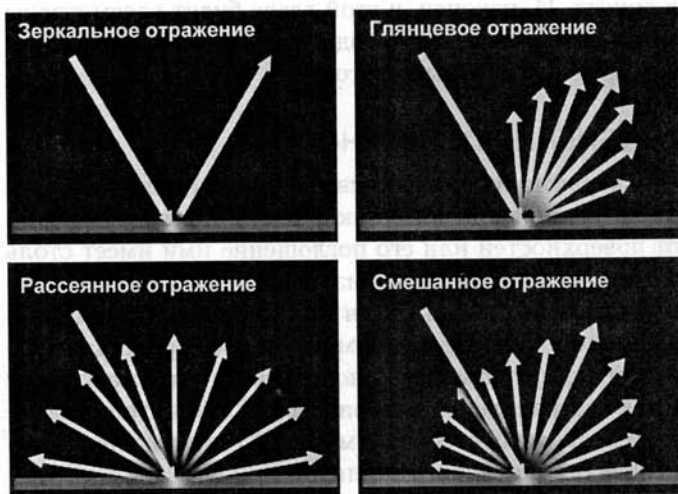
РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАССЕЯННОГО И ЗЕРКАЛЬНО ОТРАЖЕННОГО СВЕТА

Алгоритмы затенения, применяемые в трехмерной графике, основаны на физических законах распространения настоящего света. В реальном мире свет отражается от поверхности по-разному. На блестящей поверхности может возникнуть *зеркальное* отражение, называемое также регулярным, как показано слева вверху на рис. 9.1.

При зеркальном отражении свет остается сосредоточенным и отражается от поверхности без рассеяния. Идеальная зеркальная поверхность отражает свет под тем же углом, под которым он падает, не рассеивая и не размывая отражения. Однако имитация свойства зеркальности на компьютере осуществляется несколько иначе.

Большинство наиболее распространенных источников света в трехмерной графике излучают свет из бесконечно малой точки пространства (за исключением поверхностных источников света, в которых для этой цели используется поверхность конечной площади). При настоящем зеркальном отражении света, исходящего из бесконечно малой точки, образуется столь же малая зеркальная подсветка. Для выхода из этого положения в алгоритмах затенения, применяемых в трехмерной графике, предоставляется возможность управлять *размером подсветки* в материале для произвольного увеличения подсветок. Зеркальные подсветки предназначены для имитации отражения света, ис-

Рис. 9.1. При зеркальном отражении свет распространяется без рассеяния, глянцевые поверхности рассеивают лучи света под незначительно меняющимся углом, при рассеянном отражении свет рассеивается во всех направлениях, а при смешанном зеркальном и рассеянном отражении свет рассеивается с подсветкой, сосредоточенной в области зеркального отражения



ходящего из сферической поверхности, даже если источник света оказывается точечным либо обычным прожектором. Когда зеркальные подсветки получают крупнее и мягче, они лучше имитируют глянцевое отражение света, чем настоящее зеркальное отражение.

Как показано справа сверху на рис. 9.1, глянцевым считается отражение, при котором свет сосредоточен в одном направлении, но в то же время немного рассеян.

Если поверхность скорее шероховатая, чем блестящая, в этом случае происходит *рассеянное* отражение, как показано слева внизу на рис. 9.1. При этом свет рассеивается во всех направлениях.

Теоретически идеальная рассеивающая поверхность будет рассеивать свет равномерно во всех направлениях. Но в действительности ни одна поверхность не бывает идеально рассеивающей, как, впрочем, и идеально зеркальной. Напротив, для настоящих поверхностей характерно смешанное сосредоточенное и рассеянное отражение. Как показано справа внизу на рис. 9.1, свет от поверхности со смешанной отражательной способностью рассеивается в разных направлениях, хотя большая его часть сосредоточена под углом зеркального отражения.

Смешанная отражательная способность настоящих поверхностей лучше всего имитируется в трехмерной графике с помощью определенного сочетания рассеянного и зеркального затенения. Как показано на рис. 9.2, рассеянное затенение имитирует свет, который становится равномерно рассеянным во всех направлениях. А зеркальное затенение имитирует свет, отражающийся в одном направлении без рассеяния, хотя благодаря управлению размером подсветки при этом имитируется величина гляцевитости. Сочетание в нужной пропорции рассеянного и зеркального затенения позволяет добиться более реалистичных результатов визуализации, чем при одном лишь рассеянном затенении. А благодаря добавлению незначительной зеркальности затенение получается более правдоподобным, чем у только рассеивающей поверхности.

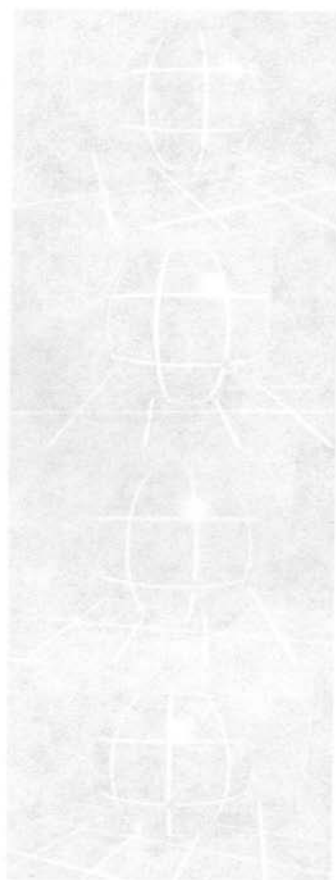


Рис. 9.2. Для трехмерных поверхностей имеется возможность зеркального, рассеянного и смешанного затенения

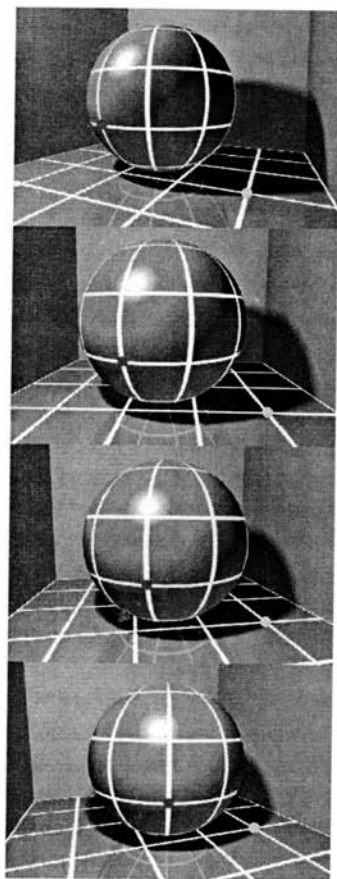


Рис. 9.3. Видозависимые эффекты затенения, включая зеркальность и отражения, появляются в разных местах при просмотре под разными углами расположения камеры, тогда как рассеянное затенение и тени остаются на месте независимо от угла расположения камеры

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ВИДА

Распространено неверное представление о том, что зеркальные подсветки сосредоточены в самой яркой точке рассеянного затенения. В действительности размещение зеркальных подсветок происходит независимо от рассеянного затенения, которое зависит от положения поверхности под определенным углом относительно источника света. С другой стороны, зеркальное затенение определяется лишь относительно конкретного угла расположения камеры и зависит от относительно положения источника света, поверхности и камеры.

Зеркальность служит одним из примеров *видозависимого затенения* (*view-dependent shading*), которое представляет собой любой эффект, изменяющийся в зависимости от угла расположения камеры. Эффекты затенения, которые могут быть получены безотносительно к углу расположения камеры (в частности, рассеянное затенение), называются *видонезависимыми*.

На рис. 9.3 представлена сцена при четырех разных углах расположения камеры. (Спроецированная текстура сетки и точек помогает точно указать отдельные точки на поверхности геометрической формы.) Спад рассеянного затенения в красной точке на поверхности сферы остается фиксированным независимо от угла расположения камеры. Край тени, отмеченной желтой точкой, также остается на месте. Таким образом, рассеянное затенение и тени могут считаться видонезависимыми, поскольку они не меняются в зависимости от угла расположения камеры.

НА ЗАМЕТКУ

Для предварительного просмотра видозависимого затенения при пробной визуализации моделей целесообразно получить кадры проверки на поворотном круге вместо неподвижного изображения. Проверка на поворотном круге (*turn-table test*) представляет собой пробную анимацию объекта, вращающегося перед камерой на 360°. Такая проверка показывает, каким образом подсветки перемещаются по всем поверхностям модели.

Обратите внимание, как на рис. 9.3 зеркальные подсветки и отражение на полу перемещаются в разное положение в зависимости от угла расположения камеры. Из этого наблюдения можно сделать вывод, что отражения, формируемые методом трассировки лучей, и зеркальные подсветки относятся к видозависимым эффектам затенения.

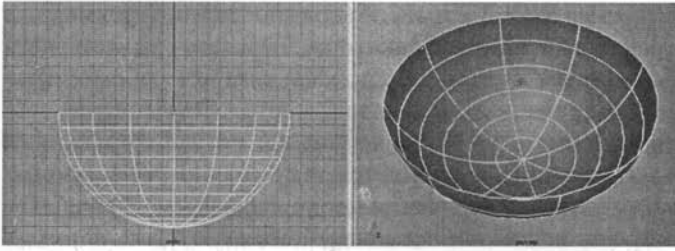


Рис. 9.4. Точечный источник света, размещенный в центре сферы, создает освещение с равномерным рассеянным затенением во всех направлениях

Для сравнения видозависимого зеркального затенения с видонезависимым рассеянным затенением на рис. 9.4 приведена простая сцена, состоящая из всенаправленного точечного источника света, расположенного прямо в центре сферы, усеченной напополам для визуализации затенения на ее внутренней поверхности. Если визуализировать сферу только с рассеянным затенением и без зеркальности, результат окажется нереалистичным, ибо сфера получится внутри совершенно плоской и без какого-либо разнообразия в затенении (рис. 9.5).

При добавлении зеркального затенения на внутренней поверхности сферы восстанавливается затенение, как показано справа на рис. 9.5. При этом затенение оказывается наиболее светлым в том месте, где свет отражается от внутренней поверхности сферы прямо в камеру. Эта же поверхность сферы слева на рис. 9.5 выглядит нереалистично, поскольку ей недостает зеркальности.

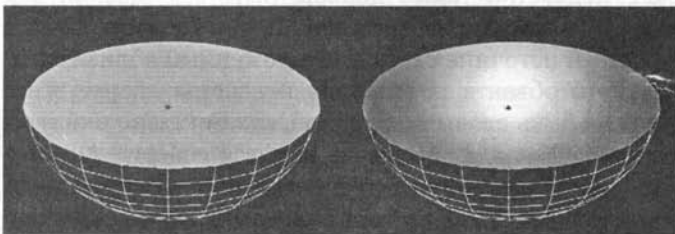


Рис. 9.5. Внутренняя поверхность сферы (слева) оказывается плоской и нереалистичной при визуализации без зеркальности с помощью оттенителя по Ламберту, позволяющего визуализировать идеальные рассеивающие поверхности. При добавлении зеркальности (справа) с помощью оттенителя по Блинну затенение внутренней поверхности сферы приобретает некоторое разнообразие

В реальном мире идеальных рассеивающих поверхностей не существует. Поэтому правильная настройка зеркальности каждой поверхности является неотъемлемой частью реалистичной визуализации. Следует, однако, иметь в виду, что чрезмерная зеркальность также является серьезной ошибкой визуализации.

РЕАЛИСТИЧНАЯ ЗЕРКАЛЬНОСТЬ

Крупные, яркие зеркальные подсветки, имеющие ретушированный вид, относятся к одним из явных

и весьма распространенных недостатков трехмерных графических работ. Некоторые называют зеркальность “обманным” путем или “поддельным” способом имитации отражения источника света. Фальшивый вид зеркальных подсветок во многих визуализированных изображениях объясняется тем, что они зачастую используются неверно или плохо настроены. В реальном мире практически все поверхности обладают зеркальностью лишь в определенной степени, и если пользоваться этим свойством в меру, визуализированные изображения станут более реалистичными.

Для повышения качества затенения необходимо выбрать наиболее подходящий размер, цвет, форму и положение зеркальных подсветок. А для настройки зеркальных подсветок лучше всего подыскать реальный пример материала, который требуется симитировать, исследовав его реакцию на свет. Таким образом, для получения наилучших результатов рекомендуется настраивать зеркальные подсветки, руководствуясь наблюдениями в реальной жизни, а не предвзятым мнением или предварительно заданными параметрами программы.

РАЗМЕР ПОДСВЕТКИ

Размер зеркальной подсветки должен придавать ей правдоподобный вид, исходя из размера и положения источника света. Если источник света невелик или удален, подсветка также должна быть небольшой, как показано вверху на рис. 9.6. Если же имитируется крупный источник света, расположенный вблизи освещаемого объекта, зеркальная подсветка скорее всего должна быть столь же крупной, как показано внизу на рис. 9.6. Такая взаимосвязь кажется совершенно очевидной, однако не следует ожидать, что программа трехмерной графики установит ее автоматически. Для того чтобы размер подсветки соответствовал расстоянию до источника света и его размеру, необходимо сначала настроить ее размер в поверхностных материалах или оттенителях, а затем выполнить пробную визуализацию сцены, чтобы проверить, насколько точно подсветки отражают характер источника света.

Помимо согласования с источником света, размер подсветки должен соответствовать типу воспроизводимого материала. В частности, для металлов, стекла и других твердых веществ характерны самые мелкие,

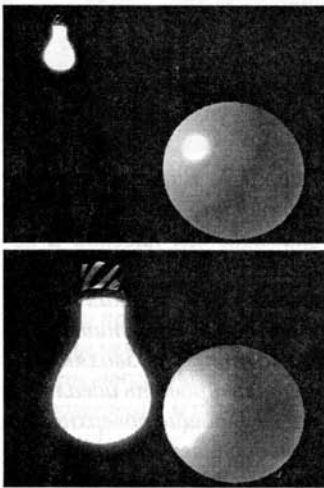


Рис. 9.6. Размер подсветки следует настраивать до тех пор, пока он не будет визуально соответствовать расстоянию до источника света и его размеру

плотные зеркальные подсветки, а для таких материалов, как бумага и окрашенное дерево, — более мягкие, рассеянные и крупные, хотя и менее яркие, зеркальные подсветки. Правильность воспроизведения подсветок лучше всего проверять на примерах настоящих материалов.

Свойство поверхности, вызывающее распространение по ней зеркальной подсветки, называется *шероховатостью*. Шероховатость отнюдь не всегда означает крупную, заметную рельефность поверхности. Микроскопическая шероховатость структуры поверхности способна придать ей гладкий вид, хотя она по-прежнему будет рассеивать отраженный свет. Так, поверхность ластика рассеивает свет благодаря микроскопической шероховатости ее структуры, хотя на вид и ощупь она кажется гладкой. В этом смысле любая поверхность с матовым, а не глянцевым покрытием или отделкой может считаться шероховатой.

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ЦВЕТ

Цвет зеркальной подсветки также подлежит настройке, но в большинстве случаев следует оставлять его в виде некоторого оттенка белого или серого.

Белый или серый зеркальный цвет означает, что цвет, добавляемый к зеркальному затенению, будет зависеть от окраски источника света как наиболее естественной причины зеркальной подсветки. Нейтрально-серый зеркальный цвет получается в результате смешения в области подсветки цвета объекта с окраской света (илл. 9.1).

Иногда зеркальный цвет можно сделать ярче чисто белого (такой цвет иногда называется *сверхбелым*), введя большие числовые значения цвета, чем допустит установка ползунковых регуляторов цвета. Благодаря этому зеркальные подсветки получают более яркими и заметными. В некоторых случаях, особенно это касается подсветок на прозрачных поверхностях, числовые значения сверхбелого цвета требуется указывать для того, чтобы стали видны подсветки.

Если подсветки требуется сделать более слабыми, вместо согласования зеркального цвета с цветом рассеяния зеркального цвета с цветом рассеяния достаточно уменьшить яркость либо выбрать более темный оттенок серого. Для материалов, изготовленных не из металла, оттенки серого позволяют зеркальному затенению естественным образом смеси-

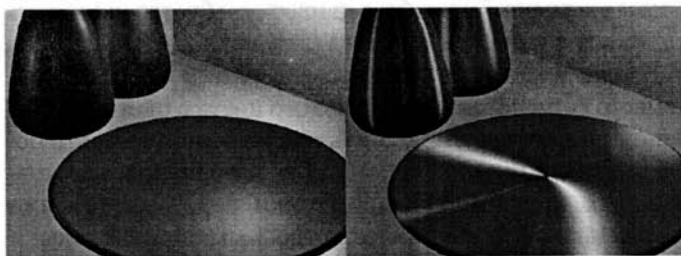
ваться с рассеянным затенением и в то же время принимать окраску источника света. Кроме того, поверхности с насыщенными зеркальными цветами сильнее реагируют на свет аналогичной окраски и отфильтровывают свет другой окраски (илл. 9.2). Если же выбрать серый зеркальный цвет, поверхность будет отражать свет любой окраски.

Что касается металлов, то в металлическом оттенителе цвет выбранного материала будет использован в качестве цвета зеркальной подсветки. Так, если визуализируется предмет из золота, его поверхность будет иметь золотой цвет зеркальной подсветки. Иногда металлы имеют также темный цвет рассеяния, а их окраска и затенение определяются, главным образом, свойством окрашенной зеркальности.

АНИЗОТРОПНЫЕ ПОДСВЕТКИ

Микроскопическая шероховатость поверхности, являющаяся причиной рассеяния света, отнюдь не всегда распределяется произвольно по всей поверхности, а значит, далеко не весь свет произвольно рассеивается во всех направлениях. Некоторые поверхности имеют небольшие бороздки или волокнистую структуру, а не произвольную рельефность. Очищенная щеткой сталь, человеческий волос, грампластинки, компакт-диски и деревянные предметы служат характерными примерами бороздчатых или волокнистых поверхностей, структура которых оказывает влияние на их затенение. Отражения и подсветки удлиняются в направлении, перпендикулярном волокнам или бороздкам поверхности, в результате чего получается так называемое *анизотропное затенение (anisotropic shading)*. А на поверхностях, равномерно рассеивающих отраженный свет во всех направлениях, получается *изотропное затенение*. Отличие между этими видами затенения показано на рис. 9.7.

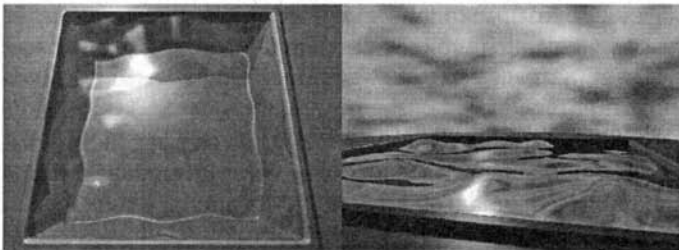
Рис. 9.7. При изотропном затенении (слева) зеркальные подсветки равномерно распределяются во всех направлениях, тогда как при анизотропном затенении (справа) зеркальные подсветки удлиняются



ЭФФЕКТ ФРЕНЕЛЯ

Французский физик Огюстен Жан Френель (Augustin-Jean Fresnel) (1788–1827) выдвинул волновую теорию света в результате исследований распространения света в различных объектах. Одним из итогов его наблюдений явился известный в компьютерной графике *эффект Френеля*.

Эффект Френеля состоит в том, что количество наблюдаемого света, отраженного от поверхности, зависит от угла обзора. Как следует из рис. 9.8, если посмотреть прямо вниз на бассейн с водой, на его поверхности можно заметить очень мало отраженного света. При этом сквозь поверхность воды хорошо просматривается дно бассейна. Если же посмотреть на бассейн под углом скольжения, т.е. на уровне поверхности воды с края бассейна, то на поверхности воды можно заметить намного больше зеркальных подсветок и отражений, а под водой, возможно, не увидать ничего.



Оттенитель, который позволяет изменять зеркальность и другие свойства поверхности в зависимости от угла обзора поверхности, зачастую называется *оттенителем по Френелю*. Такой *оттенитель* позволяет указывать зеркальный цвет, наблюдаемый на разных участках поверхности, обращенных непосредственно к камере, а также зеркальный цвет, наблюдаемый на тех участках поверхности, которые расположены перпендикулярно камере.

Помимо обычных свойств зеркальности и отражательной способности, *оттенители по Френелю* позволяют также управлять цветом или прозрачностью поверхности.

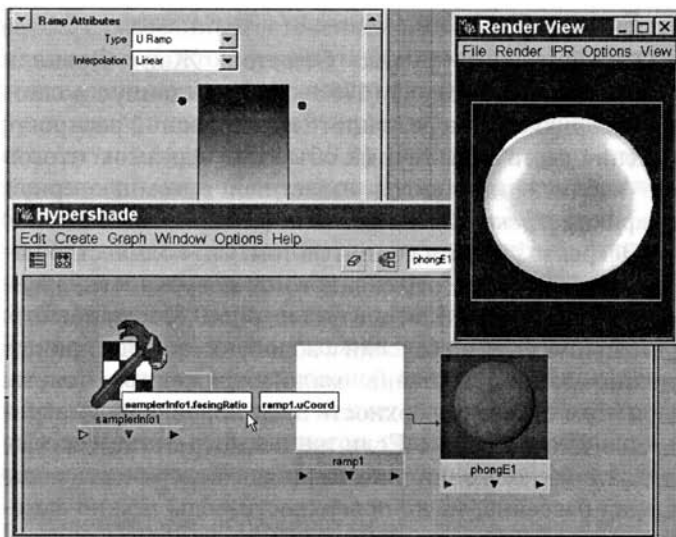
Далеко не во всех программах параметры настройки эффекта Френеля именно так и называются. Аналогичный эффект достигается благодаря разной установке соответствующего параметра в центре и на краю поверхности. Кроме того, для получения эффекта Френе-

НА ЗАМЕТКУ

Огюстен Жан Френель известен также как изобретатель линзы Френеля, предназначенной для проецирования лучей света маяков. До сих пор линзы Френеля применяются в кино- и телевизионном осветительном оборудовании для фокусирования света.

Рис 9.8. Эффект Френеля увеличивает отражение и зеркальность поверхности, если смотреть на поверхность под углом скольжения (справа)

Рис. 9.9. В окне Hypershade (Гиперотон) программы Maya свойство Facing Rate (Степень облицовки) поверхности связывается посредством линейно изменяющегося шаблона с зеркальностью поверхности. Промежуточный линейно изменяющийся шаблон позволяет изменять зеркальность от центра до края поверхности в виде градиента



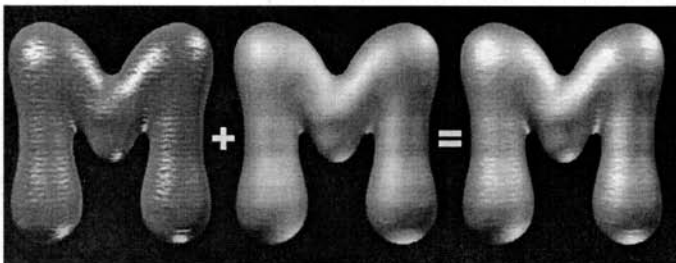
ля можно связать угол расположения поверхности объекта с некоторым изменяющимся свойством оттенителя (в частности, яркости зеркального отражения), как показано на рис. 9.9.

МНОГОЧИСЛЕННЫЕ ПОДСВЕТКИ

На поверхности некоторых объектов разные виды подсветок накладываются друг на друга слоями. Настоящие поверхности могут состоять из нескольких слоев, особенно поверхности, покрытые слоем лака, шеллака, воска или жидкости. На многослойной поверхности в верхнем прозрачном слое может проявляться один вид зеркального отражения, а в нижнем слое — другой. Как следует из рис. 9.10, расположение многочисленных подсветок слоями может оказаться особенно полезным, если более плотные подсветки требуется наложить на более мягкие, широкие подсветки.

Многочисленные подсветки могут быть размещены на трехмерной поверхности несколькими способами.

Рис. 9.10. Подсветки, по-разному настраиваемые на двух объектах (слева), могут быть объединены для имитации многослойной или покрытой поверхности (справа)



- В одних программах имеются оттенители, специально предназначенные для создания и редактирования многочисленных подсветок по отдельности.
- В других программах имеется возможность размещать слоями оттенители, в каждом из которых установлены разные параметры настройки зеркальных подсветок.
- В большинстве программ приходится создавать вторую внешнюю копию поверхности, которая должна быть прозрачной для всех подсветок, кроме вторичных.
- Объект можно всегда визуализировать дважды с двумя разными значениями параметров настройки зеркальности, а затем скомпоновать оба визуализированных изображения.

Из всех перечисленных выше способов применение оттенителя, специально предназначенного для создания многочисленных подсветок, вряд ли может считаться самым эффективным. Что же касается остальных способов, то их преимущество заключается в том, что они позволяют применять различные виды проецирования рельефа в разных слоях подсветок.

НОРМАЛИ ПОВЕРХНОСТИ

Расчет затенения во время визуализации выполняется на основании нормалей поверхности визуализируемого объекта. *Нормаль поверхности* представляет собой единичный вектор, перпендикулярный поверхности в каждой ее точке. (*Вектор* обозначает конкретный угол или направление, а его *перпендикулярность* к поверхности означает, что он находится под прямым углом к поверхности.) В большинстве программ трехмерной графики имеется функция отображения нормалей поверхности, представленных в виде небольших линий в видовом окне (рис. 9.11).

Нормаль поверхности зачастую оказывается наиболее важным фактором при определении рассеянного затенения. Угол расположения нормали поверхности используется следующим образом.

- Там, где нормаль поверхности направлена прямо на источник света, рассеянное освещение оказывается наиболее ярким.

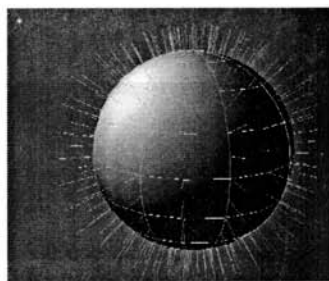


Рис. 9.11. Видимые нормали поверхности (показанные тонкими линиями) указывают на ориентацию каждого многоугольника на поверхности объекта

- Чем дальше от источника света отклоняется нормаль поверхности, тем меньше рассеянное освещение от этого источника.
- Там, где нормаль поверхности отклоняется по крайней мере на 90° от источника света, рассеянное освещение от этого источника вообще отсутствует. Линия отсечки рассеянного освещения называется *оконечным элементом* (*terminator*).
- Кроме того, нормали поверхности указывают также на ориентацию ее граней в сторону переднего или заднего плана сцены. Для эффективной визуализации односторонних поверхностей, как правило, пропускаются многоугольники, нормали которых направлены в сторону от камеры.

На сферической поверхности происходит постепенное изменение угла расположения соседних нормалей поверхности, в результате чего образуется плавный градиент затенения. На объектах другой формы (в частности, на примитивном кубе) возникают резкие переходы и нарушения постепенности изменения углов расположения соседних нормалей поверхности, что приводит к образованию резких границ затенения.

СКОСЫ

При пересечении двух поверхностей под прямым углом без скоса или плавного перехода ориентация нормалей соседних многоугольников круто меняется на 90° , причем ни одна из нормалей не направлена по диагонали. Это явление можно наблюдать на примитивном кубе, показанном слева на рис. 9.12. Отсутствие нормалей поверхности с промежуточной ориентацией означает, что при затенении поверхности будет проигнорирован свет, поступающий в одном из промежуточных направлений. В итоге затенение может приобрести неестественный вид, поскольку в реальном мире свет, поступающий в диагональном направлении, все же должен освещать угол объекта.

Вместо моделирования идеальных прямых углов целесообразно выбрать более реалистичский подход, скашивая и закругляя края всех объектов. Благодаря скосам образуются нормали поверхности с промежуточной ориентацией, как, например, на скошенном кубе, показанном справа на рис. 9.12. Столь незначительная деталь, как скос, способна существенно изменить реакцию объектов на свет.

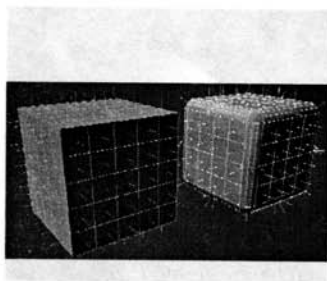


Рис. 9.12. На нескошенном кубе (слева) отсутствуют диагональные нормали поверхности. Более сложное и реалистичное затенение получается на скошенном кубе (справа)

Разумеется, не каждый скос позволяет создать идеально равномерный, закругленный переход между поверхностями. При внимательном изучении формы, размера и угла переходов между настоящими поверхностями обнаруживается большое разнообразие швов, плинтусов, полос цементного раствора, стежков и прочих элементов отделки, скрывающих острые углы.

Оконечный элемент

Как упоминалось выше, окончательный элемент представляет собой линию отсечки рассеянного освещения поверхности. При увеличении яркости света (или увеличении параметра рассеяния в оттенителе) окончательный элемент превращается в более заметный и резкий переход, как показано справа на рис. 9.13.



Благодаря выделению окончательного элемента высококонтрастной линией можно создать интересные визуализированные изображения, как, например, на рис. 9.14, где все изображение было визуализировано исключительно в черно-белом варианте без оттенков серого. Но если требуется придать визуализированному изображению более мягкий вид, окончательный элемент следует сделать едва заметным либо вообще невидимым.

Независимо от яркости света последний не будет распространяться за пределы окончательного элемента. Местоположение окончательного элемента фиксировано — это место, где нормали поверхности направлены перпендикулярно к источнику света. Данное положение согласуется с тем, как ведет себя свет при освещении твердых, непроницаемых объектов, например металли-



Рис. 9.13. По мере увеличения яркости источника света становится более отчетливым окончательный элемент, определяющий место, где прекращается освещение

Рис. 9.14. В изображении из проекта Project BW (www.projectBW.com) применен метод перераспределения затенения для получения высококонтрастного окончательного элемента

ческого шара. Но как показывают наблюдения в реальном мире, свет может освещать более половины поверхности объекта, если он окружен слоем пыли, ворса или атмосферы либо если его поверхность покрыта несколькими слоями или полупрозрачна. В компьютерной графике лишь в некоторых случаях свет может освещать сферическую форму более чем наполовину.

- Применение нескольких источников света вместо одного является, как правило, самым простым способом организации освещения вокруг объекта.
- Крупные поверхностные источники света, расположенные вблизи объекта, способны иногда освещать его в пределах 180° , поскольку каждая часть поверхностного источника света выполняет функцию отдельного источника света.
- Если программное обеспечение поддерживает окружающее освещение посредством изображений с большим динамическим диапазоном (High Dynamic Range Images), то такие изображения позволяют создавать естественное освещение вокруг всей модели и могут быть использованы вместо источников заливающего света.
- Благодаря проецированию рельефа свет может освещать более половины сферы, поскольку при этом вместо нормалей поверхности геометрической формы используется совершенно иной подход.

Если перспективные модели освещения будут допускать непосредственное распространение оконечного элемента на пределы 180° вокруг объекта, это существенно упростит создание многих эффектов затенения.

ТЕКСТУРЫ

Проецирование текстур (texture mapping) — это своего рода искусство изменения внешнего вида и детализации поверхности, выходящее далеко за пределы уровня детализации моделируемой геометрической формы. В этом разделе рассматриваются типы текстур, различные способы их создания, а также методы выравнивания текстур по моделям.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕЦИРОВАНИЯ

Текстуры могут быть использованы для управления самыми разными свойствами поверхности, а также для

создания различных эффектов в визуализируемой сцене. К основным методам проецирования текстур относятся следующие.

- Проецирование цвета.
- Проецирование зеркальности.
- Проецирование светимости.
- Проецирование прозрачности.
- Проецирование усечения.
- Проецирование рельефности.
- Проецирование смещения.

ПРОЕЦИРОВАНИЕ ЦВЕТА

Проецирование цвета (color mapping), иногда еще называемое *проецированием рассеяния (diffuse mapping)*, означает замену основного цвета поверхности модели текстурой. Черно-белый клетчатый рисунок применяется к модели, показанной на рис. 9.15, в виде карты отображения цветов.

Карта отображения цветов устанавливает количество рассеянного света, отражаемого поверхностью. В некоторых средствах визуализации проецирование цвета и проецирование рассеяния относятся к разным видам проецирования карт текстур. В этом случае тона карты отображения цветов усиливаются тонами карты рассеяния (при нормализации в пределах от 0 до 1). Так, например, увеличение серого на 50% в карте рассеяния равнозначно использованию половины яркости цвета в карте отображения цветов.

Если объект должен быть освещен и затенен в трехмерной сцене источниками света, освещение, затенение и подсветки вряд ли стоит «встраивать» в карту отображения цветов. Обратите, например, внимание на довольно плоский вид карты отображения цветов, приведенной на рис. 9.16. Эта карта реалистично отображает разнообразие окраски и детализацию кожи лица, но не содержит никакого затенения, подсветок или теней, наблюдаемых на фотографии лица.

Иногда данное правило нарушается, и в карту отображения цветов вводится путем раскраски некоторое количество подсветок и теней для имитации мелких деталей, без проецирования рельефности или смещения. В таком случае следует непременно согласовать тон и положение проецируемых подсветок и теней

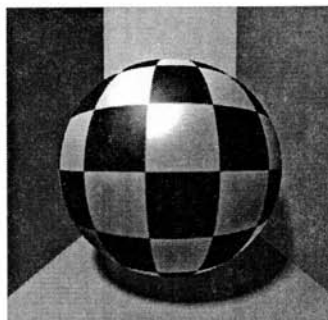


Рис. 9.15. Клетчатый рисунок в виде карты отображения цветов заменяет свойство рассеяния поверхности модели

Рис. 9.16. Для реалистичной реакции на свет качественная карта отображения цветов должна иметь плоский вид. Эта карта была получена на основании фотографии и обработана, с тем чтобы исключить такие встроенные артефакты освещения, как подсветки и тени, нежелательные в карте отображения цветов



с теми, что вводятся при освещении и в процессе визуализации.

Проецирование цвета заменяет цвет объекта, используемый в рассеянном свете, но не заменяет освещение и затенение. Если же требуется полностью сымитировать освещенность объекта (с помощью света и тени из карт текстур вместо освещения трехмерной сцены), в этом случае более подходящим окажется метод проецирования светимости, или проецирования постоянного свечения, рассматриваемый далее в этой главе, поскольку он свободен от влияния света и тени на сцене.

В реалистичной визуализированной сцене окраска объектов обычно не должна содержать совершенно черный и чисто белый, а также насыщенный красный, зеленый или синий цвет. Ведь максимально яркий белый цвет будет означать, что весь падающий на поверхность свет отражается рассеянно, что трудно обнаружить в реальном мире. Аналогично, совершенно черная поверхность вообще не будет отражать рассеянный свет, что также выглядит нереалистично. В большинстве случаев целесообразно устанавливать значения красного, зеленого и синего цвета текстуры в пределах



Рис. 9.17. Основное затенение модели (слева) определяется моделированием лица и освещением сцены. После добавления карты отображения цветов (справа) затенение не меняется благодаря плоскому виду этой карты

от 15% до 85% их максимальной величины, причем желательнее ближе к нижнему пределу этого диапазона.

Даже если карта отображения цветов имеет плоский вид и ограниченный тональный диапазон, это обстоятельство ни коим образом не мешает получать яркие и высококонтрастные визуализируемые изображения. Свет и тени затемяют карту, а на рассеянное затенение накладываются другие эффекты, в том числе зеркальные подсветки. Результат применения плоской карты отображения цветов, приведенной на рис. 9.16, к модели головы представлен на рис. 9.17.

ПРОЕКЦИРОВАНИЕ ЗЕРКАЛЬНОСТИ

Проецирование зеркальности (specular mapping) означает изменение яркости и окраски зеркальных подсветок на разных участках поверхности объекта. Клетчатый рисунок проецируется в виде карты зеркальности на всю поверхность объекта, показанного на рис. 9.18, однако его влияние заметно лишь в области зеркальной подсветки.

Карта зеркальности сама по себе не создает зеркальные подсветки, ибо они должны происходить от источников света. Вместо этого карта зеркальности позволяет окрасить подсветки, изменить их яркость или даже полностью скрыть. Однако эффект проецирования зеркальности окажется заметным лишь в тех местах, где зеркальная подсветка все равно бы присутствовала.

Яркие участки карты зеркальности делают подсветки светлее, придавая данной части объекта дополнительный глянец или блеск. А темные тона карты зеркальности делают подсветки менее заметными, причем совершенно черный цвет в карте зеркальности полно-



Рис. 9.19. Карта зеркалальности проецируется в сцене, что приводит к изменению цвета и яркости зеркальной подсветки

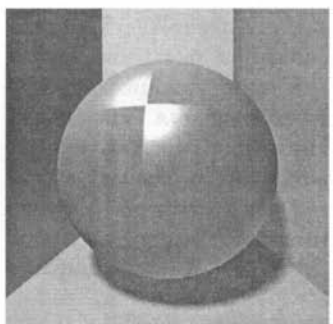


Рис. 9.18. Карта зеркальности видна лишь в области зеркальной подсветки и способна изменить зеркальный цвет или ограничить яркость зеркального отражения от поверхности

Рис. 9.19. Эта карта зеркальности придает больше блеска лбу, чем подбородку мужского лица, и регулирует появление подсветок в определенных местах



стью препятствует проявлению подсветок в соответствующих частях модели. Примером тому служит карта зеркальности мужского лица, приведенная на рис. 9.19. Белые участки карты создают блеск в области лба и носа, тогда как темные участки исключают подсветки на бритых участках щек и подбородка. (Данная карта зеркальности была использована в визуализированном изображении, приведенном на рис. 9.17, где зеркальные подсветки можно наблюдать только на тех частях лица, которые окрашены ярким зеркальным цветом.)

В связи с тем что действие карты зеркальности заметно лишь в области подсветок, ее иногда сложно проецировать и настраивать. В таком случае следует попытаться обособить ее действие. Для этого необходимо сначала убедиться в том, что поверхность не обладает отражательной способностью (которую иногда путают с зеркальностью) и на ней отсутствуют другие текстуры, а затем выполнить пробную визуализацию для исследования подсветок упомянутым выше методом проверки на поворотном круге. После пробной визуализации можно постепенно восстановить отражательную способность и другие свойства поверхности. Если же возникают затруднения с выравниванием, то сначала карту зеркальности следует создать в виде карты

отображения цветов, а затем превратить ее в карту зеркальности лишь после того, как она будет правильно спроецирована.

ПРОЕЦИРОВАНИЕ СВЕТИМОСТИ

Проецирование светимости (luminosity mapping), называемое также *проецированием накаливания (incandescence mapping)*, *проецированием общего освещения (ambience mapping)* или *проецированием постоянного свечения (constant mapping)*, означает использование карты текстуры для имитации свойств самосвечения объекта, когда цвета проецируемой карты применяются без учета условий освещения. Как показано на рис. 9.20, карта светимости видна на поверхности объекта даже в области тени и не требует источника света для освещения данного объекта.

Карты светимости идеально подходят для решения таких задач, как получение светящихся окон здания или иллюминаторов корабля, создание светящегося экрана телевизора или монитора или текстурирование поверхности электрической лампы (рис. 9.21). Кроме того, карты светимости удобны для объединения двухмерных изображений с трехмерными визуализируемыми сценами, когда эти изображения должны сохранять свою освещенность (что нередко достигается в сочетании с проецированием усечения, рассматриваемым далее в этой главе). Помимо этого, карты светимости могут быть использованы для имитации дополнительной яркости объекта, уменьшая контраст и осветление объекта за пределами области освещения от обычного источника света.

Если карта светимости применяется к объекту без зеркального затенения (когда зеркальный цвет совершенно черный) и рассеянного затенения (когда цвет рассеяния чисто-белый), в этом случае она может образовать ровно окрашенный участок, на котором точно передаются оттенки и тона исходной карты при визуализации объекта. На рис. 9.22 визуализированные черно-белые оттенки окраски поверхности сферы точно соответствуют значениям RGB в исходной карте текстуры. В некоторых средствах визуализации имеется отдельный режим визуализации с применением материала *постоянного свечения* или *источника света*, что дает аналогичный эффект, хотя такой материал не так-то просто сочетать с другими эффектами затенения, получаемыми с помощью карты светимости.

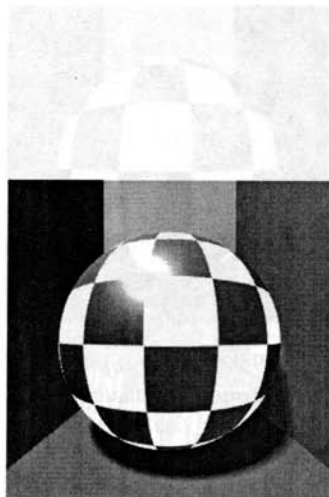


Рис. 9.20. Карта светимости окрашивает в свои цвета все части объекта в области света и тени



Рис. 9.21. Карта светимости идеально подходит для текстурирования поверхности электрической лампы вместо освещения от видимых источников света. (Изображение создано Жаком Исааком (Jacques Isaac).)

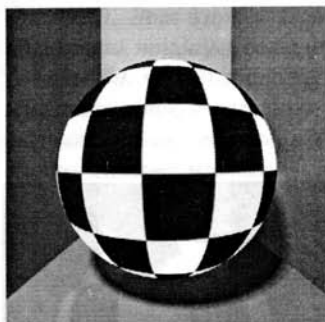


Рис. 9.22. Если карта светимости применяется к объекту без зеркального или рассеянного затемнения, ее исходные оттенки и цвета передаются непосредственно при окончательном выводе, не оказывая влияния на освещение



Рис. 9.23. Карта прозрачности делает отдельные участки поверхности более или менее прозрачными

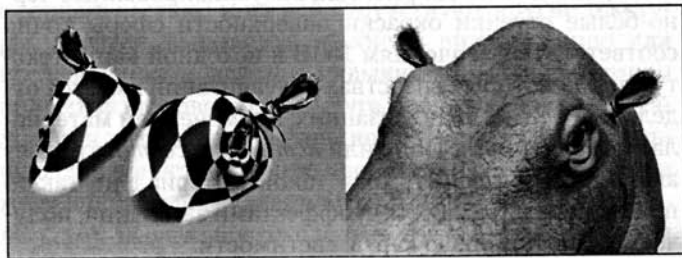
Рис. 9.24. Карты прозрачности делают мягкими края поверхностей (слева) для плавного их сопряжения с основным объектом (справа)

Проецирование общего освещения является разновидностью проецирования светимости. Несмотря на то что этот вид проецирования может быть использован для получения тех же эффектов, что и при проецировании светимости, его действие определяется уровнем общего освещения сцены. Карты общего освещения имеют максимальную яркость (аналогично стандартной карте светимости или накаливания) при установленном уровне 1 общего освещения и совершенно незаметны при уровне 0 общего освещения. В некоторых программах имеются специализированные источники общего освещения, регулирующие уровень этого освещения на разных участках сцены, что также ограничивает яркость карты общего освещения.

ПРОЕЦИРОВАНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ

Проецирование прозрачности (*transparency mapping*) выполняет несколько полезных функций. Самая простая функция состоит в создании рисунка на прозрачном участке поверхности такого объекта, как витражное окно. (В частности, окно из сцены на рис. 5.18 получает свою окраску от цветной карты прозрачности.) Темные участки карты прозрачности делают поверхность менее прозрачной, а светлые — более прозрачной, как показано на рис. 9.23. Так, если бы окно было грязным, его загрязненность можно было бы представить более темными участками карты прозрачности, примененной к данному окну.

Помимо создания прозрачных рисунков, карты прозрачности обычно используются для получения скрытых переходов между поверхностями. На рис. 9.24 показано, каким образом поверхности незаметно и плавно сопрягаются друг с другом благодаря картам прозрачности. Возможно, имитация непрерывности поверхности с помощью карт прозрачности является отнюдь не самым “подходящим” методом, тем не менее многие иногда вполне им обходятся. Этот эффект мо-



жет вызвать ряд осложнений, когда тени от перекрывающихся прозрачных краев сопрягаемых поверхностей падают на основную поверхность. Кроме того, данный эффект достигается лишь при идеальном согласовании карт отображения цветов. Подобный метод применяется редко при полигональном моделировании, но в то же время весьма полезен при лоскутном и NURBS моделировании геометрических форм.

Ресницы и волосы в ушах гиппопотама (рис. 9.24) также получены в виде поверхностей со спроецированными картами прозрачности. Карта текстуры ресниц (рис. 9.25) создает иллюзию обособленности каждой ресницы благодаря сокрытию отдельных частей поверхности ресниц в прозрачных полосках. Этот же прием может быть использован для создания отдельных травинок на лужайке, подстриженных челкой волос персонажа или удаленной группы деревьев на склоне.

Для добавления цвета и прозрачности с помощью одной и той же карты текстуры последняя должна содержать *альфа-канал* (рис. 9.25), предоставляющий информацию о прозрачности в виде дополнительного числа битов на каждый пиксель. В большинстве программ трехмерной графики и анимации альфа-канал карты текстуры может быть использован для определения степени прозрачности (или других обозначенных свойств) текстурированной поверхности. Так, в одном файле изображения информация о цвете хранится в каналах красного, зеленого и синего (т.е. она может применяться в виде карты отображения цветов), а информация о прозрачности — в альфа-канале. При этом информация в альфа-канале интерпретируется аналогично затенению в обычной карте прозрачности и дает те же результаты, что и монохромная карта прозрачности из отдельного файла.

Участки карты прозрачности, окрашенные совершенно черным цветом, делают соответствующие участки поверхности объекта непроницаемыми и непрозрачными. А участки карты прозрачности, окрашенные чисто-белым цветом, делают соответствующие участки поверхности объекта полностью прозрачными. Но даже полностью прозрачный участок поверхности, образованный с помощью окрашенного в чисто-белый цвет участка карты прозрачности, отнюдь не обязательно должен быть невидимым, ибо отражение, преломление

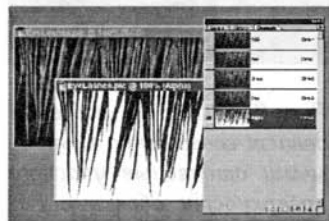


Рис. 9.25. Информация о прозрачности может быть введена с помощью альфа-канала в тот же файл, в котором находится карта отображения цветов



Рис. 9.26. Карта усечения делает совершенно невидимыми отдельные участки поверхности объекта. Результат ее применения отличается от приведенного на рис. 9.26 тем, что на усеченных путях проецирования участках поверхности зеркальные подсветки не видны

НА ЗАМЕТКУ

В LightWave 3D усеченные путем проецирования объекты могут непосредственно отбрасывать тени, причем даже тени, формируемые методом проецирования карты теней. При обычном проецировании прозрачности придется выбрать тени, формируемые методом трассировки лучей, поскольку тени, формируемые методом проецирования карты теней, не реагируют на прозрачность.

и другие световые эффекты обычно видны на прозрачной поверхности. Если же прозрачные участки поверхности должны быть совершенно невидимы, для этой цели можно воспользоваться доступным во многих программах методом проецирования усечения.

ПРОЕЦИРОВАНИЕ УСЕЧЕНИЯ

Проецирование усечения (clip mapping), иногда еще называемое *проецированием видимости (visibility mapping)*, представляет собой особую разновидность проецирования прозрачности, используемую для создания внешнего вида отверстий, вырезаемых в объекте. Совершенно белый участок карты усечения скрывает соответствующий участок поверхности объекта, в том числе зеркальные подсветки, отражение и преломление. Как показано на рис. 9.26, карта усечения создает иллюзию рисунка, вырезанного на поверхности геометрической формы.

Если программа не предоставляет возможность проецирования усечения, для получения аналогичных результатов можно воспользоваться проецированием прозрачности. Для этого достаточно выявить те зеркальные подсветки и отражения, которые могут быть видны на прозрачных участках поверхности, а затем отменить эти эффекты либо спроецировать их с помощью карты усечения. Если применяется метод трассировки лучей, показатель преломления материала должен быть равен 1.

В сочетании с картой отображения цветов карта усечения позволяет вырезать отверстия определенной формы. Так, например, текстура оконной решетки (рис. 9.27) состоит из карты отображения цветов и согласованной с ней картой усечения. Совместно обе карты создают впечатление решетки с отверстиями между арматурой.

Замена сложного трехмерного объекта с помощью ровной, усеченной путем проецирования поверхности иногда называется *аппликацией (bill-boarding)*. Для аппликации трехмерного объекта достаточно визуализировать заменяемый объект, а затем спроецировать на ровную поверхность визуализированное изображение этого объекта в виде карты отображения цветов и карты усечения в виде альфа-канала. Такой метод иногда позволяет сэкономить немало памяти и времени визуализации, особенно это касается удаленных объектов.

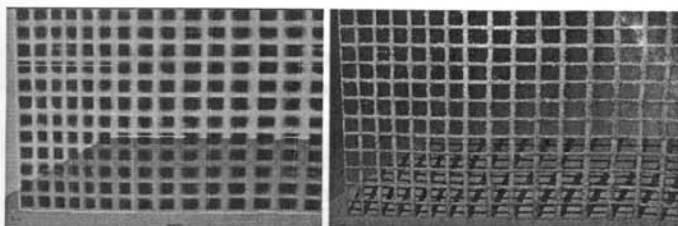


Рис. 9.27. Простая геометрическая форма (слева) может быть текстурирована для имитации сложной поверхности (справа) благодаря вырезанию отверстий определенной формы с помощью проецирования усечения

ПРОЕЦИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФНОСТИ

Проецирование рельефности (bump mapping) означает отклонение от совершенно перпендикулярного направления нормалей к поверхности объекта. Нормали с измененной ориентацией используются для нарушения ровного характера поверхности и имитации выступов, впадин и мелких деталей поверхности при затенении объекта. На рис. 9.28 приведен результат проецирования решетчатой карты рельефности.

Градиент получается благодаря разности уровней яркости соседних пикселей в карте рельефности, что оказывает влияние на углы расположения нормалей поверхности, используемые при расчете затенения. Светлые тона карты рельефности передают приподнятые участки поверхности, а темные — опущенные участки. Иногда небольшие изменения карты рельефности (в частности, размывание или гамма-коррекция) существенно изменяют внешний вид визуализированного эффекта проецирования рельефности, поскольку они могут оказывать влияние на градиент, вычисляемый между соседними пикселями карты. Равномерно окрашенные участки карты рельефности, на которых затенение не изменяется, не будут оказывать влияния на поверхность, поскольку градиент между соседними пикселями на этих участках отсутствует.

Проецирование рельефности на самом деле не изменяет форму поверхности. Модель со спроецированной картой рельефности обычно визуализируется быстрее, чем с картой смещения, однако проецирование рельефности является отнюдь не идеальным методом имитации объемности. С помощью карты рельефности могут быть точно симитированы пять следующих основных эффектов.



Рис. 9.28. Карта рельефности нарушает равномерность затенения поверхности, не изменяя ее форму

- Разнообразие, вносимое рельефом поверхности в рассеянное освещение и затенение.
- Разделение и рассеяние зеркальных подсветок. Мелкие подсветки могут даже превратиться

в отдельные рельефы благодаря изменению яркости пикселей в карте рельефности, хотя это может стать причиной появления дрожания в анимации.

- Искажение и рассеяние отражения, формируемого методом трассировки лучей или проецирования карты отражения.
- Правильное видоизменение и искажение преломления, наблюдаемого сквозь прозрачные поверхности, имитируемые методом трассировки лучей.
- Изменение направления и сосредоточения эффектов каустики, более подробно рассматриваемых в разделе “Каустика” далее в этой главе, если таковые поддерживаются программно.

Картам рельефности присущи также пять следующих основных недостатков, препятствующих достижению требуемой иллюзии.

- Очертание или силуэт объекта не изменяется и остается гладким или прямым, даже если карта рельефности имитирует весьма неровную поверхность. Так, например, сфера с примененной картой рельефности по-прежнему имеет идеально круглое очертание.
- Тени, отбрасываемые объектом со спроецированной картой рельефности, сохраняют свою исходную форму.
- Тени, падающие на поверхность со спроецированной картой рельефности, остаются прямыми и неискаженными, как будто они действительно падают на пересеченную местность.
- В отличие от моделируемых или смещенных деталей, те детали, которые придает поверхности карта рельефности, не отбрасывают тени на поверхность.
- Линия пересечения объекта, на который спроецирована карта рельефности, с другим объектом не изменяется данной картой, в результате чего может обнаружиться настоящая форма объектов.

Пять перечисленных выше недостатков проецирования рельефности могут быть исправлены с помощью *проецирования смещения (displacement mapping)*, по-

скольку этот вид проецирования действительно обеспечивает изменение формы поверхности, которое лишь имитируется картой рельефности.

ПРОЕЦИРОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ

Яркость карты смещения используется для изменения формы поверхности (рис. 9.29). Светлый тон в карте смещения перемещает соответствующую точку на поверхности наружу вдоль ее нормали, а темный — вовнутрь. В отличие от карты рельефности, такое изменение профиля объекта и тени способно даже повлиять на место пересечения разных поверхностей.

НА ЗАМЕТКУ

Стандартное проецирование смещения, при котором точки поверхности перемещаются наружу или вовнутрь вдоль нормалей, называется *скалярным смещением (scalar displacement)*. В программе Renderman компании Pixar поддерживается также *векторное смещение (vector displacement)*, при котором точки поверхности могут смещаться и в других направлениях, например, выступающие в разные стороны рога или чешуя, поразному сгибающаяся на различных участках поверхности.

Во многих программах требуется подробная карта смещения для мозаичного представления поверхности (подразделенной на множество мелких многоугольников) во время визуализации, что приводит к значительному увеличению числа многоугольников, а значит, и к увеличению объема используемой оперативной памяти и времени визуализации. В итоге при слишком малом подразделении поверхность со спроецированной картой смещения получается грубой и неровной либо с плохо обозначенным смещением (рис. 9.30).

Если бы карта смещения была достаточно плавной или имела низкое разрешение, например для придания незначительной волнистости поверхности развевающегося флага, дополнительное мозаичное представление не потребовалось бы. Карты более слабого смещения требуют не больше вычислительных ресурсов, чем другие методы деформации, изменяющие форму поверхности.

ДРУГИЕ МЕТОДЫ ПРОЕЦИРОВАНИЯ

Перечень методов проецирования, безусловно, не ограничивается рассмотренными выше семью наиболее распространенными методами. На самом деле с помощью карт текстур может быть получено практически

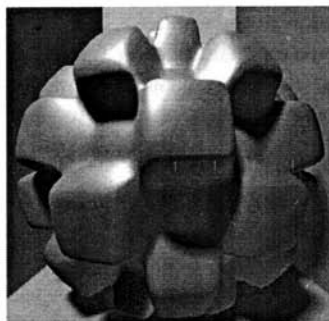


Рис. 9.29. Карта смещения изменяет форму поверхности

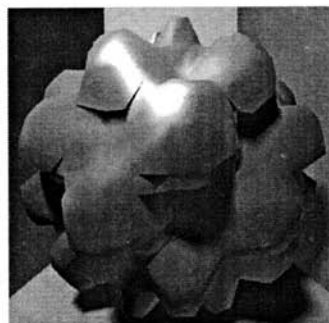
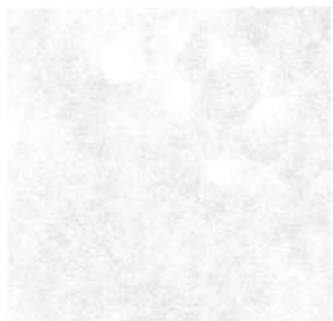


Рис. 9.30. В результате проецирования карты смещения на недостаточно подразделенную поверхность последняя приобретает грубый и неровный вид



неограниченное число эффектов. Для управления любым визуальным эффектом, получаемым программным путем, могут быть использованы особые карты. В частности, в некоторых программах применяется особый тип карт для управления формой и окраской бликов в объективе либо внешним видом поверхности частиц. Даже в подключаемых модулях вполне возможно применение собственных карт текстур для таких особых целей, как определение длины, направления и курчавости волосков, пробивающихся на поверхности.

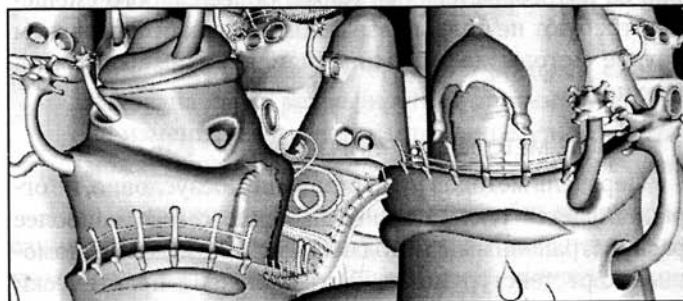
Независимо от того, какие эффекты требуется создать или какой аспект сцены необходимо контролировать, для получения карт текстур могут быть использованы сходные процессы. В частности, карты полностью раскрашиваются в программе раскраски, получаются из оцифрованных изображений настоящих материалов либо создаются процедурно.

РАСКРАСКА КАРТ

Оригинальная карта может быть, например, создана в программе раскраски. Такой подход особенно удобен для тех, кто имеет навыки рисования и живописи традиционными средствами. Несмотря на то что раскрашенные вручную карты могут быть созданы практически в любом визуальном стиле, они особенно полезны для сказочных, фантастических и иллюстративных визуализируемых сцен. Сцена, приведенная на илл. 9.3, была текстурирована с помощью раскрашенных вручную карт, созданных в программе раскраски двумерных изображений.

Модели под некоторыми текстурами могут быть достаточно простыми, как, например, здания, приведенные на рис. 9.31. А раскрашиваемые карты текстур придают необходимое богатство красок сцене с подобными моделями.

Рис. 9.31. Без карт текстур здания имеют незавершенный и упрощенный вид



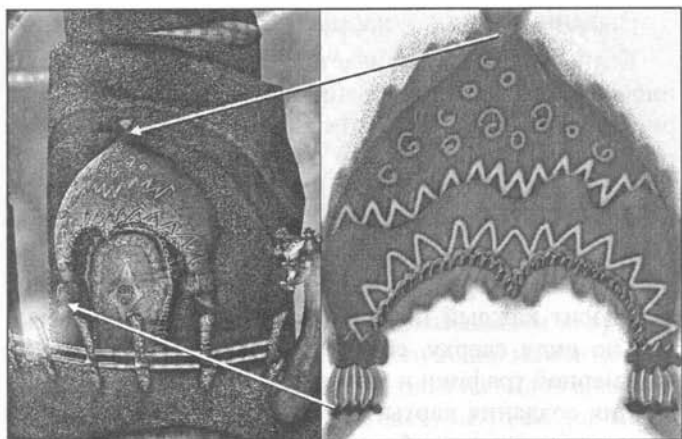


Рис. 9.32. Карта орнаментальной текстуры применяется к навесу в виде карты отображения цветов и рельефности

На рис. 9.32 показана одна из карт текстур, применяемая к навесу здания. Эта карта согласуется с геометрической формой навеса здания, внося в него необходимые детали орнамента и придавая ему подходящую раскраску. Цвета данной карты тщательно подобраны и вписываются в общую цветовую схему сцены, на многих поверхностях которой используются одни и те же оттенки фиолетового, желтого и оранжевого.

Свет и тени нередко вписываются в раскрашиваемую вручную карту для усиления освещения сцены или имитации объемности и деталей, которые вообще отсутствуют в находящейся под ней геометрической форме. Обратите внимание на то, что карта текстуры дверей (рис. 9.33) уже содержит свет и тени, которые лишь усиливают затенение геометрической формы при окончательной визуализации.

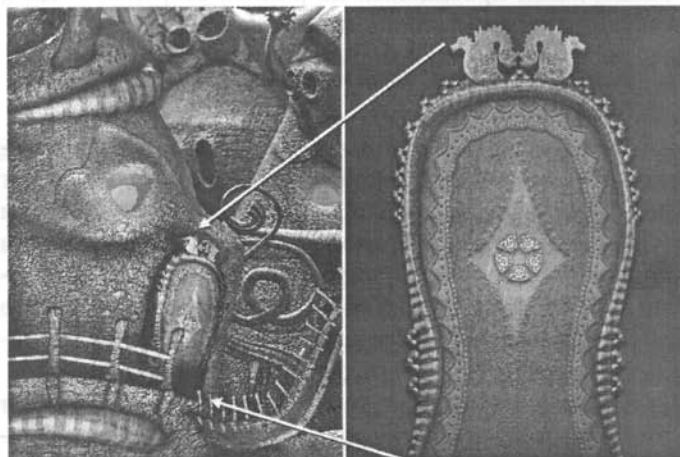


Рис. 9.33. Карты отображения цветов, предназначенные для стилизации визуализируемой сцены, уже содержат свет и тени

ВЫРАВНИВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ПЛАНАРНЫХ ПРОЕКЦИЙ

Если карта раскрашивается для проецирования на плоский объект, подобный двери, приведенной на рис. 9.33, либо на боковую сторону объекта, то для ее выравнивания проще всего создать *планарную проекцию* (*planar projection*). (Виды планарных проекций иногда обозначаются по соответствующим осям (проекция XY, проекция YZ) или по углу обзора (боковая проекция или верхняя проекция). Планарная проекция переносит каждый пиксель текстуры прямо и параллельно виду сверху, сбоку или спереди в программе трехмерной графики и анимации.

Для создания карты текстуры, точно выровненной с помощью планарной проекции, сделайте моментальный снимок экрана с изображением модели в виде сверху, сбоку или спереди (в зависимости от того, на какую сторону модели должна быть спроецирована карта). Загрузите полученный вид в программу раскраски и используйте его в качестве фонового слоя, раскрашивая или накладывая на него карту текстуры. После этого примените полученную карту текстуры к модели в планарной проекции, чтобы она оказалась выровненной так, как это было сделано в программе раскраски.

Планарные проекции идеально подходят для текстурирования ровных стен и боковых сторон коробок, но в то же время образуют полосы на поверхностях, расположенных параллельно направлению проекции, как показано слева на рис. 9.34. Для устранения этого недостатка достаточно воспользоваться несколькими планарными проекциями на разных сторонах модели либо выбрать другой вид проекции.

ВЫРАВНИВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ НЕПЛАНАРНЫХ ПРОЕКЦИЙ

Несмотря на то что карты проще всего раскрашивать в планарной проекции, они хорошо охватывают лишь те участки модели, которые обращены лицом к проекции. А на поверхностях, расположенных боком к планарной проекции, текстуры становятся полосатыми или растянутыми. Для более равномерного охвата объекта текстурой зачастую приходится выбирать цилиндрическую или сферическую проекцию.

Работа с проекциями текстур, которые не совпадают ни с одним из трехмерных видов, затрудняет выравни-

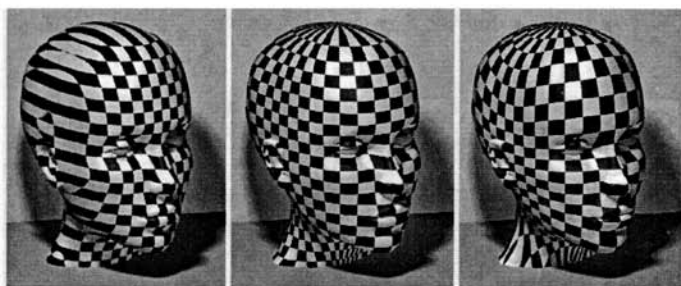
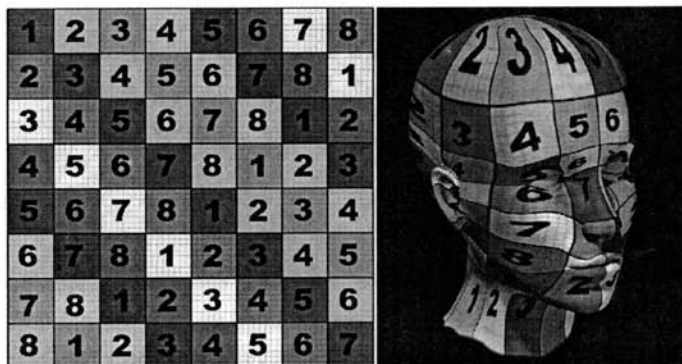


Рис. 9.34. Планарная проекция (слева) растягивает клетчатый рисунок на верхней и боковых сторонах объекта при проецировании спереди. Цилиндрическая проекция (посередине) охватывает переднюю, заднюю и боковые стороны объекта, однако растягивает клетчатый рисунок вблизи его верхней точки. Сферическая проекция (справа) более равномерно охватывает все стороны объекта

вание текстуры. В этом случае оказывается непригодным упомянутый выше метод получения моментального снимка экрана с моделью в одном из видов в качестве образца для раскраски текстуры. Тем не менее существуют другие методы создания карт текстур с точным выравниванием в непланарной проекции.

- Во многих программах имеется функция или подключаемый модуль развертки, которые чаще всего используются для применения цилиндрических или сферических проекций к полигональным каркасам. На развернутом объекте видно расположение всех частей трехмерной модели. После выполнения функции развертки для раскраски текстуры достаточно сделать моментальный снимок экрана с развернутым объектом, используя его в качестве образца в программе раскраски.
- Программа раскраски трехмерных изображений может быть использована для создания завершенной карты текстуры путем ее раскраски непосредственно на модели.
- Программа раскраски трехмерных изображений может быть использована для создания *образцовой карты (reference map)*, т.е. временной карты, на которой намечаются лишь основные контуры и выполняется цветовое кодирование отдельных частей модели. Образцовая карта может затем служить в качестве фоновой слоя для раскраски и компоновки точно размеченной завершенной текстуры в программе двумерной раскраски изображений. Преимущество такого подхода состоит в том, что для создания завершенной карты текстуры могут быть задействованы все доступные инструментальные средства и процессы формирования двумерных изображений.

Рис. 9.35. Шаблонная карта (слева) позволяет разметить каждый участок поверхности, что дает возможность установить точное соответствие между отдельными частями проекции текстуры и модели после пробной визуализации (справа). Это одна из многих шаблонных карт, которые могут быть загружены из вспомогательной библиотеки, находящейся по адресу www.aliaswavefront.com



- Используя избранную проекцию, можно применить *шаблонную карту* (*pattern map*) (рис. 9.35), отметив отдельные части модели, на которые накладывается шаблон. Шаблонная карта может затем служить в качестве образца для раскраски завершенной текстуры, которая применяется в той же проекции, что и шаблонная карта.
- Для текстурирования сложной модели можно уточнить метод применения шаблонной карты, наблюдая исходное визуализированное изображение шаблонной карты и нанося на нее контрольные отметки, соответствующие отображаемым контурам модели. После пробной визуализации модели с новым вариантом карты необходимо определить, насколько близко сделанные отметки совпадают с контурами модели, а затем внести изменения в новый вариант карты на тех участках, которые требуют уточнения. Добившись в итоге точного расположения всех отметок, можно приступить к раскраске завершенной текстуры, используя размеченную шаблонную карту в качестве образца.

Все перечисленные выше методы выравнивания текстур с помощью непланарных проекций пригодны и при использовании пропорциональных карт, хотя последние заметно отличаются от проекций.

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КАРТЫ

Пропорциональные карты представляют собой самый распространенный способ текстурирования поверхностей NURBS, но он постепенно становится столь же распространенным и при текстурировании

полигональных каркасов. *Пропорциональная карта (UV map)* является альтернативой проекциям текстур в пространстве. Эта карта размещается на поверхности в соответствии с *пропорциональными координатами UV* последней. Координаты UV могут быть *неявными* в зависимости от структуры поверхности NURBS либо *явными*, назначаемыми для полигонального каркаса.

НЕЯВНЫЕ КООРДИНАТЫ UV

Поверхности NURBS (неоднородный рациональный B-сплайн) и некоторые виды лоскутов имеют неявные (или встроенные) координаты UV. Поверхность NURBS имеет в каждой точке неявные координаты UV с момента своего создания.

Встраивание координат UV становится возможным благодаря структуре поверхности NURBS, которая всегда представляет собой сетку, состоящую из ряда кривых, проходящих в поперечном направлении (U) и пересекающихся с кривыми, проходящими в продольном направлении (V). Таким образом, у каждой точки поверхности NURBS имеются свои координаты UV, обозначающие ее положение в сеточной структуре данной поверхности. Несмотря на то что поверхность NURBS может сгибаться или плавно изменять свою форму, она всегда сохраняет свою сеточную структуру. Для этой цели в программе NURBS моделирования допускается удаление не отдельных точек, а целых горизонтальных и вертикальных линии точек. Пропорциональная карта применяется к поверхности NURBS в соответствии с координатами UV следующим образом: горизонтальный (X) размер карты текстуры располагается в поперечном направлении U, а вертикальный (Y) — в продольном направлении V.

Порядок построения поверхности NURBS определяет распределение координат UV на поверхности. На рис. 9.36 показана модель головы, составленная из кривых U, проходящих вокруг головы в поперечном направлении, и кривых V, проходящих в продольном направлении. Пропорциональная карта точно повторяет эти кривые, сгибаясь в тех направлениях, в которых они проходят.

Если бы модель головы была построена иным способом, в результате пропорционального проецирования текстура была бы выровнена по-другому. На рис. 9.37 показана модель головы, составленная из

перевернутой, а ее размеры сильно искажаются в разных частях головы. При таком выравнивании раскраска текстуры в программе раскраски двумерных изображений существенно усложняется. Для создания пропорциональной карты, подобной этой, можно воспользоваться программой раскраски трехмерных изображений либо создать сначала текстуру в виде планарной или цилиндрической проекции, а затем преобразовать ее в пропорциональную карту.

НА ЗАМЕТКУ

Функция Convert Solid Texture (Преобразовать сплошную текстуру) в Alias|Wavefront Studio и Maya формирует карту пропорционального выравнивания на основании существующей проекции или трехмерной процедурной карты текстуры. (Согласно терминологии Alias Studio, сплошная текстура представляет собой проекцию или трехмерную процедурную карту, в отличие от текстуры *поверхности*, которая предполагает пропорциональное выравнивание.) Аналогичным образом может быть использована функция Rendermap (Визуализация карты) в Softimage.

Иногда благодаря пропорциональному выравниванию намного упрощается создание текстуры. Так, если требуется создать текстуру виноградной лозы или стебля растения, такая текстура как раз должна проходить вдоль кривых поверхности. Проведя небольшую предварительную подготовку, объект можно иногда смоделировать таким образом, чтобы его кривые проходили в преимущественном направлении текстуры. На рис. 9.38 приведен пример волос женской головы, смоделированных с помощью кривых, проходящих в продольном (V) направлении, совпадающем с направлением укладки волос. Благодаря этому упрощается процесс проецирования, поскольку в карте текстуры, приведенной на рис. 9.39, достаточно расположить волосы по вертикали сверху вниз.

Когда текстура применяется к поверхности волос, вертикальный размер этой текстуры естественно располагается вдоль продольного (V) направления кривых поверхности, имитируя естественное направление роста волос на голове (илл. 9.4). Текстирирование волос на голове без неявных координат UV было бы существенно усложнено.

Неявное пропорциональное проецирование позволяет также избавиться от еще одного недостатка, характерного для проекций. При переносе проекции карты

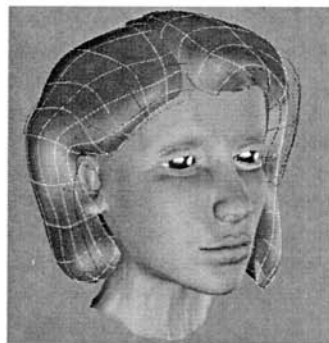


Рис. 9.38. Кривые поверхности модели волос направлены вдоль укладки волос для подготовки к проецированию пропорциональной карты

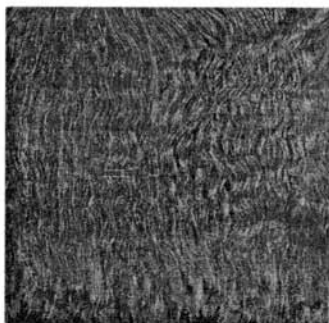


Рис. 9.39. Волосы в этой текстуре располагаются вертикально, что соответствует продольному направлению кривых на поверхности, к которой данная текстура применяется. (Текстура получена путем сканирования парика, расположенного в одном направлении и положенного на планшетный сканер)

текстуры в пространстве нередко часть карты оказывается в нескольких местах объекта. Планарные проекции как бы прорезают переднюю и заднюю стороны модели. И даже сферическая проекция переносит одну и ту же точку текстуры как на внешнюю, так и на внутреннюю поверхность ноздри персонажа, что затрудняет выбор цвета в обоих местах. С другой стороны, при пропорциональном проецировании образуется взаимно-однозначное соответствие между координатами UV поверхности и координатами XU положения карты текстуры, благодаря чему обеспечивается произвольный доступ к цвету в любой точке модели.

ЯВНЫЕ КООРДИНАТЫ UV

Полигональные каркасы имеют произвольную структуру геометрической формы, которая отнюдь не обязательно должна быть сетчатой либо состоящей из четырехсторонних многоугольников. Поэтому в отличие от поверхностей NURBS у полигональных каркасов отсутствуют неявные координаты UV , а вместо них имеются явные (или “назначаемые”) координаты UV . Поверхности подразделения, которые сглаживаются, начиная с управляющего полигонального каркаса, также имеют явные координаты, обычно определяемые координатами, назначаемыми для управляющего полигонального каркаса.

Функции управления явными координатами UV зависят от конкретной программы и ее версии. В одних программах координаты UV формируются еще на стадии примитивного полигонального каркаса либо после преобразования поверхности NURBS в многоугольники сохраняются неявные координаты UV , а в других — сначала создается проекция для переноса текстуры в пространстве на полигональный каркас, а затем результат проецирования преобразуется в явные координаты UV , причем программа назначает координаты UV для каждой вершины в зависимости от ее положения в исходной проекции текстуры.

Благодаря усовершенствованию инструментальных средств проецирования в современных программах трехмерной графики и анимации явные текстуры теперь легче отличить от неявных. В некоторых программах даже при текстурировании поверхностей NURBS, имеющих неявные координаты UV , пользователям предоставляется возможность явно переопределить

или поправить значения координат UV конкретной точки.

Явные координаты UV чаще всего используются при разработке персонажей видеоигр и другого содержимого реального времени. В подобных случаях модели состоят из небольшого числа многоугольников, и поэтому правка отдельных координат UV каждой точки каркаса вполне допустима с практической точки зрения. Строгие требования к памяти систем реального времени вынуждают уделять основное внимание оптимизации каждого участка модели, покрытого отдельными пикселями карты текстуры.

ПОЛУЧЕНИЕ КАРТ ИЗ НАСТОЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Если нет желания полностью раскрашивать карты текстур, последние могут быть получены из фотографий или сканированных настоящих поверхностей. Так, если найти настоящий объект или местность с текстурой, аналогичной требуемой, его изображение позволит сэкономить немало времени и повысить реализм создаваемой работы.

Если же визуализируемые сцены создаются на тему научной фантастики, к оцифровке исходного материала следует подойти творчески. Так, например, корпус НЛО может быть текстурирован картами, полученными из фотографий панелей городского автобуса, а фигура пришельца — картами на основе снимков крупным планом остатков обеда в рыбном ресторане. Даже если обнаруженные в реальном мире объекты просто похожи на те, что создаются в трехмерной сцене, их все равно стоит снять, поскольку богатство красок в реальной жизни всегда достойно подражания.

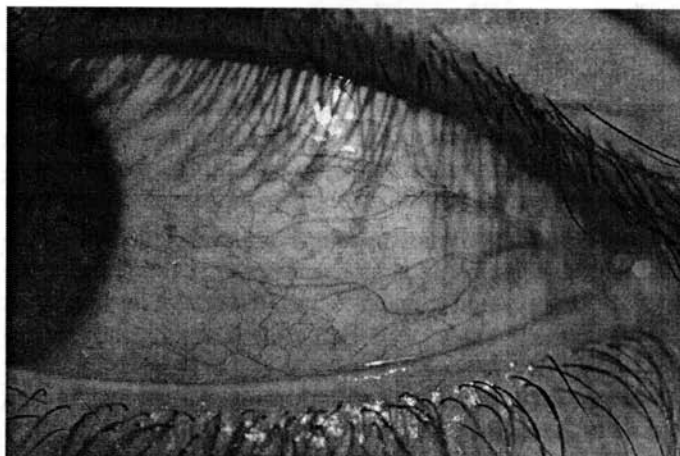
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СЪЕМКЕ

Отнюдь не каждая фотография окажется полезной для создания карт текстур. Поэтому постарайтесь следовать приведенным ниже рекомендациям, отправляясь с фотоаппаратом на поиски текстур для своей коллекции.

- **Проводите съемку в пасмурный день или в тени.** Главное — зафиксировать цветовое разнообразие самой поверхности, исключая из текстуры лишнее затенение. Если карта текстуры уже содержит затенение, тени и отражения, они могут не совпадать затенением, тенями и отражениями, вводимыми в процессе визуализации.

- **Пользуйтесь телеобъективом.** С помощью телеобъектива могут быть получены наиболее плоские и наименее искаженные изображения. Снимки следует делать по возможности на расстоянии и крупным планом, а не стоя рядом с объектом и используя более широкоугольный объектив. Как правило, для съемки ровных поверхностей применяется объектив с фокусным расстоянием по меньшей мере 60 мм (для стандартных фотоаппаратов, рассчитанных на 35-миллиметровую пленку).
- **Пользуйтесь макросъемочным объективом.** Это еще одно полезное средство съемки текстур, хотя его применение может показаться противоречащим предыдущей рекомендации. При выборе фотоаппаратов и объективов обращайте внимание на их макросъемочные свойства, т.е. возможность снимать предельно крупным планом такие изображения, как на рис. 9.40, и выберите самые лучшие из тех, что можно найти. Предельно крупные планы полностью раскрывают невидимы невооруженным глазом особенности текстур и их рисунок.
- **Обращайте внимание на размер.** Старайтесь контролировать размер всего, что входит в карты текстур. Так, для создания карты текстуры кирпича, которая должна имитировать кирпичную стену в трехмерной сцене, необходимо измерить снимаемый участок настоящей кирпичной кладки либо, по крайней мере, сделать дополнитель-

Рис. 9.40. Пользуйтесь макросъемочным объективом для съемки самых разных текстур предельно крупным планом. Этот снимок был сделан с помощью промежуточных колец (приспособлений, отдаляющих объектив от пленки), установленных на стандартном 50-миллиметровом объективе



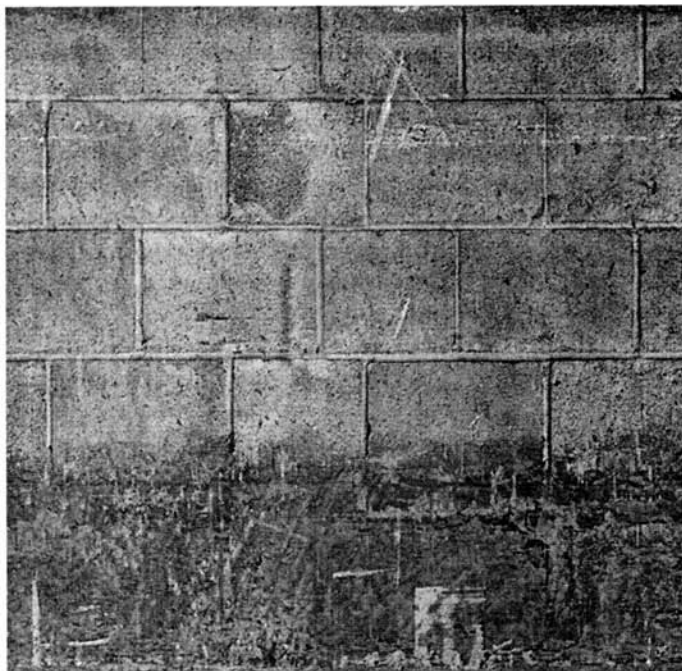


Рис. 9.41. Обратите внимание на края поверхности. В данном случае стена из шлакоблока усилена цементным основанием. Для включения в эту карту другого материала на краю поверхности ее мозаичное расположение было выполнено по горизонтали, а не по вертикали

ный снимок для справки, где кирпичи показаны в определенном контексте либо по высоте стены. Несоответствие размера текстуры является одним из самых распространенных недостатков трехмерных визуализируемых сцен.

■ **Обращайте внимание на края поверхностей.**

Ближе к краям поверхностей текстуры нередко меняются, как показано внизу карты, приведенной на рис. 9.41. Помимо съемки центральной части поверхности, следует непременно снять ее внешний вид на краях, например, сфотографировать стену вблизи земли или угла сопряжения с другой стеной либо взять в кадр любой участок на стыке или пересечении двух материалов. Эти участки поверхности могут потребоваться при создании отдельных карт.

■ **Конкретизируйте поиск.** Старайтесь искать конкретные, а не общие образцы для карт. Слабые, обобщенные рисунки формально проще превратить в мозаичные карты, однако они обедняют визуализируемые сцены и делают их менее разнообразными. Так, если требуется текстура старого кирпичного здания, постарайтесь снять

всю декоративную кирпичную кладку соответствующего стиля и самые разные варианты износа и постепенной замены отдельных кирпичей.

- **Коллекционируйте текстуры сериями.** Собирайте коллекции текстур целыми сериями или группами, связанными одним происхождением. Если, скажем, требуются дубовые листья, соберите несколько разных листьев с одного дерева, чтобы его имитируемая крона имела естественное разнообразие.
- **Сканируйте плоские материалы.** Если материал плоский и переносимый, например лист папоротника или образец обоев, попробуйте сканировать его на планшетном сканере, а не фотографировать.

На основании исходных материалов попытайтесь сделать текстуры, которыми можно гордиться. Ведь при создании текстуры трудно заранее знать, в скольких проектах она может быть неоднократно использована.

Если текстуры сняты на пленку, последнюю необходимо проявить, а затем оцифровать полученные слайды, негативы или фотоснимки.

СКАНИРОВАНИЕ ТЕКСТУР

Изображения текстур могут быть введены в компьютер самыми разными способами.

- Планшетный сканер представляет собой распространенное периферийное устройство для сканирования фотоснимков, а также книжных иллюстраций. На многих студиях уже имеются планшетные сканеры для сканирования других видов изобразительных оригиналов и документов. Кроме того, образцы некоторых материалов могут быть непосредственно сканированы на таких сканерах для получения равномерно освещенных, неискаженных цифровых изображений с высоким разрешением.
- Настольные сканеры слайдов и негативов специально предназначены для оцифровки негативов и диапозитивов с большим разрешением и динамическим диапазоном, чем при сканировании фотоснимков.
- Службы фотообработки предоставляют услуги оцифровки изображений после обработки плен-

ки. В таком случае не нужно приобретать специальное компьютерное оборудование и высококачественные профессиональные сканеры для оцифровки изображений непосредственно с негативов.

- Цифровые камеры снимают текстуры трехмерных объектов, тут их же оцифровывая. Кроме того, цифровая камера может быть установлена на копировальном штативе для оцифровки других видов изображений либо иллюстраций.

При оцифровке изображений важно обеспечить достаточное их разрешение для получения текстур высокого качества. Ниже приведены некоторые рекомендации относительно выбора разрешения текстур.

- **Начинайте с высокого разрешения, а затем постепенно понижайте его.** Получайте изображения с разрешением выше требуемого, чтобы затем иметь возможность обрезать исходное изображение или иным образом манипулировать им при создании текстуры, ибо при манипулировании изображением его качество немного ухудшается. Поддерживайте высокое разрешение карты текстуры вплоть до получения ее окончательного варианта, после чего используйте копию текстуры уменьшенного размера в конкретном производстве. Если окончательное разрешение карты текстуры должно составлять 512×512, сканирование можно начать с разрешения 1200×1600, обрезать изображение до размера карты 1024×1024, а затем уменьшить до окончательного размера карты 512×512.
- **Выбирайте разрешение в пикселях, а не в точках на дюйм.** При оцифровке размер изображения должен быть указан в пикселях, а не в точках на дюйм. Если же сканер требует установки разрешения в точках на дюйм, установите такое значение в этих единицах, которое соответствовало бы требуемому разрешению в пикселях. Так, если требуется получить карту 1200 пикселей по ширине, исходное изображение шириной 12 дюймов необходимо сканировать с разрешением 100 точек на дюйм, а изображение шириной 2 дюйма — с разрешением 600 точек на дюйм.

Разрешение в точках на дюйм (DPI) обозначает размер изображения, выводимого на печать, т.е. сколько пикселей размещается на каждом дюйме по ширине бумаги. В некоторых форматах файлов информация о размере изображения хранится в точках на дюйм, однако для программ трехмерной графики и анимации это не имеет особого значения.

- **Не забывайте о расходовании оперативной памяти.** Карта размером 1024×1024 пикселей требует 3 Мбайт оперативной памяти для 24-рядного цвета и 4 Мбайт, если дополнительно используется альфа-канал. А карта размером 512×512 пикселей с альфа-каналом — в 4 раза меньше памяти, т.е. 1 Мбайт. Если при этом качество изображения не ухудшается, значит, выбирать слишком высокое разрешение нецелесообразно.
- **Не бойтесь понижать разрешение.** Иногда весьма небольших карт, потребляющих немного памяти, оказывается вполне достаточно для получения требуемого внешнего вида даже для вывода с высоким разрешением. Так, если карта проецируется на мелкие объекты, частицы или мазки кистью, разрешения 64×64 может оказаться более чем достаточно. Если программа трехмерной графики и анимации интерполирует карты путем их сглаживания (вместо отображения крупных пикселей), в этом случае можно вполне обойтись картами с низким разрешением даже для покрытия крупных участков, например при наложении карт слоями ради общего цветового разнообразия.

Сканированное изображение обычно является лишь отправной точкой при создании текстуры. После того как будет получен файл изображения с высоким разрешением, далее следует этап ретуширования или цветовой коррекции для согласования с остальными картами.

Для выравнивания фотографических изображений текстур пригодны все методы, рассмотренные выше в разделе “Раскраска карт”. В частности, для согласования планарной проекции достаточно получить моментальный снимок экрана с видом объекта спереди и ввести его в качестве образца в программу двухмерной раскраски изображений. Кроме того, можно создать образцовые карты в результате развертки видов модели или разметки в программе трехмерной раскраски изображений. На полученный образец далее накладываются отдельные части оцифрованной и соответственно обработанной текстуры для точного выравнивания по отдельным частям модели.

Одни карты должны быть специально подогнаны под конкретный объект, а другие этого не требуют. Так, карта лица персонажа должна быть специально подогнана по модели его головы, чтобы все черты его лица заняли свое место на модели. А карта кирпичной стены может быть создана в виде общего образца, а затем применена на самых разных кирпичных поверхностях. Если же создаются мозаичные карты, которые повторяются на всей поверхности, либо переводные рисунки, накладываемые на разные участки материала, карты текстур могут быть созданы безотносительно к конкретной модели, а затем применены к моделям в конкретном производстве. В двух последующих разделах рассматриваются мозаичные карты и переводные рисунки.

МОЗАИЧНЫЕ КАРТЫ

Мозаичная карта (tiling map) представляет собой карту текстуры, предназначенную для многократного повторения на поверхности. Каждый повторяющийся экземпляр такой карты образует единое целое с соседними экземплярами подобно рисунку на обоях. Левый край одного экземпляра мозаичной карты плавно выравнивается по правому краю ее другого экземпляра, а верхний край — по нижнему краю расположенного выше экземпляра, поэтому трудно визуально определить, где оканчивается один экземпляр и начинается другой (рис. 9.42). Естественно, что каждой карте требуется мозаичное расположение как по горизонтали, так и по вертикали. В зависимости от конкретных потребностей повторение карты может быть выбрано лишь в одном направлении.

После устранения швов и выравнивания краев карты в программе раскраски следует проверить полученную мозаичную карту, чтобы убедиться в отсутствии швов между отдельными ее экземплярами. Для провер-

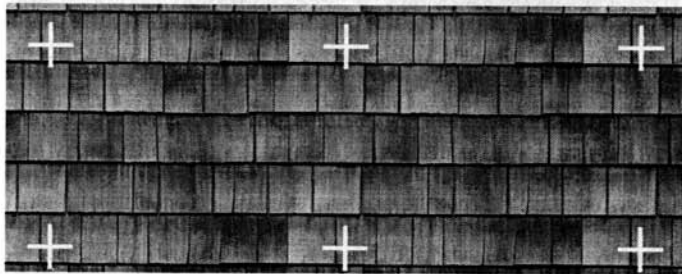


Рис. 9.42. Белыми крестиками обозначены четыре угла повторяющейся текстуры гонта. Фотографическое изображение гонта было обработано в Adobe Photoshop с помощью команды Filter⇒Other⇒Offset (Фильтр⇒Другие⇒Смещение), затем его края были плавно сведены в режиме заворачивания, после чего с помощью инструмента Slope (Клонирование) был скрыт шов по центру изображения

ки достаточно уменьшить размер карты и определить ее в качестве повторяющегося рисунка для заполнения фона в новом файле изображения. С другой стороны, иногда для предварительного просмотра мозаичной карты проще ввести ее список заставок и заполнить ею рабочий стол операционной системы.

Далее необходимо внимательно изучить предварительно просматриваемый вид мозаичной карты, сравнив яркость или цвета в центре и на краях. Несмотря на то что края карты сходятся плавно, смещение цвета может наблюдаться, если карта повторяется несколько раз. Общая яркость и смещение цвета обычно корректируется путем объединения карты с ее инвертированной и сильно размытой копией, что позволяет устранить любые отклонения в карте, которые превышают радиус размывания.

Особое внимание следует уделить выявлению любых отличительных особенностей карты, которые повторяются слишком часто и могут превратиться в хорошо заметную сетку. Если отличительное свойство текстурируемой поверхности не должно многократно повторяться в мозаичном рисунке, это свойство необходимо удалить из мозаичной карты и применить его в виде переводного рисунка, накладываемого на мозаичный рисунок.

ПЕРЕВОДНЫЕ РИСУНКИ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ

При текстурировании детализированного или реалистичного объекта обычно приходится располагать слоями несколько карт текстур, причем одни карты (в частности, карта отображения цветов, карта рельефности и т.д.) назначаются для имитации различных свойств поверхности объекта, а другие применяются на разных участках модели (например, для получения нескольких проекций текстур под разными углами или разделения карт вблизи краев поверхности). Если же требуется особым образом детализировать конкретное место объекта, даже если там уже применяются другие текстуры, в этом случае можно создать переводной рисунок.

Переводной рисунок (decal), называемый иногда *трафаретной (stencil)* или *ярлыковой картой (label map)*, представляет собой карту текстуры, которая получена в виде маскированного изображения, накладываемого на другие материалы или текстуры для детали-

зации конкретного места объекта. Для создания переводного рисунка обычно требуется цветное изображение и маска (рис. 9.43). Цветное изображение содержит текстуру области переводного рисунка, а маска — белые участки, где должно проявиться изображение переводного рисунка, а также черные участки, где должен быть виден фоновый материал. Маска обычно хранится в альфа-канале карты отображения цветов либо в отдельном файле изображения. С помощью альфа-канала многие карты переводных рисунков накладываются слоями друг на друга, создавая дополнительную детализацию сцены, как показано на рис. 9.44.



Рис. 9.43. Текстура переводного рисунка нередко создается вместе с альфа-каналом, который определяет, какие именно части изображения карты будут видны при ее наложении на другие текстуры

НА ЗАМЕТКУ

В Alias|Wavefront и Maya применяются две разные системы расположения слоями и смешивания карт. Во-первых, используя трафареты и соединения в гипертоне или мультилистере, можно составить из любого количества переводных рисунков или других текстур любые проецируемые атрибуты оттенителя. И, во-вторых, можно воспользоваться многослойными оттенителями (*multilayered shaders*), которые сочетают в себе во время визуализации два полноценных оттенителя (полных определения материалов), что практически равнозначно двукратной визуализации поверхности.

Для обычного расположения текстур слоями применять многослойные оттенители не рекомендуется, поскольку для их визуализации требуется дополнительное время по сравнению с объединением текстур в одном оттенителе. Многослойные оттенители следует применять лишь при объединении разных моделей затенения, преломления с разными показателями или других специальных эффектов, которых невозможно добиться в одном оттенителе.



Рис. 9.44. Стрелками показаны те участки сцены, где использована карта, приведенная на рис. 9.43

Карты рельефности и смещения иногда ведут себя иначе при маскировании в области переводного рисунка. Если требуется, чтобы переводной рисунок воздействовал на рельеф или смещение в ограниченной области, края и неиспользуемые цветные участки карты переводного рисунка целесообразно заполнить ровным серым цветом.

Одним из самых полезных примеров применения переводных рисунков является загрязнение поверхности моделей. Для этого достаточно создать сначала карты, имитирующие грязь, пятна и другие дефекты поверхности, а затем наложить их на другие текстуры.

Загрязнение поверхности должно быть сосредоточенным, а не произвольным. Поэтому при имитации загрязнения рекомендуется избегать распространенной практики произвольного зашумления текстуры загрязнения. Вместо этого следует выбирать карты загрязнения, вносящие конкретные, вполне обоснованные детали в поверхности объектов, принимая во внимание причины появления пятен, грязи, царапин и прочих дефектов поверхности. Ниже приведен ряд соображений, которыми следует руководствоваться при разработке и размещении карт загрязнения.

- Царапины появляются на полу не случайно, а в тех местах, где открываются двери.
- Ковры изнашиваются в основном в тех местах, где чаще всего ходят.
- Плесень темнеет вблизи трещин и углов.
- Вода оставляет пятна и следы в тех местах, где она попадает на поверхность, либо там, где ее поверхность достигает наивысшей отметки.

Подобные соображения особенно важны при создании фантастических или вымышленных сцен, поскольку для убедительного загрязнения воспроизводимой среды необходимо представить себе ее предысторию.

Грязь не всегда бывает темной. Загрязнение поверхности отнюдь не означает ее затемнение или уменьшение насыщенности окраски. Некоторые виды загрязнения (в частности, пыль, водяные пятна, птичий помет) освещают окраску поверхности. Ржавчина, гниль и плесень способны даже придать дополнительную яркость окраске стареющей поверхности.

ПРОЦЕДУРНЫЕ ТЕКСТУРЫ

Для получения цветного рисунка трехмерной поверхности имеются две следующие возможности: создать карту текстуры либо воспользоваться *процедурной текстурой (procedural texture)* — алгоритмом для формирования на компьютере цветного рисунка на основании входных параметров, что вообще исключает загрузку файла изображения.

Процедурные текстуры обладают рядом преимуществ и недостатков по сравнению с картами текстур.

НЕЗАВИСИМОСТЬ ОТ РАЗРЕШЕНИЯ

Карта текстуры, основанная на изображении с фиксированным числом пикселей, имеет конечное разрешение. Если увеличить изображение карты текстуры до предельно крупного плана либо визуализировать ее с очень высоким разрешением, в итоге будет превышено разрешение отдельных точек раstra текстуры, который будет иметь размытый или мозаичный вид.

С другой стороны, процедурные текстуры *не зависят от разрешения*. При увеличении изображения процедурной текстуры до предельно крупного плана или визуализации с очень высоким разрешением проявляются ее дополнительные детали (рис. 9.45). Большая часть процедурных рисунков может быть получена путем математических расчетов при любом масштабе, хотя у некоторых из них имеются параметры, устанавливающие число итераций или рассчитываемых уровней детализации.

Благодаря независимости процедурных текстур от разрешения они отлично подходят для покрытия больших участков сцены, например, когда требуется придать ландшафту или местности определенную окраску. Процедурная текстура способна покрыть бесконечно большую поверхность земли без повторения.

Однако независимость процедурных текстур от разрешения отнюдь не гарантирует, что крупный план текстуры окажется таким, как требовалось или предполагалось. Независимо от применяемого вида текстурирования для разработки реалистичных и детализированных предельно крупных планов трехмерных сцен требуется тщательно проанализировать внешний вид объектов, показываемых крупным планом, а затем выполнить пробную визуализацию и разработать детализированные надлежащим образом текстуры.

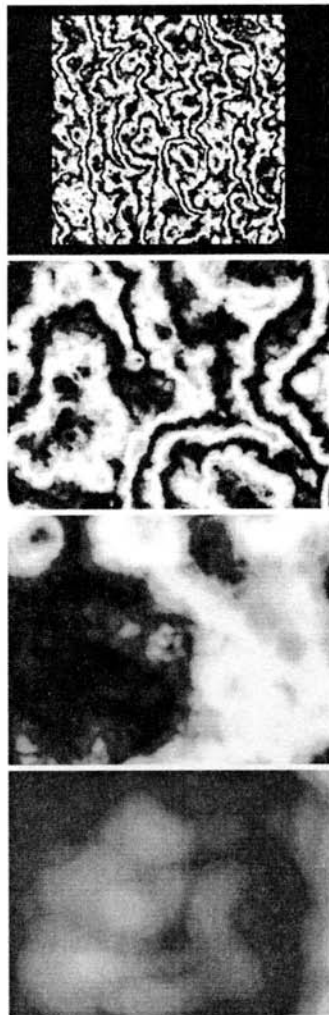


Рис. 9.45. Каждый последующий кадр представляет собой более крупный план центрального участка предыдущего кадра, демонстрируя независимость процедурной текстуры от разрешения

СПЛОШНЫЕ ТЕКСТУРЫ

Некоторые процедурные текстуры являются *сплошными* (*solid textures*), называемыми иначе *трехмерными текстурами* (*3D textures*). В отличие от двухмерных карт текстур, сплошные текстуры получаются с помощью процедуры формирования рисунка в зависимости положения в трехмерном пространстве. Независимо от формы объекта сплошная текстура всегда равномерно применяется к каждой его части. Так, мраморная текстура, приведенная на илл. 9.5, плавно охватывает все стороны куба и даже вырезанные в нем отверстия. Если для текстурирования каждой поверхности картой текстуры требуются дополнительные усилия, то при использовании сплошных текстур это делается автоматически.

По существу, сплошная текстура определяет текстурирование всего трехмерного пространства, в котором находится объект, причем окраска объекта в каждой точке получается в результате его пересечения сплошной текстурой. Это очень удобно для создания впечатления, будто объект вырезан из материала текстуры, хотя он не может исказить текстуру таким образом, чтобы она повторяла смоделированную форму, что делает сплошные текстуры непригодными для таких целей, как имитация волос, растущих в определенном направлении (см. илл. 9.4).

Во многих программах поддерживаются также двухмерные процедурные текстуры, что дает возможность переносить их в виде проекций или применять в соответствии с координатами UV аналогично картам текстур. Это может оказаться удобным в тех случаях, когда пропорциональная карта должна быть согласована с кривизной поверхности. Если же программа трехмерной графики и анимации поддерживает только трехмерные процедурные текстуры, последние можно всегда преобразовать в двухмерное изображение и применить в виде обычной карты текстуры.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В КАРТЫ

Процедурная текстура может быть преобразована в карту текстуры. Наиболее универсальный способ такого преобразования состоит в применении процедурной текстуры к плоской поверхности и визуализации последней, после чего визуализированная текстура может быть применена в виде карты текстуры в самых разных объектах.

Во многих программах имеется функция или подключаемый модуль, специально предназначенные для преобразования сплошных текстур в карты текстур или визуализации карт текстур, в зависимости от того, как процедурная текстура пересекается с конкретной моделью.

СОВЕТ

Если требуется преобразовать неповторяющуюся сплошную текстуру в мозаичную карту, примените эту текстуру к примитивному тору и преобразуйте текстуру на торе в пропорциональную карту. Благодаря замкнутой и непрерывной форме тора как в поперечном, так и в продольном направлении края преобразованной карты сойдутся идеально при мозаичном расположении. Этот метод пригоден и для цилиндров, если требуется мозаичное расположение карты лишь в поперечном направлении.

ДРЕВОВИДНЫЕ СТРУКТУРЫ ЗАТЕНЕНИЯ

Процедурные текстуры действительно приносят пользу, если они используются в интерфейсе *древовидной структуры затенения (shader tree)* — иерархическом представлении материалов, оттенителей и текстур, связанных общими или наследуемыми параметрами. С помощью древовидной структуры затенения процедурные текстуры и карты текстур могут объединяться или дополнять друг друга.

Благодаря тому что внешний вид процедурных текстур определяется подобранными пользователем цветами и установленными параметрами, иерархическое связывание и совместное использование общих параметров в древовидной структуре затенения позволяет извлечь максимальную пользу из процедурных текстур. В частности, процедурная текстура, формирующая клетчатый рисунок, может иметь два настраиваемых пользователем параметра выбора цвета клеток. В древовидной структуре затенения оба указанных параметра выбора цвета могут быть заменены другими текстурами, например разными мраморными текстурами, подобными тем, что показаны на рис. 9.46. Используя выходные параметры одной текстуры для управления конкретными входными параметрами другой, можно синтезировать сложный процедурный вывод в виде цепочки, состоящей из простых процедурных текстур.

Важно отметить, что древовидная структура затенения функционирует в виде удобного интерактивного

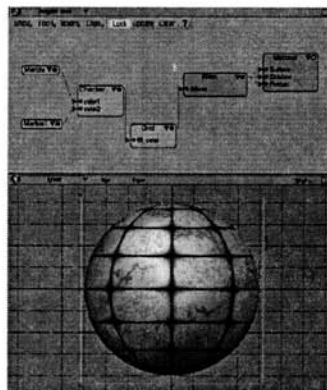


Рис. 9.46. Интерфейс древовидной структуры затенения (вверху) позволяет творчески объединять процедурные текстуры. В данном случае цвета двух клеток в процедурной текстуре клетчатого рисунка заменены двумя мраморными текстурами

интерфейса, позволяющего конечному пользователю создавать новые процедурные эффекты, не прибегая к программированию.

- Узлы древовидной структуры затенения могут выполнять функции обработки изображений, включая размывание, цветовую коррекцию или увеличение контраста изображения текстуры, начиная с исходного файла карты текстуры.
- Во многих древовидных структурах затенения поддерживаются переключатели или ветви для определения разного внешнего вида затенения, в зависимости от того, какая поверхность визуализируется — передняя или задняя, от удаления поверхности от камеры или угла ее обзора. Так, на рис. 9.9 эффект Френеля имитируется путем соединения узла, где определяется угол расположения поверхности, с узлом, где устанавливается ее зеркальность.
- Древовидные структуры затенения позволяют также выделять разные свойства объектов для последующей визуализации. Так, для определения тени от объекта вместо непосредственной визуализации его внешнего вида могут быть использованы разные оттенители и параметры настройки, а для управления окраской отраженного от поверхности света — отдельный фотонный оттенитель.

Аналогично остальным свойствам программ, древовидные структуры затенения определяются конкретным приложением, поэтому приведенные выше примеры функций этих структур могут быть реализованы отнюдь не в каждой программе.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Нельзя категорично утверждать, что процедурные текстуры эффективнее карт текстур, или наоборот. Процедурные текстуры могут быть простыми и сложными, а карты текстур — большими и малыми.

- При визуализации с размытостью движения выборка сплошных текстур может отнять немало времени, тогда как переход на карты текстур позволит значительно сократить продолжительность визуализации.

- Сложные процедурные текстуры, например текстуры фрактального шума со многими уровнями визуализации, способны замедлить процесс визуализации. А преобразование сложной процедурной текстуры в карту текстуры подобно использованию справочной таблицы вместо сложных расчетов и поэтому позволяет ускорить данный процесс.
- Процедурные текстуры подлежат анимации путем изменения ряда их параметров во времени. При этом новые текстуры формируются в каждом кадре анимации лишь на основании нескольких байтов данных. Для получения аналогичного результата с помощью карт текстур потребовалась бы целая последовательность карт текстур, занимающих немало места на жестком диске.
- Карты текстур с высоким разрешением потребляют немало оперативной памяти компьютера. Так, для карты с разрешением 1024×1024 требуется 3 Мбайт, а при использовании альфа-канала — 4 Мбайт, тогда как для карты с разрешением 2048×2048 и альфа-каналом — 16 Мбайт оперативной памяти, что в итоге может быстро привести к замедлению процесса визуализации.

Процедурные и растровые текстуры занимают вполне определенное место в производственном процессе. В частности, карты текстур более пригодны для тех работ, где требуется произвольный доступ к текстуре для окраски конкретных точек на объекте. Однако не следует упускать из виду и возможность применения процедурных текстур для выполнения конкретных проектов.

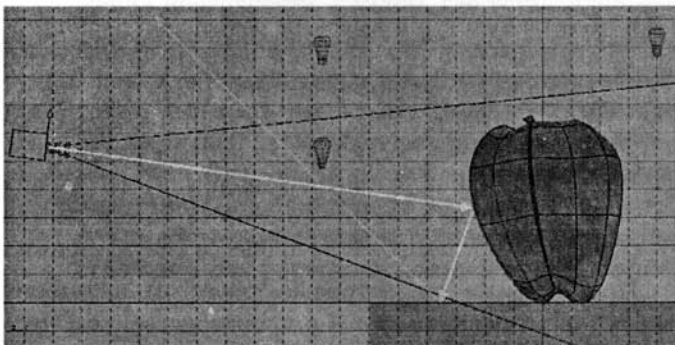
ТРАССИРОВКА ЛУЧЕЙ

Даже если объекты освещены и текстурированы, они не визуализируются по отдельности. В реальном мире свет отражается от объектов в окружающей среде, а одни объекты могут отбрасывать тени и создавать отражения на других. На дополнительной стадии процесса визуализации, называемой *трассировкой лучей* (*raytracing*), имитируется естественное отражение, преломление и формирование тени от трехмерных поверхностей, находящихся на пути света.

Процесс трассировки лучей оказывается противоположным тому, что происходит в реальной жизни. В реальной жизни луч света излучается источником света, отражается от объектов и наконец попадает в объектив камеры. А при трассировке лучей лучи исходят из виртуальной камеры для выборки находящихся на сцене объектов.

Для того чтобы начать процесс трассировки лучей, средство визуализации разделяет поле зрения камеры на массив пикселей в зависимости от разрешения визуализируемого изображения. Для определения цвета каждого пикселя луч проецируется из камеры, выбирая одну точку на любом объекте, встречающемся на его пути, как показано на рис. 9.47. В режиме сглаживания может выполняться выборка более чем одной точки на каждый пиксель, в результате чего увеличивается объем работы, выполняемой средством визуализации.

Рис. 9.47. При трассировке луч исходит из камеры и отражается от видимых объектов



Когда луч попадает на объект, последний проверяется на предмет отражения, преломления или залегания теней, для чего требуется выборка других лучей. Так, если объект отражает свет, после расчета рассеянного и зеркального затенения в конкретной точке поверхности выполняется трассировка дополнительным лучом, отражающимся от объекта в трехмерное пространство, а также проверка отражения от другого объекта в визуализируемой точке.

Если на пути луча встречается еще один отражающий объект, луч отражается от него, а значит, объем работы, выполняемой средством визуализации, увеличивается еще больше.

ОТРАЖЕНИЯ, ТРАССИРОВАННЫЕ ЛУЧАМИ

Отражения, трассированные лучами, выполняют ту же роль, что и зеркальное затенение. Такие отражения

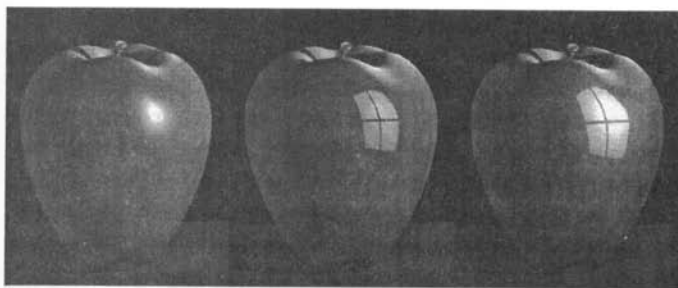


Рис. 9.48. Отраженный свет может быть представлен на объекте в виде зеркальной подсветки (слева), трассированного лучами отражения (посередине) либо и того и другого (справа)

представляют собой зеркальные отражения других находящихся на сцене объектов, тогда как зеркальное затенение — это зеркальное отражение источника света.

Зачастую трассированные лучами отражения создают более точную подсветку, чем само зеркальное отражение, благодаря возможности лучше контролировать форму отражения, трассированного лучами. На рис. 9.48 для сравнения показано яблоко с зеркальной подсветкой и яблоко с отражением окна, трассированным лучами. Для создания такого отражения достаточно построить модель требуемой формы и расположить ее вблизи источника света. Модель, которая должна появиться в отражении, может состоять лишь из одного многоугольника с соответствующей картой текстуры. Если эта модель достаточно яркая, а визуализируемая поверхность способна отражать свет, ее форма появится в визуализированном изображении.

Нередко требуется, чтобы зеркальные подсветки и трассированные лучами отражения были видны на поверхности. Главное — добиться правильного сочетания яркости и положения отражений и подсветок, с тем чтобы они стали неотъемлемой частью одного и того же эффекта.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Среди начинающих создателей трехмерных сцен распространена следующая ошибка: они забывают окружить отражающие объекты другими объектами, от которых отражается свет. Если же объект не окружен на сцене другими объектами, его не следует делать отражающим, поскольку такой объект, окруженный черным пространством, где отсутствуют отражения, просто оказывается темным.

Тщательно проверяйте среду, окружающую любой отражающий объект, чтобы убедиться в отсутствии пробелов в моделировании, которые могут обнару-

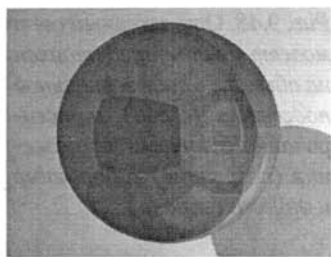


Рис. 9.49. Отражение, выдающее отсутствие четвертой стены в трехстенной комнате

житься в отражении. В частности, многие художники, занимающиеся трехмерной графикой, имеют обыкновение создавать комнаты с тремя стенами и оставлять их открытыми на месте четвертой стены, чтобы установить там камеру. Отражающий объект в такой трехстенной комнате будет отражать черный квадрат на месте отсутствующей стены (рис. 9.49).

Вместо исключения четвертой стены лучше сделать ее односторонней и с отбором невидимых граней, чтобы сквозь нее можно было наблюдать сцену в камеру. С другой стороны, четвертую стену можно сделать в виде объекта, обладающего только свойством отражения либо отражающего вторичные лучи (если такую возможность допускает применяемое средство визуализации). Благодаря этому четвертая стена не будет появляться в поле зрения камеры при отражении от объектов, находящихся на сцене.

Такая стена отнюдь не обязательно должна состоять из большого числа многоугольников. Ведь на время визуализации оказывает влияние число многоугольников, а не площадь, которую они покрывают. Для трассировки лучей можно свободно создавать объекты и окружающую обстановку со всеми сторонами, которые могут появиться в отражении и повлиять на формирование теней. А для повышения эффективности процесса визуализации достаточно сократить уровень детализации невидимых или вспомогательных поверхностей.

МЯГКИЕ ОТРАЖЕНИЯ

Стандартные трассированные лучами отражения создают идеальные зеркальные отражения других объектов. Зачастую такие отражения получаются слишком совершенными по сравнению с размытыми и искаженными отражениями других объектов на настоящих поверхностях.

В некоторых средствах визуализации имеется возможность получать мягкие трассированные лучами отражения путем рассеяния или произвольного отражения лучей, в результате чего получается размытое естественным образом отражение. В мягком трассированном лучами отражении ясно видны ближайшие отражающиеся объекты и менее отчетливо — удаленные. Обратите внимание, насколько отчетливо отражается яблоко, показанное слева на рис. 9.50, тогда как верхняя его часть (справа) сильно размыта.

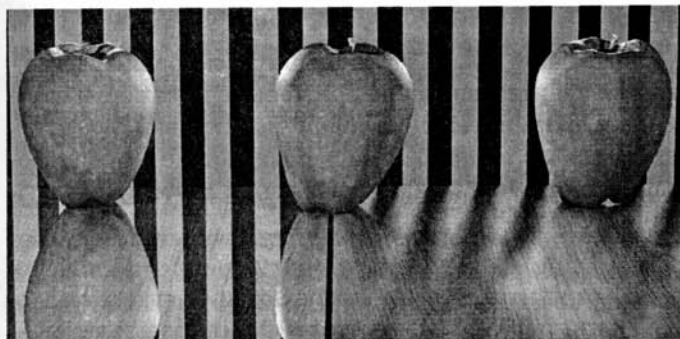


Рис. 9.50. Разные виды отражения: от стандартного (справа) до мягкого (слева). Мягкие отражения становятся более рассеянными на расстоянии и придают более естественный вид деревянной поверхности стола

Те же самые виды отражения света, которые относятся к основному затенению (см. рис. 9.1), воспроизводятся и при трассировке лучами отражений от других объектов. Мягкое трассированное лучами отражение получается *глянцевым*, тогда как стандартное трассированное лучами отражение — исключительно *зеркальным*. (Для полной аналогии со всеми четырьмя видами отражений, приведенными на рис. 9.1, потребуется воспроизведение рассеянного и смешанного отражения от других объектов с помощью алгоритма глобального освещения, рассматриваемого в последнем разделе этой главы.)

Эффекты мягкого отражения позволяют значительно повысить реализм сцены, визуализированной с трассировкой лучей, хотя и за счет существенного увеличения продолжительности визуализации. Для воспроизведения рассеянных лучей применяется тот же самый вид стохастической (произвольной) избыточной выборки, что и для трехмерной размытости движения, трассированной лучами глубины резкости и теней от поверхностных источников света, что также требует дополнительных вычислений. Многие избегают этого эффекта в силу его продолжительной визуализации и предпочитают визуализировать отражения отдельно, а затем добиваться их размывания на этапе видеомонтажа (более подробно рассматриваемого в главе 10) либо искажать трассированные лучами отражения с помощью карты рельефности на отражающей поверхности.

СОВЕТ

В качестве альтернативы трассированным лучами мягким отражениям можно воспользоваться следующим более эффективным приемом: ввести мелкую карту рельефности, искажающую не только отражения на поверхности, но и вид, наблюдаемый сквозь прозрачную поверхность, преломляющую свет.

ТЕНИ

Еще одной важной функцией трассировки лучей является визуализация теней. Как было показано в главе 4, тени, формируемые методом трассировки лучей, отличаются от теней, формируемых методом проецирования карты теней (или иначе карты глубин), следующим образом.

- Тени, формируемые методом проецирования карты теней, визуализируются быстрее, чем тени, формируемые методом трассировки лучей.
- Благодаря низкому разрешению карты теней получаются тени с мягкими краями. Для получения резких краев теней потребуется очень высокое разрешение карты теней, а значит, и дополнительный объем оперативной памяти и время визуализации.
- Прозрачные объекты, а также объекты с проецируемыми картами прозрачности могут отбрасывать прозрачные тени при трассировке лучей. А в большинстве реализаций карт теней степень прозрачности объекта вообще игнорируется. Большинство средств трассировки лучей (но не все) даже допускают передачу цветов окрашенных карт прозрачности в тенях, формируемых методом трассировки лучей.
- Мелкие детали более точно воспроизводятся в тенях, формируемых методом трассировки лучей.
- По умолчанию тени, формируемые методом трассировки лучей, имеют очень резко очерченные края.
- Когда тени, формируемые методом трассировки лучей, делаются более мягкими (как правило, с помощью поверхностного источника света), они получаются по-настоящему рассеянными, хотя и за счет увеличения продолжительности визуализации.

Более подробно тени рассматриваются в главе 4.

ПРОЗРАЧНОСТЬ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ

При воспроизведении прозрачности объектов возникает то же самое затруднение, что и при получении трассированных лучами отражений: окружающие объекты оказывают влияние на затенение. В совершенно

черном окружении прозрачная поверхность становится лишь еще темнее по мере увеличения степени прозрачности. Поэтому для того чтобы было видно, что объект прозрачный, позади него следует непременно разместить другой объект или фон.

Преломление представляет собой эффект трассировки лучей, вносящий искажение в изображение, наблюдаемое сквозь прозрачную поверхность. Преломление света поверхностью определяется так называемым *показателем преломления*. На рис. 9.51 показан объект, визуализированный при разных показателях преломления. При показателе 1 преломление отсутствует, и лучи прямо проходят сквозь объект. При увеличении или уменьшении показателя преломления соответственно изменяется и степень преломления. Для таких выпуклых поверхностей, как сферические, показатель преломления выше 1 означает увеличение преломляемого изображения как в увеличительном стекле, а показатель преломления ниже 1 — уменьшение преломляемого изображения.

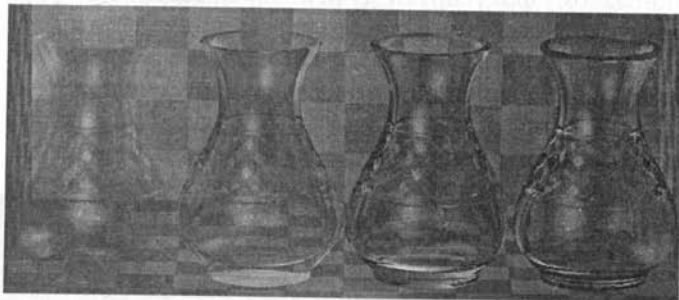


Рис. 9.51. Слева направо показаны вазы, визуализированные с показателем преломления 1,0 (т.е. без преломления), 1,04, 1,15 и 1,44 (для стекла). Прозрачность ваз не меняется, а черные края появляются справа исключительно в результате преломления в окружающей среде

В табл. 9.1 перечислены показатели преломления для наиболее распространенных материалов. Преломление происходит при поступлении света из одного материала в другой, например из воздуха в стекло либо наоборот. Поэтому величина показателя преломления определяется относительно двух материалов. В табл. 9.1 приведены показатели преломления для материалов, окруженных воздухом, за одним исключением. В строке “Воздух (из-под воды)” показатель преломления соответствует уровню поверхности воды, если смотреть вверх из-под воды в воздух, либо пузырькам воздуха, видимым под водой.

В табл. 9.1 перечислены величины показателя преломления, которые могут быть использованы в качестве

ТАБЛИЦА 9.1

ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Материал	Показатель преломления
Воздух (из-под воды)	0,75
Воздух (нейтральная среда)	1,00
Дым	1,02
Лед	1,30
Вода	1,33
Стекло	1,44
Кварц	1,55
Рубин	1,77
Хрусталь	2,00
Алмаз	2,42

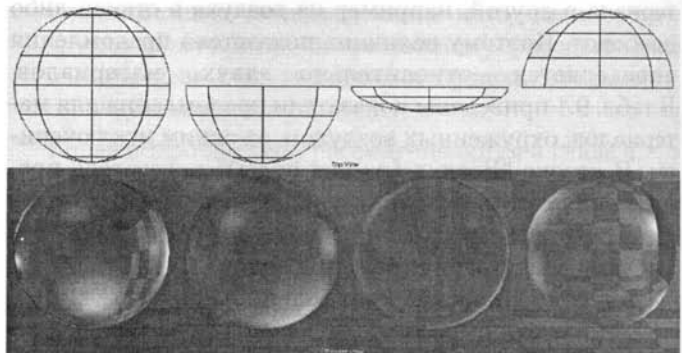
ве отправной точки и затем поправлены при оценке эффекта преломления на глаз. Поэтому прежде чем остановиться на конкретном показателе преломления, следует проверить эффект преломления на модели.

Подобно оптическим линзам, трехмерные модели по-разному фокусируют лучи в зависимости от их формы и пропорций. Для моделей, приведенных на рис. 9.52, выбран один и тот же показатель преломления (1,44), однако они по-разному фокусируют лучи в силу отличий в их форме. Выпуклость или вогнутость модели, а также наличие у нее одной либо передней и задней прозрачных поверхностей определяет совершенно разные условия преломления.

ГЛУБИНА ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ

При визуализации сцены с большим числом отражающих и преломляющих поверхностей существует риск заикливания средства визуализации, т.е. бесконечной трассировки лучей от одной поверхности к дру-

Рис. 9.52. Несмотря на один и тот же показатель преломления (1,44), модели различной формы дают разные эффекты преломления



гой. На илл. 9.6 приведена ситуация, когда зеркала на каждой из стен комнаты отражаются друг в друге. Для визуализации зеркала справа средством трассировки лучей приходится учитывать отражение левого зеркала, что, в свою очередь, требует расчета отражения правого зеркала в левом и опять отражения левого зеркала и т.д. А поскольку лучи света бесконечно отражаются в зеркалах, трассировка сцены лучами может продолжаться до бесконечности.

Для того чтобы трассировка лучей была выполнена в течение конечного периода времени, приходится ограничивать *глубину трассировки лучей (raytrace depth)*, называемую также *глубиной луча (ray depth)*, *глубиной трассировки (trace depth)* или *рекурсией луча (ray recursion)*. При этом ограничивается число отражений луча от поверхностей. Помимо отражений, глубина трассировки лучей ограничивает также расчеты прозрачности, а иногда и теней. Так, при глубине трассировки лучей 1 одни отражения не видны в других, а видны только сквозь одну прозрачную поверхность. Большая глубина трассировки лучей требуется в том случае, если необходимо видеть сквозь несколько прозрачных поверхностей. На рис. 9.53 показан результат выбора разной глубины трассировки лучей для воспроизведения прозрачности и преломления методом трассировки лучей.

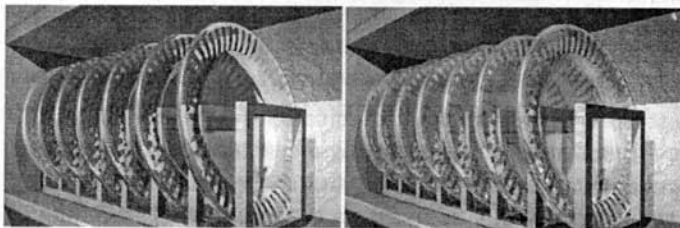


Рис. 9.53. При глубине трассировки лучей 2 (слева) сквозь вторую тарелку уже ничего не видно, тогда как при глубине трассировки лучей 8 (справа) можно видеть сквозь все тарелки

В разных программах глубина трассировки лучей контролируется по-разному. Поэтому во многих программах число допустимых отражений и преломлений указывается отдельно. В некоторых средствах трассировки лучей допускается локальная установка глубины трассировки лучей для каждого оттенителя, а также глобальная установка для всей визуализируемой сцены в целом. Иногда глубина залегания теней, определяющая видимость теней сквозь прозрачные поверхности и в отражениях, устанавливается отдельно в источнике света и оттенителе. Несмотря на указанные отличия

в элементах управления глубиной трассировки лучей, для ее настройки можно руководствоваться следующими общими рекомендациями.

- При трассировке лучами сцены с большим числом отражающих или преломляющих поверхностей отключение глубины трассировки лучей позволяет значительно ускорить процесс визуализации.
- Если можно подсчитать число прозрачных поверхностей, через которые должен пройти луч во время визуализации, значит, глубину трассировки лучей следует установить, по крайней мере, на единицу больше, чем это число.
- Внутри объектов из стекла или хрустала нередко происходит взаимное отражение света от боковых поверхностей, однако число таких отражений должно быть не больше двух. Для подобных объектов следует уменьшить глубину трассировки лучей до 2 или 1.
- Если в результате пробной визуализации обнаруживаются какие-либо недостатки, например отсутствующие тени или отражения за пределами прозрачного стекла, эти недостатки могут быть устранены путем повышения глубины трассировки лучей.
- Черные участки, появляющиеся там, где должно наблюдаться отражение или преломление, служат еще одним признаком того, что необходимо повысить глубину трассировки лучей.

В остальных случаях можно оставить без изменения устанавливаемую по умолчанию глубину трассировки лучей, чтобы она не оказывала существенного влияния на визуализацию сцены. Так, если в сцене отсутствует отражение или преломление, а глубина трассировки лучей не вносит никаких ограничений, она не будет оказывать влияния на продолжительность визуализации.

ГЛОБАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Глобальное освещение (*global illumination*) — это такое освещение, при котором принимается во внимание свет от других объектов, в отличие от *локального освещения* (*local illumination*), при котором свет от других объектов во внимание не принимается. В реальной

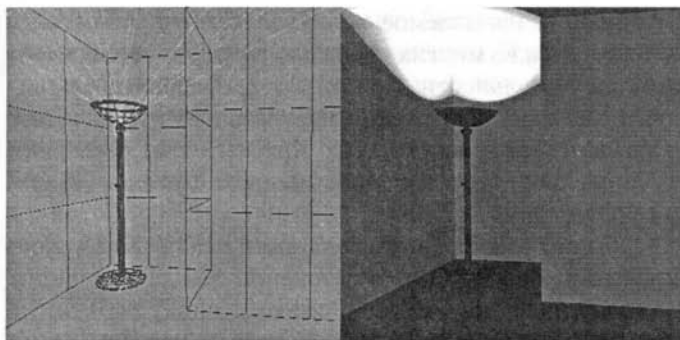


Рис. 9.54. Результат неудачного освещения, при котором свет падает на потолок и не отражается для освещения остальной части комнаты

жизни объекты могут быть освещены отраженным светом от других поверхностей, а не прямым светом от источника. Например, если яркий источник света нацелить на потолок комнаты, отраженный от потолка свет будет косвенно освещать пол и стены.

На рис. 9.54 показана трехмерная сцена, где свет, направленный на потолок, должен мягко освещать остальную часть комнаты. Однако обычное средство визуализации или трассировки лучей (без функций рассматриваемого здесь глобального освещения) визуализирует освещенным только потолок и яркую верхнюю часть стен, а остальная часть комнаты останется темной.

Более реалистичный результат приведен на рис. 9.55, где показана та же самая сцена, визуализированная на сей раз при активизированном глобальном освещении в средстве визуализации.

Существуют разные методы глобального освещения, в том числе метод излучательности, фотонное проецирование и каустика. Аналогичных результатов можно также добиться, имитируя вручную освещение методом излучательности.

МЕТОД ИЗЛУЧАТЕЛЬНОСТИ

Метод излучательности (*radiosity*) представляет собой метод визуализации отраженного света, при котором свет распространяется между поверхностями благодаря рассеянному отражению цвета этих поверхностей. Излучательность может быть рассчитана по-степенно, чтобы свет мог отражаться столько, сколько требуется для создания довольно точной имитации настоящего освещения. Число отражений при постепенном методе излучательности ограничивается лишь временем, допустимым для расчета излучательности.

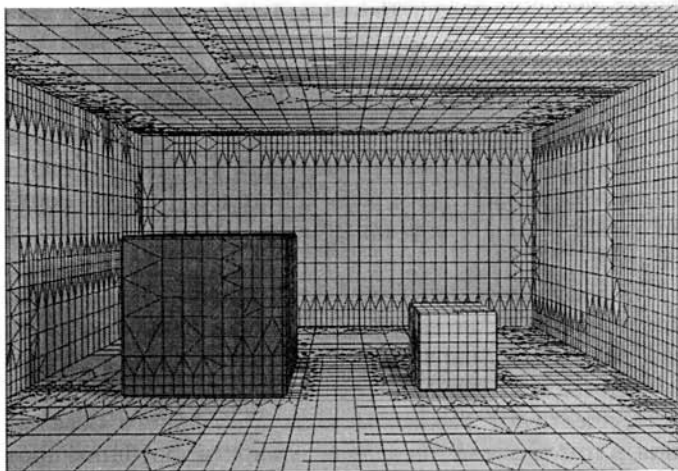


Рис. 9.55. Благодаря активизации глобального освещения в средстве визуализации правильно воспроизводится освещение отраженным светом (сцена визуализирована при глобальном освещении методом фотонного проецирования, которое поясняется далее в этой главе)

Явление, называемое *окрашиванием* (*color bleeding*), наблюдается во многих сценах, визуализируемых методом излучательности. На илл. 9.7 приведена сцена, визуализированная методом излучательности, где свет отражается от красного куба. Красный цвет рассеяния куба распространяется в отраженном свете на остальные поверхности сцены.

Обычно расчет излучательности заключается в сохранении информации о затенении каждой вершины находящихся на сцене полигональных объектов. На рис. 9.56 приведена сцена, подразделенная во время расчета излучательности. В этой сцене введены дополнительные вершины там, где требуется большая детализация затенения, например на краях теней или на участках подсветки.

Рис. 9.56. Полигональные каркасы подразделены в Lightscape в зависимости от контраста сцены



Недостаток данного метода состоит в том, что разрешение геометрической формы тесно связано с разрешением рассчитываемого глобального освещения. Поэтому быстро рассчитать приблизительное освещение сцены с большим числом многоугольников не так-то просто. Излучательность и подразделение геометрической формы столь же трудно поддается перерасчету в каждом кадре анимационной последовательности, если основные объекты перемещаются по сцене.

ФОТОННОЕ ПРОЕЦИРОВАНИЕ

Еще одним методом расчета отраженного света является *фотонное проецирование* (*photon mapping*). Те же самые результаты, которые получаются при расчете

обычной излучательности, могут быть визуализированы методом фотонного проецирования. При фотонном проецировании создается отдельный тип данных (так называемая *фотонная карта (photon map)*) для хранения результатов расчета глобального освещения, причем разрешение глобального освещения методом фотонного проецирования не зависит от разрешения геометрической формы.

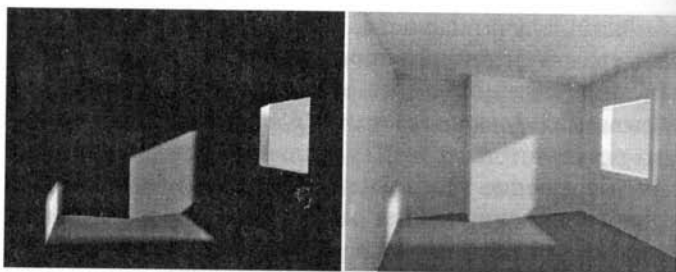
Существует следующее довольно пространное определение метода излучательности как "принципа визуализации для расчета рассеянного отражения света и цвета от поверхностей на сцене". Исходя из этого функционального определения, фотонное проецирование можно назвать разновидностью метода излучательности. Однако многие специалисты в области вычислительной техники связывают понятие излучательности с конкретными алгоритмами, а фотонное проецирование называют "альтернативой методу излучательности". В связи с этим при рассмотрении всех этих методов расчета отраженного света лучше пользоваться более общим термином *глобальное освещение*.

Для получения более точного освещения методом фотонного проецирования можно увеличить число фотонов, излучаемых источником света. А для ускорения процесса визуализации это число может быть уменьшено. На илл. 9.8 приведена сцена, визуализированная при малом числе фотонов без какой-либо интерполяции. Отдельные фотоны, отражающиеся по всей сцене, представлены раскрашенными точками, рассеянными по каждой поверхности визуализированной сцены. При этом фотоны, отражающиеся от красного куба, становятся красными, окрашивая в этот цвет ближайшие поверхности, освещенные их отраженным светом.

Число фотонов в сцене на илл. 9.8 специально выбрано для наглядного представления принципа действия средства визуализации. Обычно отдельные фотоны не видны, и поэтому по окончательно визуализированному изображению трудно судить, было ли использовано при его визуализации фотонное проецирование или обычный метод излучательности.

Фотонное проецирование является простым односложным методом введения отраженного освещения в сцену. Исходя из единственного источника прямого света (слева на рис. 9.57), программа визуализации

Рис. 9.57. Сцена без глобального освещения (слева) и с активизированным глобальным освещением (справа) после визуализации в Mental Ray



способна рассчитать все отраженное освещение для получения окончательно визуализированного варианта сцены (справа на рис. 9.57).

КАУСТИКА

В начале этой главы были упомянуты два разных способа отражения света от поверхности: рассеянное и зеркальное отражение. Оба вида отражения могут быть полностью воспроизведены с помощью глобального освещения. Как правило, рассеянное отражение света воспроизводится методом излучательности, а смешанное (в том числе и зеркальное) — методом фотонного проецирования.

Результат распространения зеркально отраженного света называется *каустикой* (*caustics*). Каустика более всего известна по рисункам мерцающего света на стенках и дне плавательного бассейна (рис. 9.58). Но на самом деле к каустике относится более обширная категория эффектов, а не только мерцающий свет, отражающийся от воды.

Каустика является не методом визуализации или особым алгоритмом, а лишь описанием эффекта. Подобно тому, как окрашивание является результатом распространения рассеянного света, каустика — это результат распространения зеркально отраженного света. Фотонное проецирование представляет собой метод расчета каустики, хотя по мере того, как в программах будет расширяться поддержка визуализации, возможно появление и других методов расчета каустики.

Каустика зачастую оказывается самой яркой и наиболее заметной частью отраженного света в сцене, и поэтому она иногда используется в качестве самостоятельного эффекта без активизации полного глобального освещения. На рис. 9.59 приведены примеры нескольких эффектов каустики, включая распространение отраженного и преломленного света.

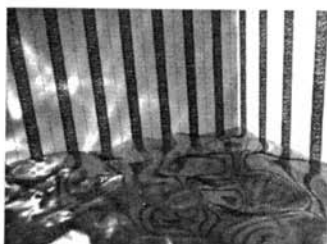


Рис. 9.58. Рисунки отраженного от воды света относятся к самым известным примерам каустических эффектов, хотя их проще всего сымитировать без визуализации настоящей каустики

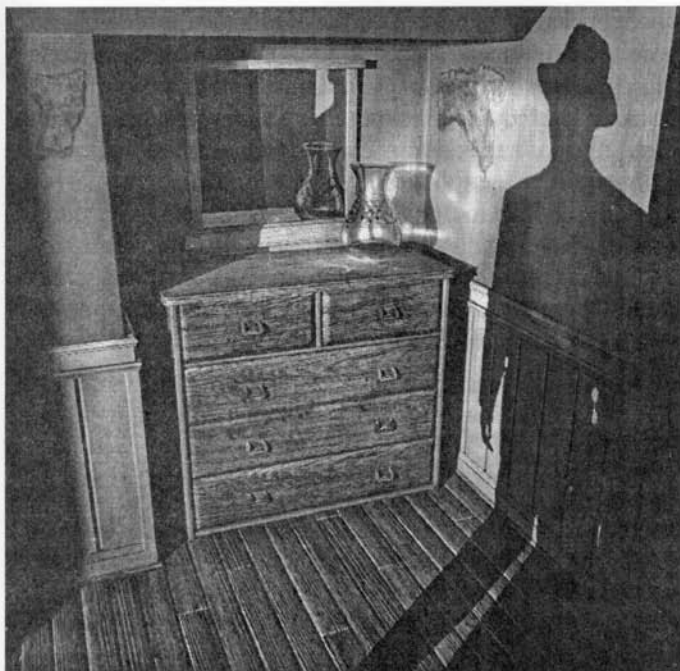


Рис. 9.59. Каустика используется для имитации света, отраженного от зеркала и преломленного вазой

На рис. 9.60 более детально показаны эффекты каустики в данной сцене. Свет, отраженный от зеркала и вазы на верхней стороне комода, а также преломленный в стеклянной вазе, получен благодаря каустике.

При расчете каустики учитывается остающийся сфокусированным, а не рассеянный свет, благодаря чему упрощается задача расчета каустики по сравнению с расчетом полного глобального освещения, а значит, визуализация каустики выполняется быстрее, чем визуализация полного глобального освещения. Время визуализации большинства эффектов каустики приблизительно равно дополнительному времени, которое

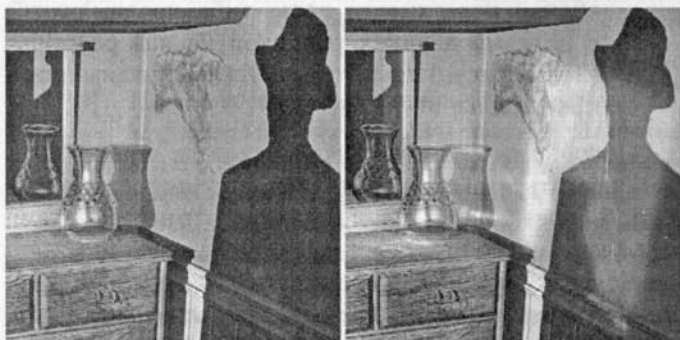


Рис. 9.60. Обычное трассированное лучами изображение (слева) не содержит каустики. Дополнительно введенная каустика (справа) создает реалистичные отблески света от зеркала и вазы

требуется для визуализации таких эффектов трассировки лучей в трехмерной сцене, как отражение света от зеркала и его преломление в вазе. С другой стороны, полное глобальное освещение может намного увеличить продолжительность визуализации по сравнению с обычной трассировкой лучей. В связи с этим каустику целесообразно применять более широко, чем полное глобальное освещение.

Едва приступив к изучению эффектов каустики, можно сразу же обнаружить повсеместное ее присутствие в реальном мире.

- Свет, преломленный линзами объектива, увеличительным стеклом или призмой, дает эффект каустики. Нередко каустика наблюдается на поверхности стола в результате преломления света стоящими на нем бокалами и бутылками.
- Лучи света, отраженные от зеркала, также дают эффект каустики. Это же относится и к отблескам света, отраженного от вращающегося блестящего шара в дискотеке.
- Любая блестящая или зеркальная поверхность создает эффекты каустики, когда на нее падает яркий свет. В солнечный день хромированный бампер автомашины или окно здания формирует каустический рисунок на земле.
- Проецируемые рисунки от источников света с отражателями, включая фонарики и автомобильные фары, перемежаются каустическими рисунками отраженного света. (В трехмерной графике этот эффект обычно воспроизводится более эффективно путем наложения карты на источник света.)
- Каустические рисунки отражаются на стенах вблизи поверхности воды либо преломляются в виде мерцающих рисунков на дне бассейна. (Такие рисунки могут быть также созданы путем проецирования текстур.)

Подобно трассировке лучей, каустика может слишком бросаться в глаза, если используется чрезмерно. А при более тонком сочетании с другими эффектами она значительно повышает качество освещения.

Каустику можно рассматривать в качестве неполноценного, неверного освещения, поскольку она носит

более разбросанный и фрагментарный характер, чем прямой свет от источника или рассеянное освещение. Эффекты распространения света между объектами способны придать окружающей обстановке больший реализм, чем одно лишь прямое освещение.

ИМИТИРУЕМАЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОСТЬ

Если отсутствует программная поддержка или время для визуализации проекта с настоящим глобальным освещением, но при этом требуется добиться аналогичного эффекта, сцена может быть освещена в стиле так называемой имитируемой излучательности.

Имитируемая излучательность (simulated radio-sity) — это процесс ввода дополнительных источников заливающего света в сцену для имитации отраженного света на тех участках, где он должен присутствовать. Поэтому источники заливающего света иногда еще называются источниками отраженного света.

Допустим, что основным источником света в комнате является солнечный свет, проникающий в окно. Как следует из верхнего изображения на рис. 9.61, прямого солнечного света явно недостаточно для освещения комнаты. Три последующих изображения на рис. 9.61 иллюстрируют результат ввода в сцену дополнительных источников отраженного света.

Первый источник отраженного света вводится под полом. Это точечный источник света, окрашенный красным для отражения цвета пола. В отсутствие теней он может светить сквозь пол, освещая комнату снизу. Данный точечный источник света размещается непосредственно под участком пола, на который падает солнечный луч, как показано на рис. 9.62.

Второй и третий источники отраженного света (также показанные на рис. 9.62) представляют собой прожекторы, светящие снаружи сквозь стены. Один из них находится за задней стеной в том месте, где солнечный

Рис. 9.61. Имитируемая излучательность. Начиная с источника направленного света, имитирующего солнечный свет (верхнее изображение), и источника заливающего света (второе изображение сверху), процесс имитации излучательности включает в себя также ввод дополнительных источников отраженного света под полом (среднее изображение) и за стенами (два нижних изображения) для получения эффекта отраженного света

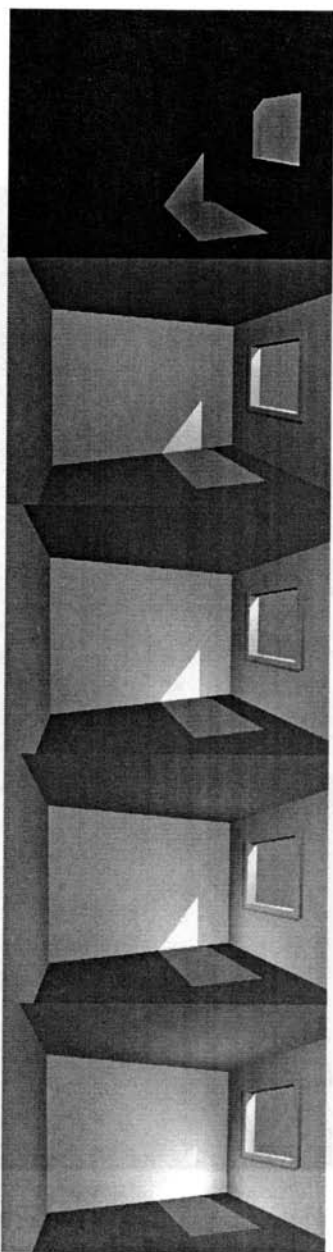
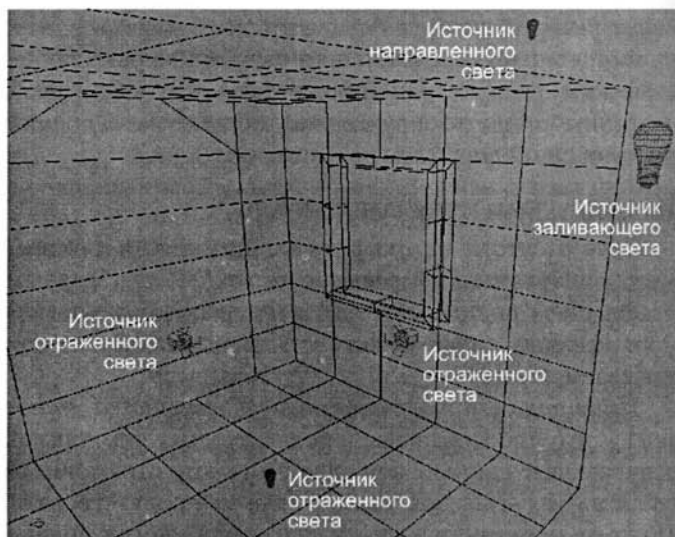


Рис. 9.62. Источники отраженного света, введенные под пол и за стенами, имитируют освещение отраженным светом

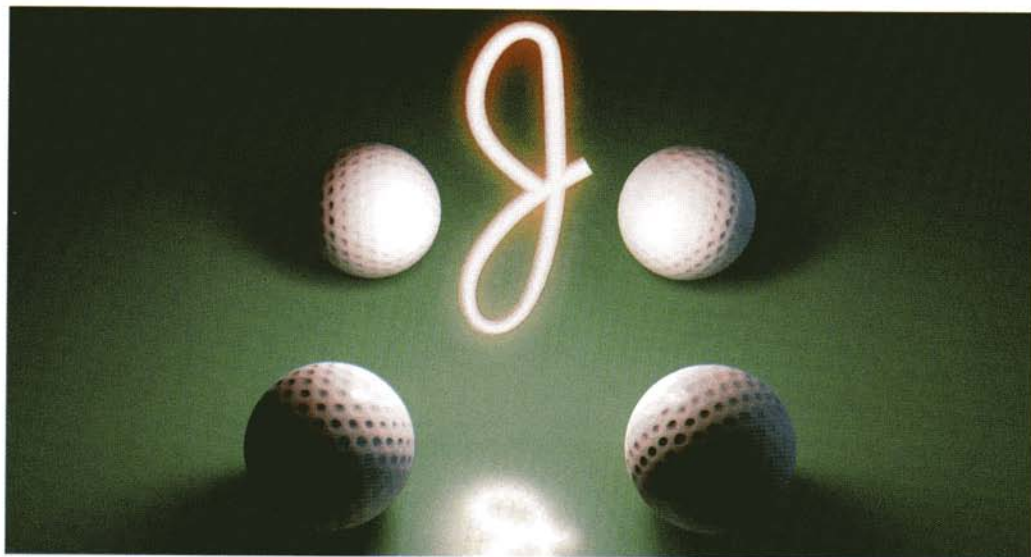


луч падает на эту стену. А второй находится за внешней стеной с окном для имитации света, отраженного от этой стены, а также от наружного подоконника. При вводе источников отраженного света, подобных рассмотренным выше, можно руководствоваться следующими рекомендациями.

- Источники отраженного света должны быть всегда настроены на затухание или ослабление на расстоянии, чтобы излучать самый яркий отраженный свет вблизи поверхности, хотя они неизбежно повышают освещенность противоположной стены или потолка.
- Источники отраженного света обычно не должны формировать тени. Благодаря исключению теней от этих источников света ускоряется их визуализация, а кроме того, они могут светить сквозь пол и стены.
- Источники отраженного света не должны формировать зеркальные подсветки. Они должны создавать лишь рассеянное освещение объектов, поскольку плотно сосредоточенные зеркальные подсветки могут обнаружить местоположение источника отраженного света вместо имитации света от освещенного участка.
- В качестве источников отраженного света лучше всего подходят прожекторы, ибо они могут быть



Илл. 1.1. Эффекты освещения трехмерной визуализированной сцены



Илл. 2.1. С помощью самостоятельно созданной модели можно получить источник света специальной формы



Илл. 2.2. Ложные цвета упрощают определение влияния каждого источника света на освещение всей сцены



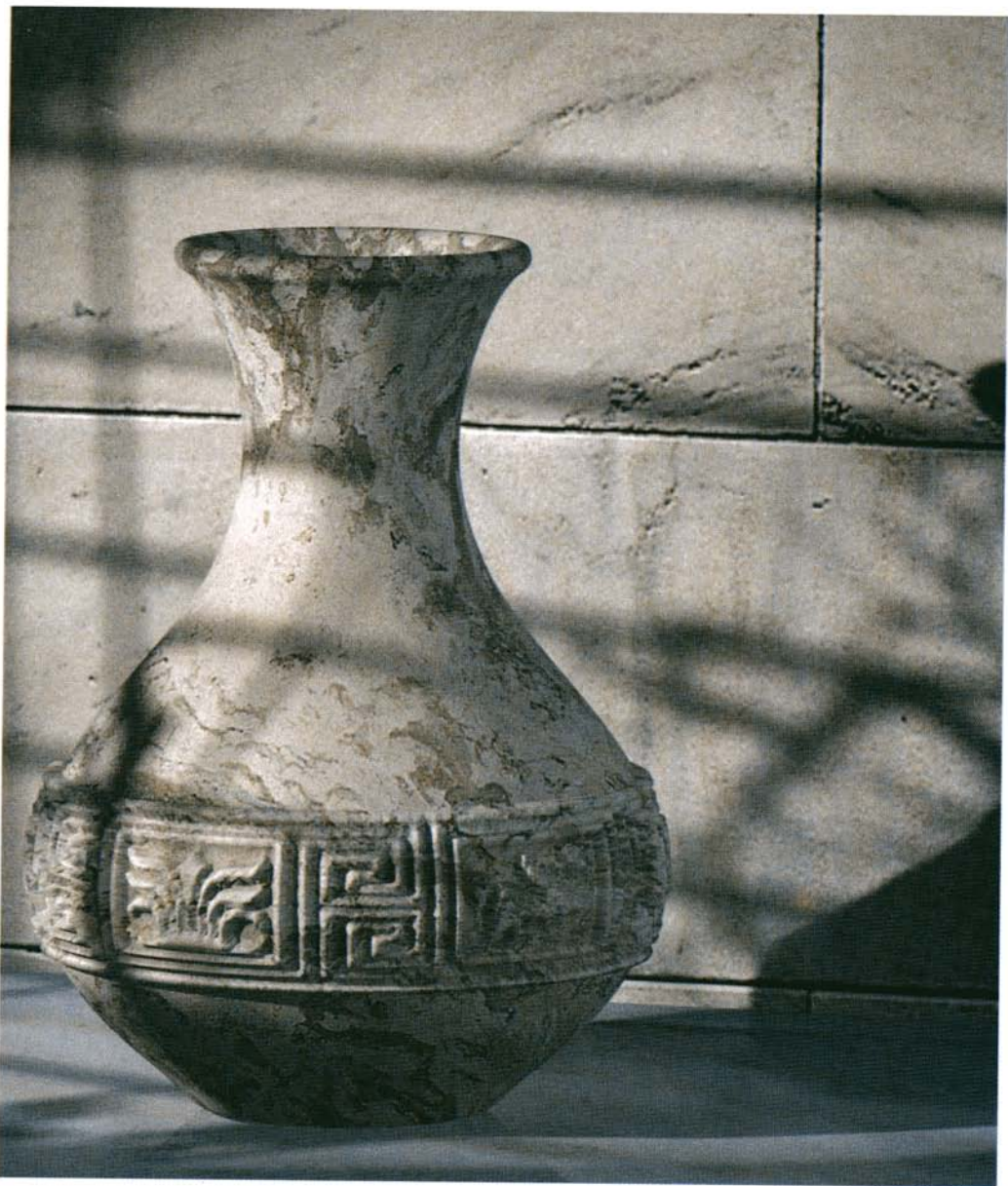
Илл. 2.3. Затенение улучшается благодаря текстурам и картам, имитирующим грязь и царапины



Илл. 3.1. Изображение "Натюрморт с растением-пауком" Джереми А. Инглмена (Jeremy A. Engelman) визуализировано с малым соотношением направленного и заливающего света



Илл. 3.2. Большое соотношение направленного и заливающего света означает большой контраст между светлыми и темными участками сцены



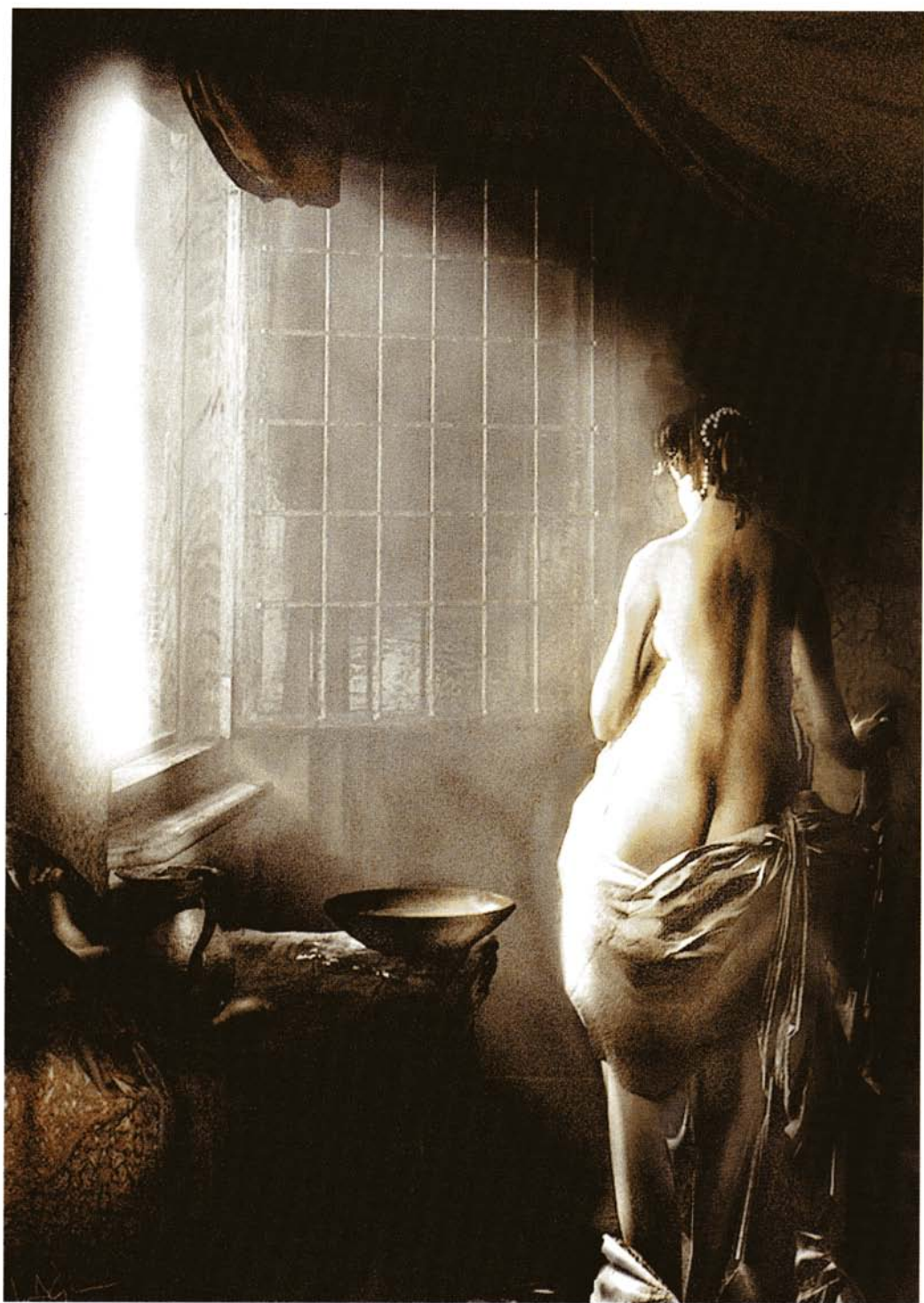
Илл. 4.1. Тени



Илл. 4.2. Тени помогают объединить несовместимые элементы



Илл. 5.1. Свойства света



Илл. 5.2. Изображение “Купальщица”, визуализированное Джереми А. Инглменом (art.net/~jeremy)



Илл. 5.3. Иная окраска дневного света указывает на выход из станции метро в город



Илл. 5.4. Пятнистый проецируемый рисунок создает впечатление, будто солнечный свет проникает сквозь ветви деревьев



Илл. 5.5. Полосатый проецируемый рисунок позволяет подчеркнуть контуры трехмерной формы



Илл. 6.1. На цветовом круге (слева) используются не такие основные и дополнительные цвета, как в компьютерной графике (справа)



Илл. 6.2. При аддитивном смешении основных цветов в равных пропорциях получается белый цвет освещения



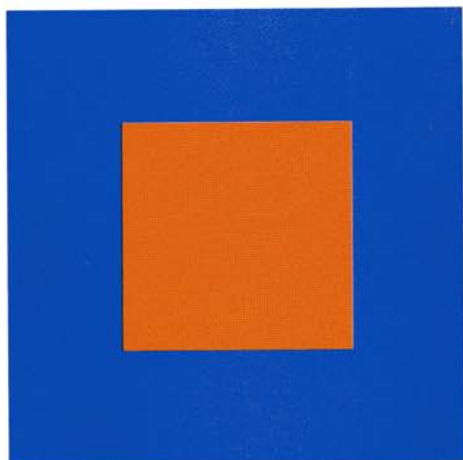
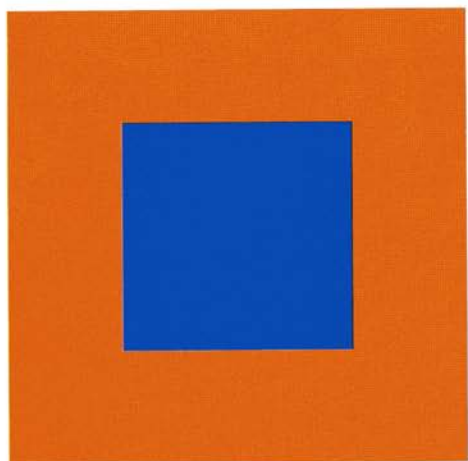
Илл. 6.3. Слишком насыщенный цвет (слева) может выглядеть не вполне реалистично



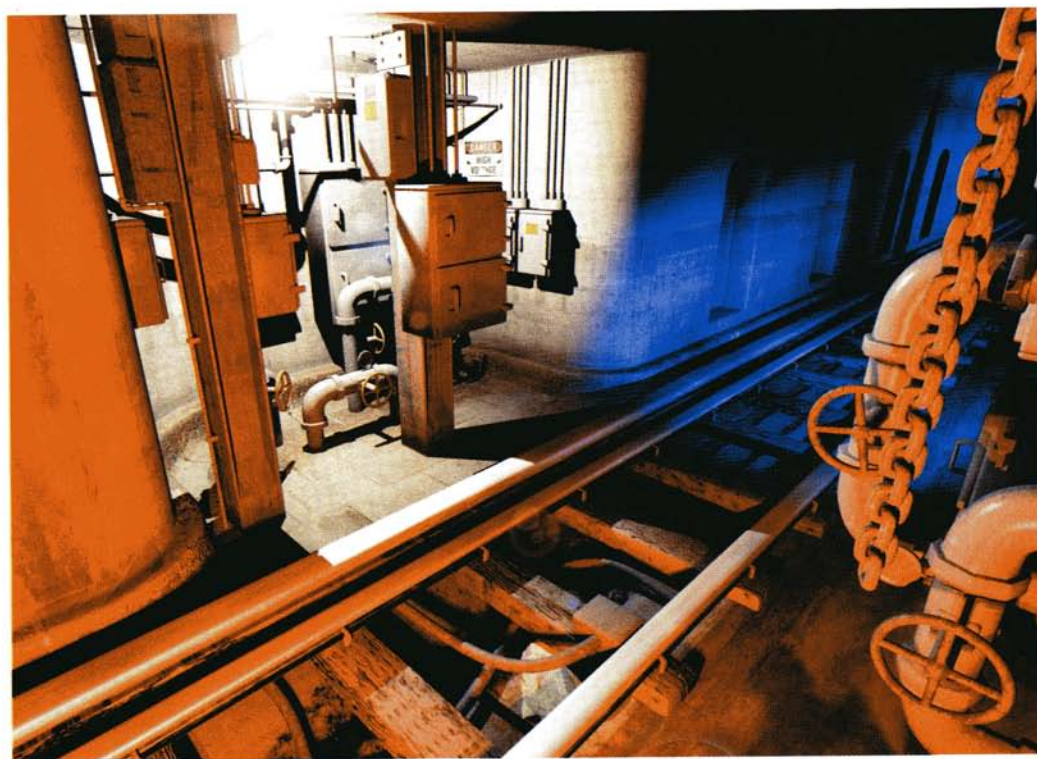
Илл. 6.4. Цветовая схема способствует созданию единой композиции. Автор сцены Хорхе Р. Гутьеррес (Jorge R. Gutierrez) (www.mexopolis.com)



Илл. 6.5. В изображении “Шут” Лонни Бэйли (Lonnie Vailly) устойчивая цветовая схема образуется из ограниченной палитры цветов



Илл. 6.6. При прочих равных условиях красный квадрат кажется расположенным ближе, чем синий



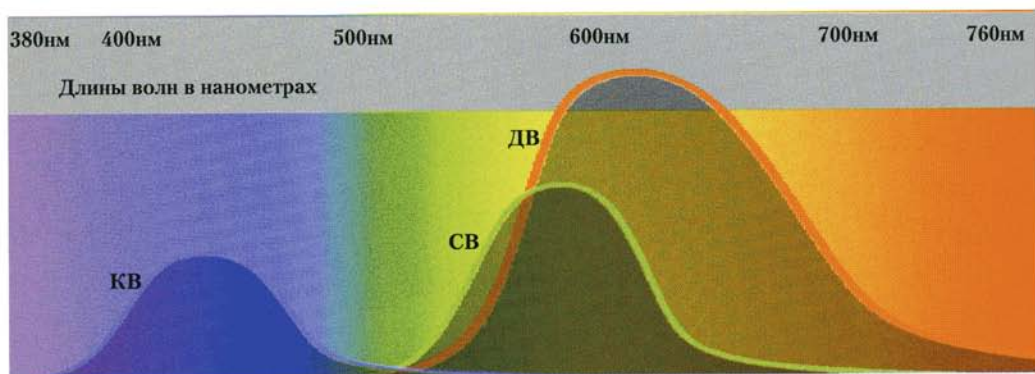
Илл. 6.7. Участки, освещенные красным светом, выдвигаются на передний план



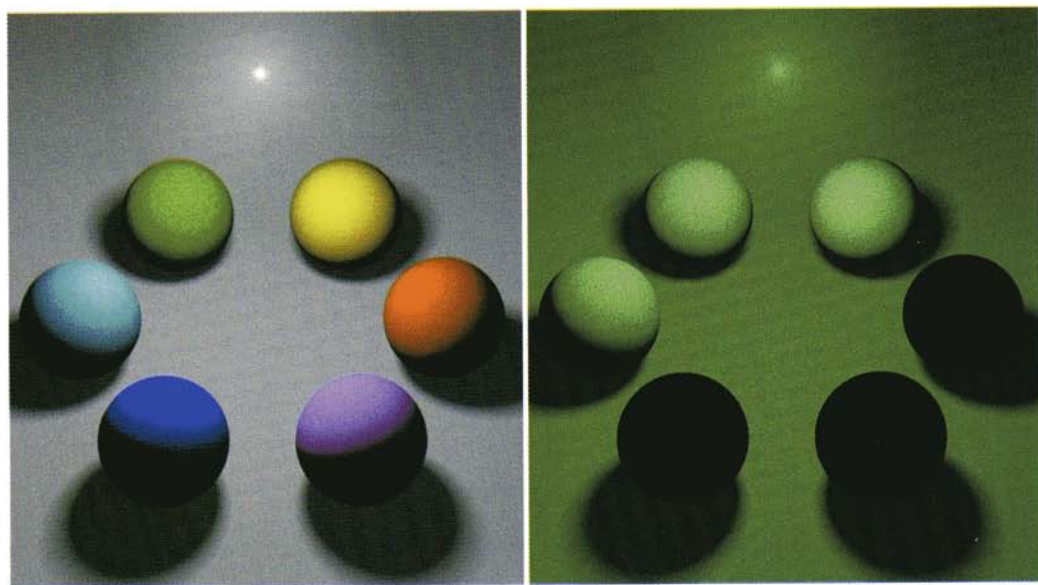
Илл. 6.8. Более насыщенные зеленые тона выдвинуты на передний план в изображении “Тропический поток” Лонни Бэйли



Илл. 6.9. Голубой заливающий свет обеспечивает освещение сцены, сохраняя при этом ощущение темноты. Автор сцены Хорхе Р. Гутиэррес (www.mexopolis.com)

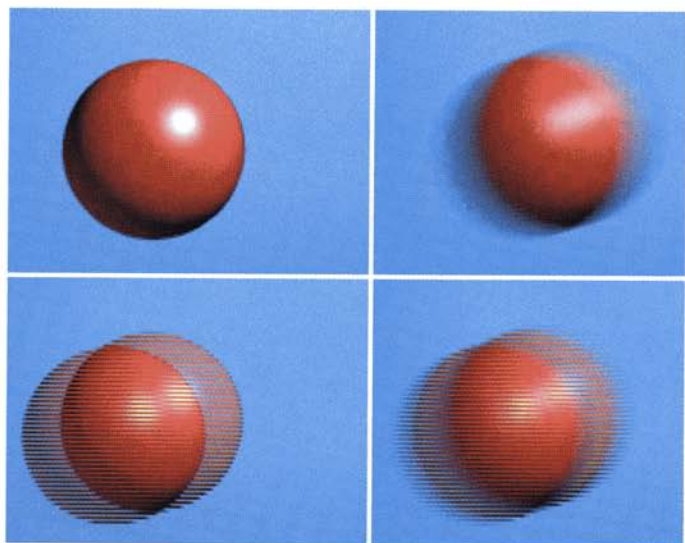


Илл. 6.10. Для восприятия цвета человеческий глаз сравнивает силу света на трех участках видимой области спектра

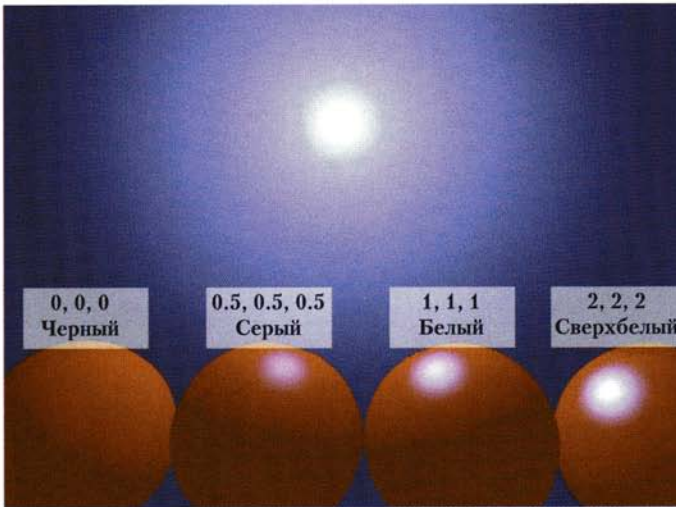


Илл. 6.11. Чистый цвет RGB освещения способен придать сцене совершенно нереальный вид

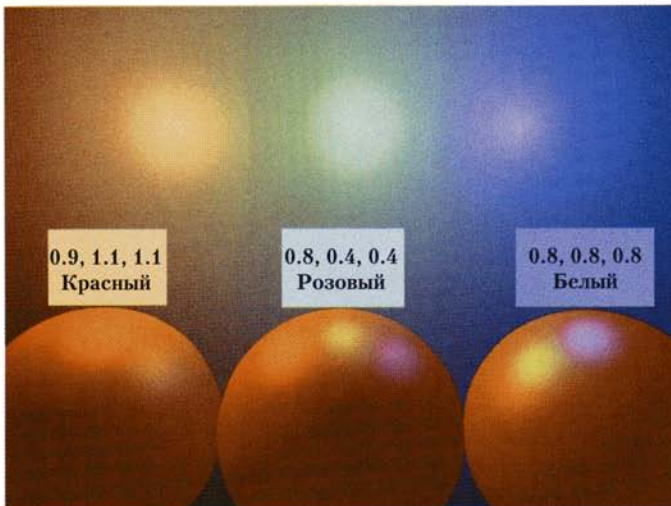
Илл. 7.1. Анимация объекта без размытости движения или визуализации полей (слева сверху) кажется статичной. Справа показан тот же объект, визуализированный с добавленной размытостью движения, а внизу — с полевой разверткой



Илл. 8.1. При съемке через плечо один персонаж показывается лицом к камере, а другой — спиной к ней для удобства установления связи между ними



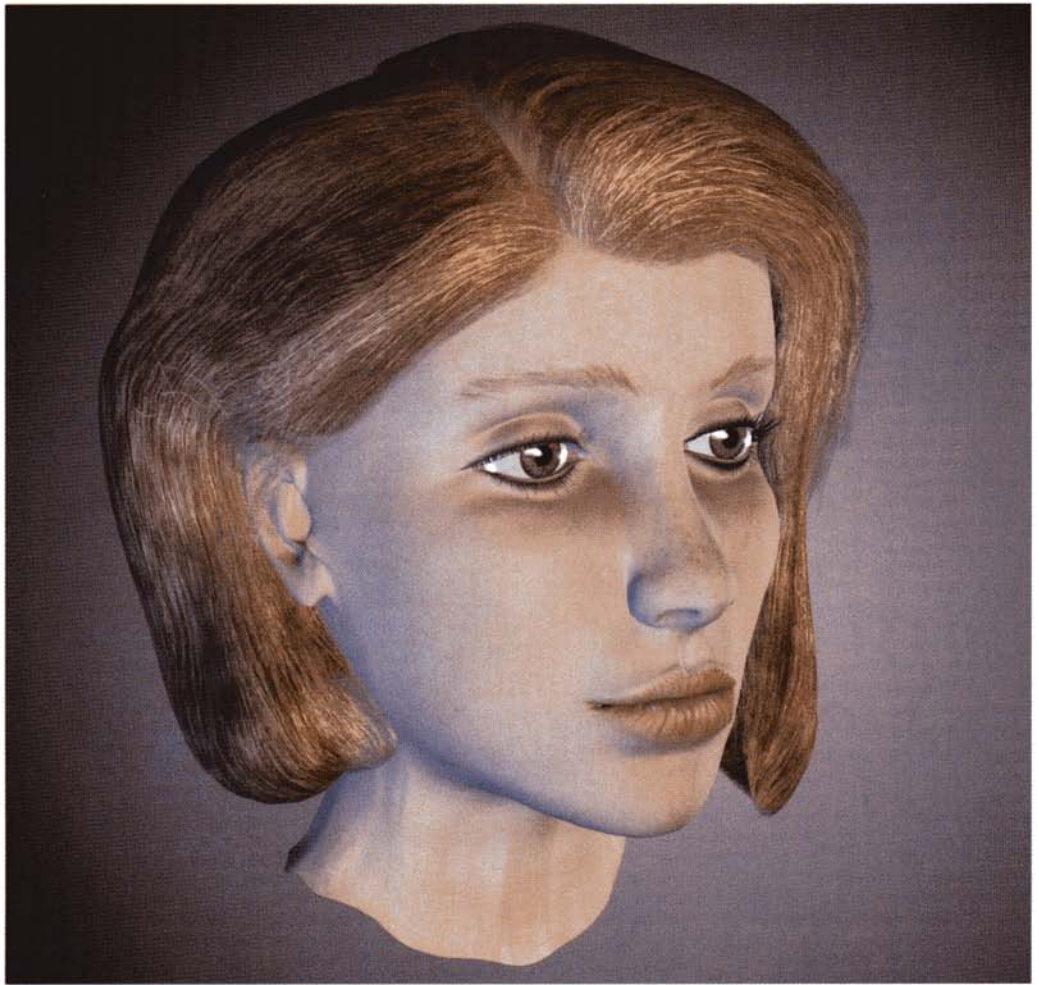
Илл. 9.1. Нейтрально-серый зеркальный цвет является результатом отражения света, исходящего от источников с разной окраской, и естественного смешения с цветом рассеивающей поверхности в области подсветки



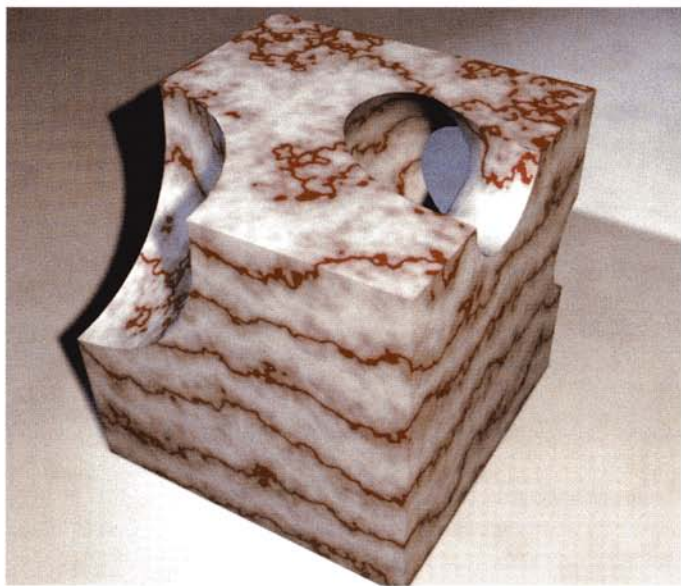
Илл. 9.2. При насыщенных зеркальных цветах (например, красный на сфере слева) отражается в основном свет аналогичной окраски, тогда как при менее насыщенных (посредине) и ненасыщенных зеркальных цветах (справа) отражается также свет другой окраски



Илл. 9.3. Раскрашенные вручную карты текстур сохраняют иллюстративный стиль фантастической сцены. Изображение “Небольшое отдаленное поселение” было создано Эни Окен (Eni Oken) (www.oken3d.com) в 3ds max, а размытость на удалении, туманность, блики и свечения были получены с помощью Cebas Professional Optic Suite



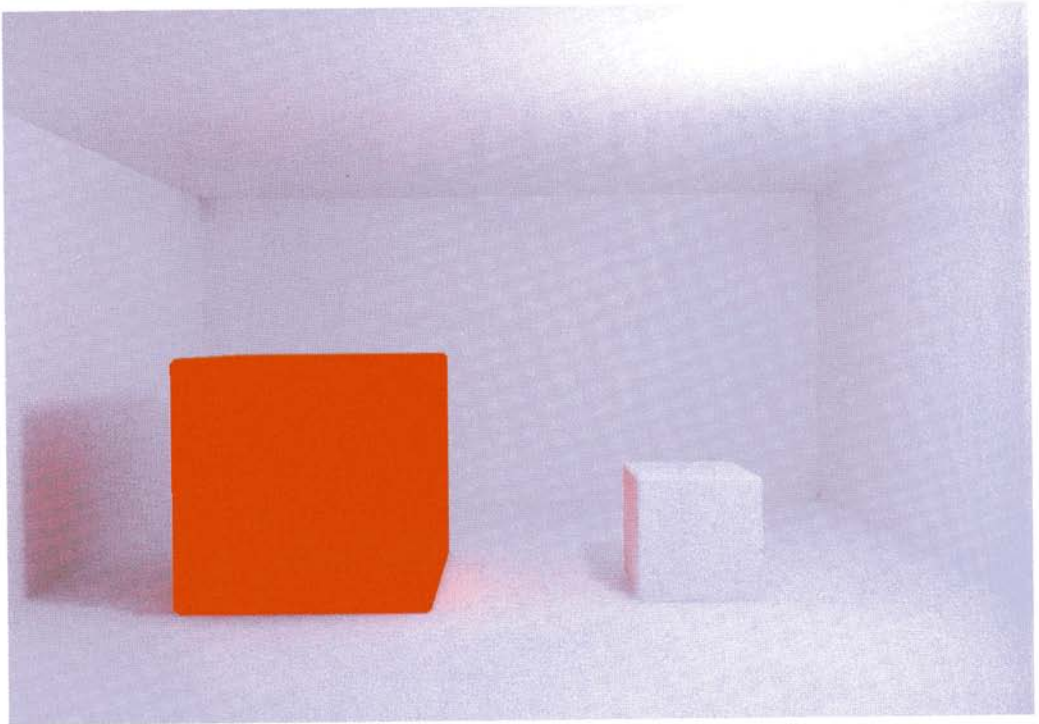
Илл. 9.4. Благодаря пропорциональному проецированию волосы пролегают вдоль кривых геометрической формы этой модели



Илл. 9.5. Сплошная текстура равномерно охватывает все поверхности, когда они пересекают пространство текстуры



Илл. 9.6. Обращенные друг к другу зеркала могут стать причиной бесконечной трассировки лучей



Илл. 9.7. В сцене, освещенной методом излучательности в Lightscape, проявляется окрашивание остальных поверхностей красным цветом куба



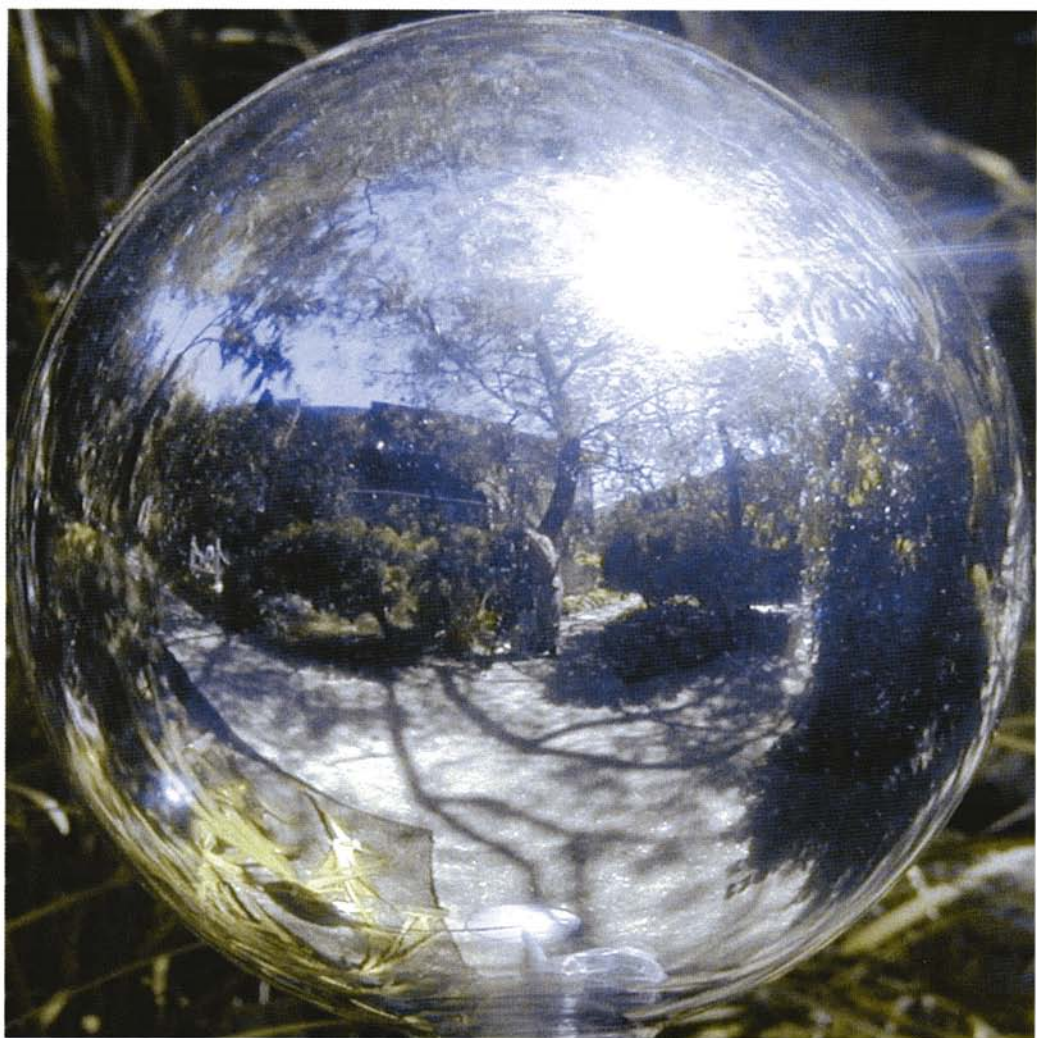
Илл. 9.8. Точность глобального освещения методом фотонного проецирования зависит от числа фотонов, отражающихся от поверхностей. Все точки в этой сцене представляют собой фотоны — в ней отсутствуют проецируемые текстуры



Илл. 10.1. Сцена-пример, скомпонованная из изображения космического корабля на переднем плане (приведенного на рис. 10.2) и фонового окружения (представленного на рис. 10.1)



Илл. 10.2. Трехмерное отражение, нанесенное на реальную поверхность воды



Илл. 10.3. Зеркальный шар, на котором фиксируется отраженное изображение окружающей среды, может быть использован в качестве образца либо для создания карты отражения



Илл. 10.4. Карта отражения, полученная из зафиксированного изображения зеркального шара, позволяет согласовать отражения на трехмерном объекте с окружающей средой

настроены и нацелены в том направлении, в котором свет должен отражаться от поверхности.

Чем проще геометрическая форма сцены, тем проще имитируется излучательность. Каждый лишний объект, поверхность и угол требуют дополнительных источников отражающего света для создания реалистичного освещения, причем количество таких источников возрастает по экспоненциальному закону. Поэтому наиболее эффективный подход состоит в том, чтобы сосредоточить основное внимание на наиболее ярких и заметных участках сцены, введя на них освещение отраженным светом. Добившись приемлемого вида, следует остановиться на достигнутом, даже если на ряде небольших участков отраженный свет имитируется отнюдь не идеально.

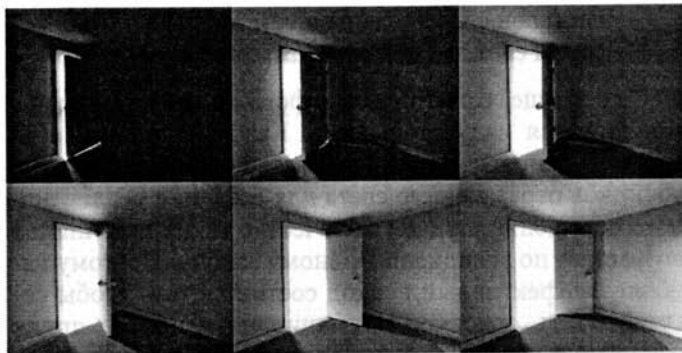
ГЛОБАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И АНИМАЦИЯ

Методы глобального освещения, позволяющие вводить свет в рассеянное затенение моделей, являются видонезависимыми. Это означает, что сохраняемый результат расчета такого освещения может быть использован при разных углах расположения камеры, по-прежнему повышая реализм сцены.

Наиболее распространенным, характерным примером применения обычного метода излучательности служит реалистичное освещение и визуализация архитектурных пространств. Что касается анимации, то для предварительного визуального представления конструкции здания архитекторам обычно требуется лишь показ этой конструкции с высоты птичьего полета камерой, перемещающейся в пространстве, причем объекты и источники света не должны перемещаться. Поэтому результаты однажды выполненного расчета излучательности, сохраненные для каждой вершины геометрической формы, могут быть затем использованы в каждом кадре анимационной последовательности.

Результаты расчетов фотонного проецирования также сохраняются, поэтому рассчитанная однажды фотонная карта может быть неоднократно использована в каждом кадре анимации. Однако для полноценной анимационной последовательности, в которой перемещаются несколько камер, возможно, потребуются дополнительное время на перерасчет фотонной карты в каждом кадре анимации.

Рис. 9.63. В простой анимации распахивающейся настежь двери с помощью глобального освещения создается сложный и тонкий анимационный световой эффект. (Если требуется увидеть приведенные здесь кадры в движении, то файл анимационного фильма доступен для просмотра в оперативном режиме по адресу 3dRender.com/light/bluedoor.mov.)



Несмотря на то что перерасчет фотонной карты в каждом кадре анимации увеличивает продолжительность визуализации, в итоге могут быть получены замечательные взаимодействующие эффекты освещения между объектами. Пример таких эффектов приведен на рис. 9.63, где показаны ключевые кадры анимации распахивающейся настежь двери, причем освещение комнаты изменяется по мере проникновения света через открывающуюся дверь.

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО МЕТОДА

Методы глобального освещения представляют собой эффективные инструментальные средства реалистичного освещения, поскольку они дают пользователям возможность сэкономить на этом немало времени, даже если пользователи обладают достаточным опытом и квалификацией для самостоятельной имитации излучательности.

В условиях современного производства чаще применяется имитируемая излучательность вместо визуализации полного глобального освещения, поскольку такая визуализация может оказаться слишком продолжительной, а потому и неприемлемой в производственных условиях. Кроме того, возможности глобального освещения были лишь недавно введены в средства визуализации основных программ трехмерной анимации.

В течение ряда последующих лет глобальное освещение постепенно будет внедрено в массовое производство. По мере повышения быстродействия компьютеров появится возможность решать более сложные задачи визуализации при тех же затратах. Между тем, число кадров трехмерной анимации продолжает расти, оставляя все меньше времени опытным художникам для работы над освещением каждого кадра.

Некоторые художники, занимающиеся трехмерной графикой, уже начинают опасаться того, что их с трудом накопленный опыт и знания окажутся ненужными и бесполезными с появлением новых версий программ. Они даже в шутку называют глобальное освещение “делающим все за вас”. Несмотря на то что глобальное освещение позволяет начинающим художникам освещать сцены с небывалым реализмом, наличие столь эффективных инструментальных средств освещения только расширяет возможности художника и отнюдь не отменяет творческий контроль внешнего вида сцены.

Традиционные фотографы и кинооператоры привыкли использовать отраженный свет в своей работе, в том числе способность природных поверхностей отражать свет, а также свойства специально регулируемых отражателей. Такие отражатели, как приведенные на рис. 9.64, специально нацеливаются для отражения солнечного света на актеров, находящихся на съемочной площадке, заполнения участков резких теней и уменьшения соотношения направленного и заливающего света в солнечные дни.

С ростом быстродействия компьютеров и потребности в повышении производительности труда художников, занимающихся освещением сцен, неизбежно возникает необходимость в переоценке соотношения операторского и процессорного времени. В конечном итоге полное глобальное освещение станет обязательной составляющей любой реалистичной сцены, а клиенты будут требовать тонкого взаимодействия эффектов освещения, которое пока еще не стало нормой.

УПРАЖНЕНИЯ

1. Посмотрите на обложку настоящей книги, выберите три или четыре поверхности и определите, какие виды зеркальных подсветок на них проявляются. Непременно просмотрите эти поверхности под разными углами, чтобы определить характер распространения подсветок. Какова форма подсветок? Имеются на этих поверхностях повторяющиеся или смешанные подсветки? На какой поверхности проявляются самые большие подсветки и какие из них самые яркие?
2. Проанализируйте собственную (или чужую) визуализированную ранее сцену. Имеют ли зер-

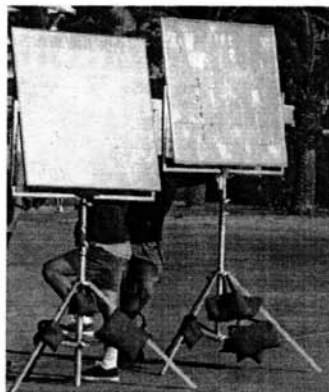


Рис. 9.64. При солнечном свете отражатели нередко используются вместо осветительных приборов на съемках фильмов

кальные подсветки вид реалистичных и характерных отражений источника света? Если в сцене используются трассированные лучами отражения, то насколько убедительно расположение и яркость зеркальной подсветки сочетаются с отражением?

3. Найдите поверхность, которую можно считать пустой либо лишенной текстуры, например стену или боковую сторону монитора. Можно ли определить на глаз, из какого материала она изготовлена (бумаги, пластмассы или гипса)? Какие виды проецирования текстур вы бы использовали для воспроизведения этой поверхности и каким образом вы бы воссоздали ее текстуру?
4. Оглянитесь вокруг в том помещении, где вы в настоящий момент находитесь, и попробуйте обнаружить любой отраженный свет? Какие поверхности в помещении освещены прямым светом и какие из них освещены отраженным светом?
5. Находясь в окружающей обстановке с зеркалами, изделиями из стекла, водой или блестящими поверхностями (например, в ванной или снаружи здания в солнечный день), постарайтесь обнаружить как можно больше эффектов каустики и определить их источники.

КОМПОНОВКА

Перед компаниями, производящими кино- и телепродукцию, постоянно ставится задача визуализации сцен на пределе возможностей программного обеспечения и оборудования. Поэтому для выполнения необычных проектов с требуемым уровнем сложности, качества и сроков практически вся профессиональная трехмерная продукция визуализируется в несколько слоев или проходов, объединяемых на завершающем этапе *компоновки (compositing)*. Компонировка — это своего рода искусство объединения изображений в единую завершенную сцену. Многопроходная визуализация и компоновка позволяют повысить эффективность процесса визуализации и творческого контроля, добиться более убедительного сочетания цифрового содержимого и отснятого материала с естественным движением, а также ускорить исправление результатов визуализации.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЛОЯМИ

Визуализация слоями представляет собой процесс раздельной визуализации различных находящихся на сцене объектов в виде отдельных изображений для каждого слоя. В простейшем случае это отделение объектов анимации от фонового окружения. Так, например, фоновый слой сцены-примера, приведенной на илл. 10.1, представляет собой поверхность планеты, а слой переднего плана — космический корабль.

Для компоновки этой сцены необходимо сделать видимыми все находящиеся на ней объекты. Благодаря монтажу всех объектов в единой сцене обеспечивается

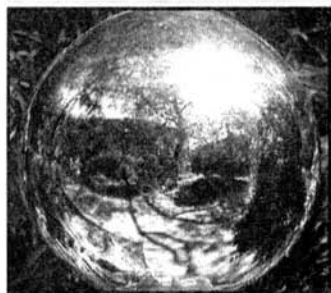
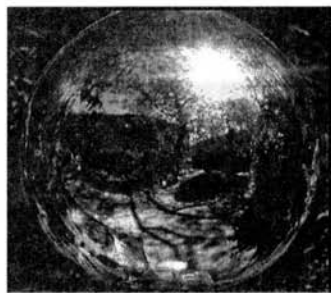
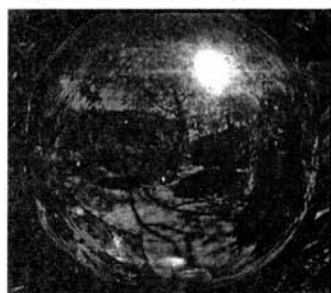
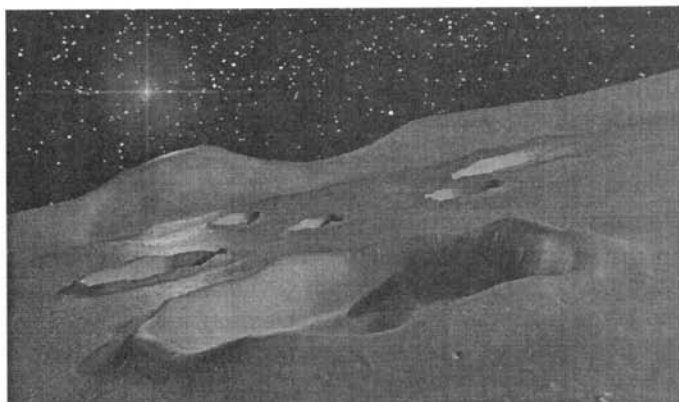


Рис. 10.1. Отдельно визуализированный фон сцены-примера



НА ЗАМЕТКУ

Для выбора подходящей программы компоновки можно обратиться к указателю всех компаний, производящих подобные программы, по адресу <http://3dRender.com/light/compositing>.

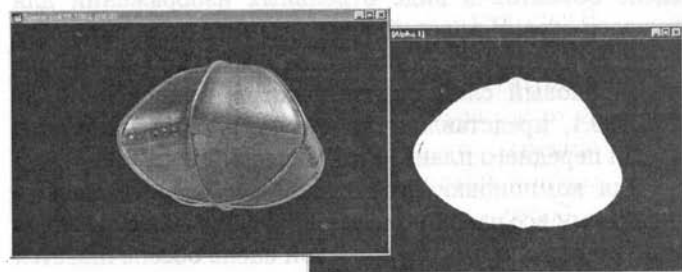
согласование всех слоев по размеру, освещению и углам расположения камеры. После монтажа всей сцены объекты сортируются по отдельным слоям.

Для визуализации фоновой сцены, приведенной на рис. 10.1, достаточно скрыть объекты слоя переднего плана. Если фоновый слой неподвижен и камера не перемещается, необходимо визуализировать только один кадр фона. Передний план анимации может быть затем наложен в программе компоновки на неподвижный фон. Если же фон подлежит анимации либо камера перемещается, в этом случае придется визуализировать все кадры фоновой сцены.

В более сложной сцене вместо простого сокрытия слоев переднего плана во время визуализации фоновой сцены можно сохранить отдельный вариант сцены с удаленными остальными слоями. Это позволит сэкономить еще больше оперативной памяти и времени визуализации.

И, наконец, слои переднего плана визуализируются со скрытым или удаленным фоновым слоем. Так, слой переднего плана, приведенный на рис. 10.2, визуализирован наряду с альфа-каналом, который служит в качестве образца для компоновки. Белый участок альфа-ка-

Рис. 10.2. Слой переднего плана визуализируется отдельно со своим альфа-каналом, служащим в качестве образца для компоновки



нала показывает, где именно следует вставить элемент переднего плана. А черным в альфа-канале обозначены те участки, сквозь которые будет проявляться фоновый слой. Для компоновки более сложных сцен многие слои переднего плана могут быть визуализированы отдельно со своим альфа-каналом.

Для чего же нужна визуализация слоями? Ведь ясно, что такая визуализация требует дополнительных затрат труда на монтаж сцены по сравнению с одновременной визуализацией всех находящихся на сцене объектов. Несмотря на это, у визуализации слоями имеется ряд преимуществ, позволяющих в конечном итоге сэкономить время.

- В высококачественной анимации персонажей большая часть исправлений и повторных визуализаций относится, в основном, к персонажам, а не к фону. В этом случае персонаж может быть быстро визуализирован еще раз отдельно от остальной сцены.
- Проекты с очень крупными сценами могут быть выполнены благодаря визуализации слоями, которая исключает перегрузку вычислительных мощностей вследствие одновременной визуализации всех объектов.
- Если камера не перемещается, достаточно визуализировать лишь один кадр неподвижного фонового слоя, на который затем накладываются все остальные слои анимации.
- Для получения нерезкого фона достаточно размыть фоновый слой в программе компоновки вместо медленной визуализации эффекта глубины резкости в трехмерной сцене.
- Для повышения эффективности процесса визуализации различные слои могут быть визуализированы в разных режимах работы программы. В частности, для некоторых важных слоев может потребоваться дополнительное сглаживание, размытость движения или трассировка лучей. В то же время удаленные объекты, а также те объекты, которые планируется сделать размытыми при монтаже, могут быть визуализированы в более оптимальном режиме ради ускорения данного процесса.

- Отдельно визуализированные элементы могут быть неоднократно использованы в нескольких местах. При компоновке слоев стая птиц может быть вставлена в нескольких местах на небе, а нерезкий фон с кустарником неоднократно повторен в ряде кадров.
- Для преодоления ошибок, ограничений или несовместимости программного обеспечения различные эффекты целесообразно разделять на отдельные визуализированные слои. Так, если используется эффект, который не визуализируется сквозь прозрачную поверхность, его можно визуализировать в виде отдельного слоя, а затем наложить на него прозрачный слой переднего плана. Если, например, волосы персонажа были созданы с помощью подключаемого модуля, работающего только с определенными видами теней, то благодаря визуализации волос в отдельном слое не нарушается освещение всей сцены.

Практически каждой системе визуализации присущи определенные ограничения, которые лучше всего преодолеваются с помощью визуализации слоями. А в некоторых случаях визуализация слоями оказывается наиболее эффективной. Однако для еще большей эффективности творческого процесса и его контроля сложные сцены профессионального уровня визуализируются также в несколько проходов.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В НЕСКОЛЬКО ПРОХОДОВ

Визуализация в несколько проходов представляет собой процесс раздельной визуализации различных свойств сцены. Ниже перечислены семь наиболее распространенных типов проходов визуализации.

- Проход визуализации картинки.
- Проход визуализации подсветок.
- Проход визуализации отражений.
- Проход визуализации теней.
- Проход визуализации освещения.
- Проход визуализации эффектов.
- Проход визуализации глубины.

Каждый из перечисленных выше проходов может быть представлен в виде отдельно визуализированного

изображения. В результате объединения и коррекции отдельных проходов в программе компоновки сцена может быть настроена в диалоговом режиме без повторной визуализации, а особо тонкие эффекты точно регулируются и согласуются со снятым материалом на рирпроекционном фоне.

ПРОХОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАРТИНКИ

Проход визуализации картинki (beauty pass), иногда еще называемый *проходом визуализации рассеяния (diffuse pass)* или *проходом визуализации цвета (color pass)*, представляет собой визуализацию основного многоцветного изображения объекта, включая рассеянное освещение, цвет и карты отображения цветов (рис. 10.3). Как правило, в проход визуализации картинki не входят отражения, подсветки или тени, ибо они визуализируются в виде отдельных проходов.

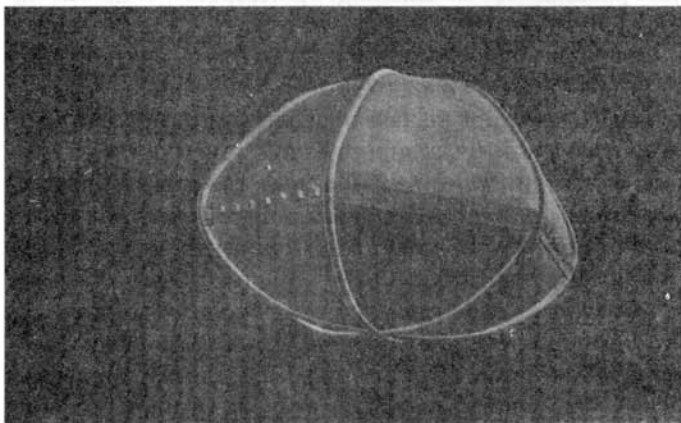


Рис. 10.3. В проход визуализации картинki не входят отражения, подсветки или тени

В проход визуализации картинki обычно включается альфа-канал объекта, который используется впоследствии для наложения объекта на фон. Для отдельных находящихся на сцене объектов могут потребоваться разные проходы визуализации картинki, если, например, объекты или элементы сцены требуется визуализировать в окружающей обстановке раздельно.

Для выполнения прохода визуализации картинki объекта нередко приходится вносить изменения в материалы этого объекта, чтобы исключить любые отражения или зеркальные подсветки. В некоторых программах предоставляются средства организации проходов визуализации, упрощающие данный процесс,

однако редактирование материалов объекта для их отображения лишь в рассеянном освещении может быть выполнено практически в любой программе визуализации. С другой стороны, во многих программах можно просто установить источники света в режим только рассеянного освещения при выполнении прохода визуализации картинки (вместо редактирования свойств отражения и зеркальности каждого материала в отдельности).

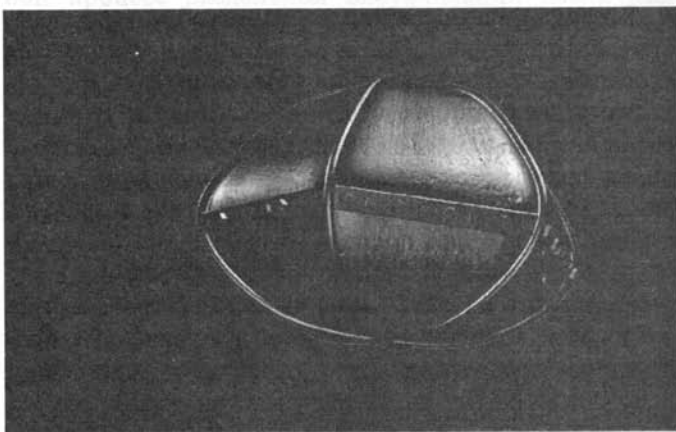
ПРОХОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОДСВЕТОК

Проходы визуализации подсветок (highlight passes), иногда еще называемые проходами визуализации зеркальности (specular passes), позволяют отделить зеркальные подсветки от объекта. Для выполнения проходов визуализации подсветок достаточно отключить общее освещение и выбрать совершенно черный цвет для рассеянного затенения и проецирования цвета объектов. В итоге, как показано на рис. 10.4, все имеющиеся на сцене зеркальные подсветки будут визуализированы в отсутствие какого-либо затенения.

Выделять зеркальные подсветки в отдельный проход отнюдь не обязательно. Такой прием пригоден для визуализации более важных сцен, где основное значение имеет качество. А зеркальные подсветки менее важных элементов могут быть включены в проход визуализации картинки.

Благодаря отдельному проходу появляется возможность дополнительного творческого контроля визуализации подсветок. Так, на рис. 10.4 для варьирования и смягчения подсветок была введена карта рельефнос-

Рис. 10.4. Проход визуализации подсветок, обнаруживающий только подсветки на поверхности черного цвета



ти. Эта карта отсутствовала при проходе визуализации картинки — она была применена лишь для подчеркивания подсветок. Кроме того, для улучшения внешнего вида подсветок можно изменить положение источников света. Естественно, что угол расположения источников света должен оставаться в целом таким же, как при проходах визуализации картинки и теней, хотя нет ничего дурного в том, чтобы немного изменить их положение ради улучшения внешнего вида визуализируемой сцены.

Проходы визуализации подсветок могут быть наложены на проход визуализации картинки с помощью операции Add (Сложение) или Screen (Экранирование). В итоге светлые участки изображения в проходе визуализации подсветок сделают светлее изображение в проходе визуализации картинки, а черные участки не окажут на него никакого влияния. Таким образом, отпадает необходимость в отдельном альфа-канале.

Благодаря наличию отдельного прохода визуализации подсветок во время компоновки появляется возможность контролировать их цвет и яркость для согласования с остальной частью компоновки сцены. При этом не следует ограничиваться лишь чисто-белым цветом на участках подсветок, а лучше использовать различные оттенки серого, что придаст подсветкам более реалистичный вид при компоновке с разными уровнями яркости.

Отдельно визуализированные подсветки могут быть также использованы для контроля таких компоновочных визуальных эффектов, как свечение. Так, размытый вариант прохода визуализации подсветок позволяет создать свечение вокруг подсветок (рис. 10.5). Таким образом, для коррекции свечения не потребуются дополнительная пробная визуализация, ибо оно может быть откорректировано в контексте сцены при окончательной компоновке.

Как упоминалось в предыдущей главе, зеркальные подсветки тесно связаны с отражениями и поэтому могут быть частично или полностью заменены ими. Так, если источники света видны в отражении, иногда мож-



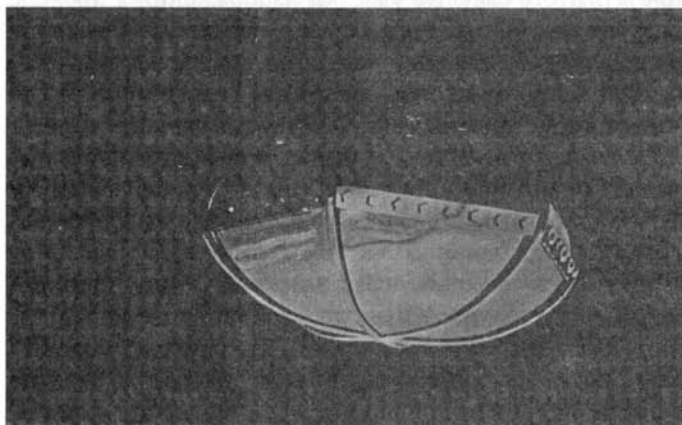
Рис. 10.5. Скомпонованное изображение (слева) может быть улучшено с помощью размытого варианта прохода визуализации подсветок (посередине) для получения слабого свечения вокруг подсветок (справа)

но и не выполнять отдельный проход визуализации подсветок. А если в отражении не виден сам источник света, то благодаря объединению проходов визуализации подсветок и отражений более полно имитируется свет, отраженный от объекта.

ПРОХОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОТРАЖЕНИЙ

Проход визуализации отражений (reflection pass) включает в себя отражения других объектов или окружающей среды. Для отделения отражений обычно достаточно отключить общее, рассеянное и зеркальное затенение поверхности, чтобы на ней остались лишь отражения (рис. 10.6).

Рис. 10.6. Проход визуализации отражений, обнаруживающий лишь отражения окружающей среды от объекта, обладающего только отражательной способностью



Для визуализации отражений на поверхности объекта последний не нужно освещать никакими источниками света. Так, если отражения формируются картами отражения, для выполнения прохода визуализации отражений достаточно удалить со сцены все источники света. А если в трассированных лучами отражениях видны другие объекты, для последних могут все же понадобиться некоторые источники, если они не являются постоянно затененными либо температурными источниками света.

Нередко проход визуализации отражений позволяет отображать отражения объектов из других слоев или проходов. При использовании карт отражения для этого потребуется предварительно визуализированная карта отражения окружающих объектов, хотя сами объекты следует удалить со сцены после создания такой карты. Если же в сцене используются отражения,

трассированные лучами, то отраженные объекты необходимо сделать видимыми в отражениях (иногда еще называемых *вторичными лучами*), но невидимыми непосредственно в основных лучах.

Во многих случаях лучших результатов удается добиться путем незначительного размывания в процессе визуализации отражений непосредственно в программе компоновки. В таком случае можно сократить продолжительность визуализации, отключив режим сглаживания. Даже если отражения выглядят отнюдь не идеально после прохода визуализации отражений, их внешний вид может быть улучшен после размывания в программе компоновки.

КОМПОНОВКА ОТРАЖЕНИЙ

При компоновке проходов визуализации отражающего объекта проход визуализации отражений обычно перекрывается наплывом с располагаемым снизу проходом визуализации картинки перед наложением сверху прохода визуализации подсветок. В процессе визуализации отражений может быть использован собственный либо общий с проходом визуализации картинки альфа-канал. Так, если проход визуализации отражений выполняется без сглаживания, следует использовать альфа-канал прохода визуализации картинки.

Общая яркость скомпонованных проходов визуализации картинки, отражений и подсветок уменьшается, как показано на рис. 10.7. А точные соотношения между ними определяются на глаз. Корректируя отдельные проходы, следует сравнивать проход визуализации подсветок с находящимися на сцене источниками све-



Рис. 10.7. Уравновешенное изображение, скомпонованное из проходов визуализации картинки, подсветок и отражения

НА ЗАМЕТКУ

Пользователи 3ds max могут воспользоваться свободно доступной утилитой Material компании Blur Studio (www.blur.com) для визуализации отражений объекта без самого исходного объекта.

та, а проход визуализации отражений — с окружающей средой, чтобы согласовать уровни яркости объекта и его окружения. Это своего рода искусство, а не техника, ибо оно требует наметанного глаза.

ДОБАВЛЕНИЕ ОТРАЖЕНИЙ К РЕАЛЬНЫМ ОБЪЕКТАМ

Иногда трехмерный объект должен отражаться на реальной поверхности (в частности, на блестящем полу, кухонном столе или поверхности воды). Такие отражения должны быть получены в виде отдельного прохода визуализации отражений.

Если поверхность, на которой должно быть видно отражение, принадлежит к трехмерному объекту, последний достаточно сделать видимым и отражающим перед выполнением отдельного прохода визуализации отражений. А если эта поверхность является реальной, тогда придется создать трехмерную модель данной поверхности и расположить ее на сцене, выровняв по изображению реальной поверхности на рирпроекционном фоне подобно сетке, приведенной на рис. 10.8.

Для получения эффекта ряби на воде можно спроецировать на объект отражающей поверхности воды карту рельефности, искажающую отражение, как показано на рис. 10.9.

Альфа-канал, выводимый большинством средств визуализации, по умолчанию предназначен для отображения формы всего отражающего объекта, а не формы самого отражения. В частности, альфа-канал может отображать форму прямоугольной плоскости вместо

Рис. 10.8. Сетка, выровненная по поверхности воды для создания эффекта отражения

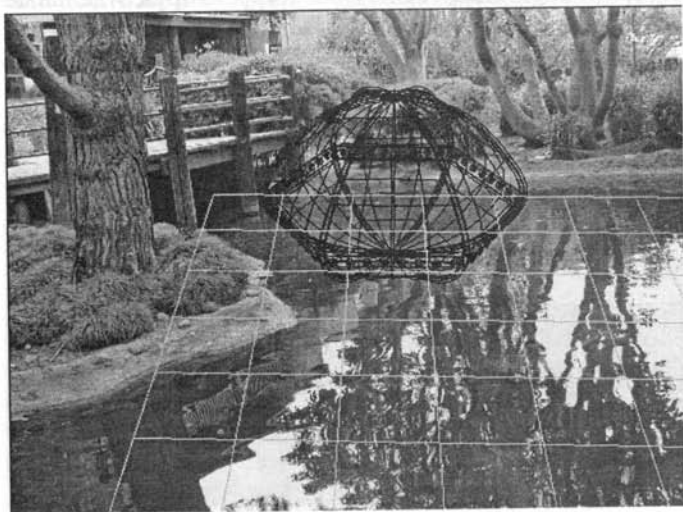




Рис. 10.9. Проецирование рельефности на отражающую поверхность для имитации рыбы на воде

отражения на этой плоскости. Если альфа-канал не подлежит коррекции при проходе визуализации отражений, тогда можно создать маску с помощью функции манипуляции с яркостью в программе компоновки для отделения отражения от окружающего его черного участка. В качестве последнего средства остается лишь выполнить второй проход визуализации отражений (т.е. выделенных сплошным белым цветом отражающих объектов на черном фоне) и использовать его вместо альфа-канала.

При нанесении силуэта отражения на поверхность его тона следует откорректировать в программе компоновки таким образом, чтобы они совпали с тонами отражений, уже имеющихся на этой поверхности (илл. 10.2). Слишком сильно окрашенные и контрастные отражения могут выглядеть нереалистично, поэтому для согласования имитируемого отражения с реальным фоном, как правило, требуется цветовая коррекция.

ПРОХОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕНЕЙ

Проход визуализации теней (shadow pass) представляет собой визуализацию мест расположения теней на сцене. Его результат обычно имеет вид белой области тени на черном фоне (рис. 10.10). К другим распространенным разновидностям этого прохода визуализации относятся черные тени на белом фоне или визуализированная форма тени, встроенная в альфа-канал. Все эти разновидности в равной степени пригодны для компоновки.

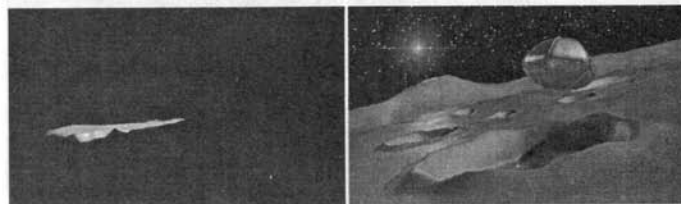


Рис. 10.10. Проход визуализации теней (слева) обозначает тень от космического корабля на земле и используется для затемнения соответствующего участка окончательно скомпонованного изображения (справа)

НА ЗАМЕТКУ

Пользователи 3ds max могут воспользоваться свободно доступной утилитой Cast Shadows Only Material компании Blur Studio (www.blur.com) для выполнения проходов визуализации отбрасываемых теней либо свободно доступным сценарием Render Layers (www.gfxcentral.com/bobo), позволяющим организовать многочисленные проходы визуализации.

Для визуализации теней, отбрасываемых одним объектом на другой, отбрасывающий тени объект должен быть невидимым в основных лучах, отбрасывая в то же время тени на сцену (иногда такой объект называется *теневым*). А поверхность, на которую падают тени (например, земля), должна быть по-прежнему видна.

Для получения точного прохода визуализации теней следует непременно избавиться на сцене от общего освещения и температурных источников света, оставив лишь источник света, формирующий тени. Для дальнейшего отделения теней иногда используются источник света отрицательной яркости, а также отрицательная яркость тени, что позволяет формировать белые тени на ровном черном фоне. Благодаря этому исключается любое изменение затенения на фоне, поскольку область фона должна оставаться совершенно черной, даже за краем луча света.

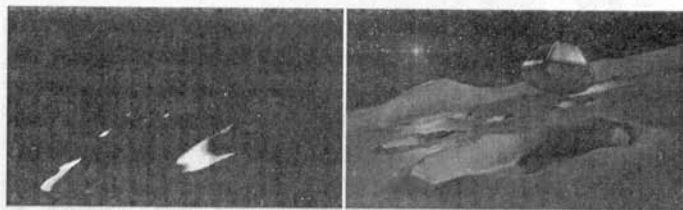
Тени зачастую выглядят лучше при незначительном размывании в проходе визуализации теней во время компоновки. В таком случае можно выключить режим сглаживания теней, отключить формирование теней поверхностным источником света или воспользоваться картой теней с более низким разрешением во время визуализации.

ПРИВЯЗАННЫЕ ТЕНИ

Привязанными (attached shadows) называются тени, отбрасываемые поверхностью на саму себя. В частности, нос персонажа может отбрасывать тень на другие части его лица. На пересеченной или холмистой местности также могут залегать привязанные тени, особенно при освещении сбоку (рис. 10.11).

Если яркость и окраску теней требуется контролировать отдельно во время компоновки, для этого следует выполнить отдельные проходы визуализации привязанных и отбрасываемых теней. Если же отдельный проход визуализации привязанных теней не требуется, эти тени можно иногда получить при проходе

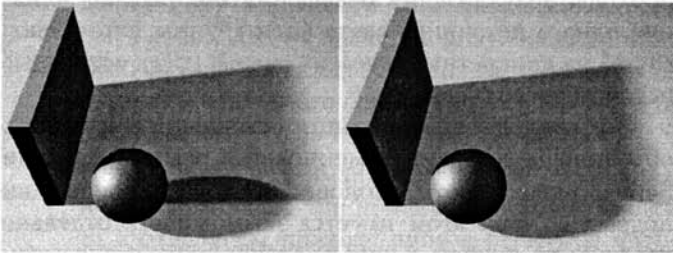
Рис. 10.11. Проход визуализации привязанных теней (слева) выполнен отдельно и использован для затемнения отдельных участков местности в окончательном изображении (справа)



визуализации картинке объекта. В частности, в рассматриваемой здесь сцене-примере привязанные тени были визуализированы на космическом корабле.

СДВОЕННЫЕ ТЕНИ

Распространенное затруднение при компоновке кадров съемки с визуальными эффектами вызвано двойными тенями. Как видно на рис. 10.12, *сдвоенные тени (doubled shadows)* возникают при проходе визуализации теней вследствие дополнительного затемнения участка, который уже был покрыт тенью от того же самого источника света. При объединении двух проходов визуализации теней от одного и того же источника света их следует компоновать сначала в режиме только освещения либо в режиме только затемнения, а затем использовать объединенные тени для затемнения рир-проеекционного фона.



Сдвоенные тени могут также вызвать осложнения при объединении прохода визуализации теней с областью теней отснятого материала на рирпроеекционном фоне. Особенно это касается снятых на натуре сцен, где солнце является единственным источником света, формирующим тени, и где сдвоенные тени выглядят нереалистично. В подобных случаях при проходе визуализации теней не должны затемняться участки, уже затемненные реальной тенью. Реальная тень должна быть замаскирована, чтобы при проходе визуализации теней были затемнены лишь те участки, которые не находятся в тени. В итоге область реальной тени должна быть расширена, причем с тем же самым тоном окраски тени.

Ввод теней в реальную сцену обычно представляет собой трудоемкий процесс. Правда, для этого достаточно лишь визуализировать каждую тень в виде отдельного прохода, а основную работу выполнить на этапе компоновки.

Рис. 10.12. В результате неудачной компоновки могут появиться сдвоенные тени, поскольку один и тот же источник света был дважды исключен из визуализации (обратите внимание на перекрывающиеся тени слева). Правильно скомпонованные тени объединяются в единый участок, на котором разные объекты заслоняют свет от одного и того же источника (справа)

Некоторые художники, занимающиеся трехмерной графикой, имеют скверную привычку визуализировать отбрасываемые тени в альфа-канале того же прохода, в котором визуализируются их трехмерные объекты. Такой прием на самом деле не экономит время и не облегчает компоновку, ибо на этот последний этап откладываются все вопросы компоновки теней и коррекции тонов их окраски для придания им убедительного вида.

ПРОХОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОСВЕЩЕНИЯ

Проход визуализации освещения (lighting pass) является необязательной частью многопроходной визуализации, которая придает значительную гибкость и управляемость процессу компоновки. Вместо одного прохода визуализации картинок вместе со всем освещением можно выполнить несколько проходов визуализации освещения (рис. 10.13). При этом отдельные проходы визуализации освещения показывают влияние одного источника света (или группы источников света) на конкретный элемент сцены, когда остальные источники света скрыты.

Все проходы визуализации освещения могут быть объединены во время компоновки в режиме Add или Screen аналогично компоновке прохода визуализации подсветок. При этом имеется возможность отдельно настраивать яркость и цвет в каждом проходе для получения различных эффектов освещения (рис. 10.14).

Как правило, никто не тратит зря время на отдельные проходы визуализации освещения отдельным источником света каждого элемента сцены. Такие проходы обычно резервируются для особых случаев, когда

Рис. 10.13. Отдельно выполненные проходы визуализации освещения для источников направленного света (слева), заливающего света (посередине) и задней подсветки (справа)



Рис. 10.14. Благодаря манипулированию яркостью и цветом в каждом проходе освещение может быть настроено без дополнительной визуализации



они могут оказаться особенно полезными при компоновке.

- Источник задней подсветки или контражурного света может быть визуализирован в виде отдельного прохода для освещения конкретного объекта вместо того, чтобы быть включенным в проход визуализации картинка. Благодаря такому отделению источника контражурного света последний может быть индивидуально настроен при окончательной компоновке.
- Любой источник света, который может быть заслонен проходом визуализации теней в то время, как остальные источники света заполняют область тени, должен быть визуализирован в виде отдельного прохода.
- Любой вид глобального освещения (в частности, метод излучательности или каустика) может быть обособлен от проходов визуализации прямого освещения для осветления, затемнения или окраски глобального освещения без перерасчета последнего.
- Потребность в анимации эффектов освещения иногда возникает при просмотре источника света в отдельном проходе либо в отснятом материале на рирпроекционном фоне. В частности, вспышка света от взрыва может быть получена в виде отдельных проходов визуализации освещения. Благодаря этому подлежащее анимации освещение может быть точно согласовано по цвету и времени с элементом, который является его побудительной причиной.
- Источники света с сильно насыщенной окраской могут быть выделены в отдельный проход визуализации освещения. Благодаря этому оттенок, насыщенность и яркость окрашенного источника света могут быть откорректированы индивидуально.

При выполнении отдельных проходов визуализации освещения целесообразно допускать погрешность в сторону менее насыщенной окраски освещения. Если же требуется увеличить насыщенность во время компоновки, то можно выбрать сильно насыщенный цвет, хотя и не стоит этого делать, ибо красный, зеленый

и синий окажутся при этом недодержанными и их интенсивность трудно будет затем увеличить.

ПРОХОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТОВ

В зависимости от потребностей конкретного проекта иногда могут быть выполнены *проходы визуализации эффектов (effects passes)*. Проход визуализации эффектов представляет собой отдельную визуализацию визуального эффекта или маски для этого эффекта. Такие проходы позволяют визуализировать оптические эффекты (в частности, свечение или блики в объективе) либо эффекты частиц, например клубы дыма или инверсионный след от реактивного самолета.

ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Оптические эффекты представляют собой эффекты, имитирующие такие явления, как блики в объективе или радиальные полосы света от источника. Во время компоновки оптические эффекты должны вводиться в последнюю очередь, накладываясь на все остальные элементы сцены.

Оптические эффекты особенно важно выделять в отдельные проходы визуализации, поскольку сами по себе они визуализируются довольно быстро, а для настройки такого эффекта, как блики в объективе, вряд ли целесообразно выполнять повторную визуализацию всей сложной сцены в целом.

Оптические эффекты являются неотъемлемой частью многих формируемых на компьютере графических сцен. Так, видимые радиальные лучи от звезды кажутся обязательной составляющей сцены-примера, рассматриваемой в этой главе. Но для того чтобы работа не выглядела похожей на демонстрационный пример компьютерной графики, рекомендуется избегать слишком очевидных оптических эффектов. Раздельная визуализация оптических эффектов, по крайней мере, позволяет свести к минимуму либо вообще исключить подобные эффекты впоследствии при критической переоценке сцены.

ЭФФЕКТЫ ЧАСТИЦ

Внешний вид частиц может быть изменен и улучшен благодаря их визуализации в виде отдельного прохода. Визуализированные частицы могут быть использованы в виде маски для управления различными

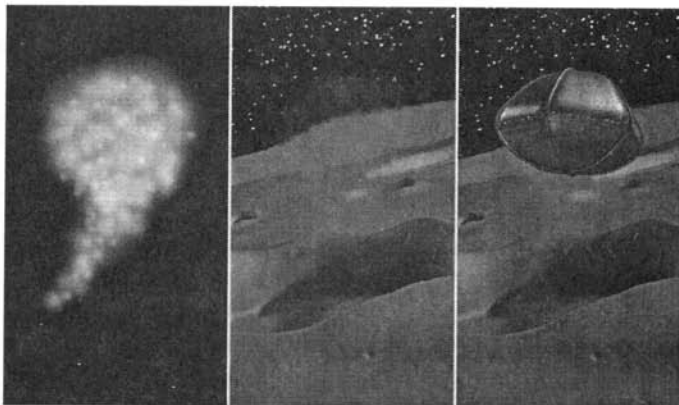


Рис. 10.15. Простая система частиц, полученная в виде отдельного прохода визуализации эффектов на темном фоне (слева). Она используется в качестве маски для фильтров преломления света в стекле и гауссова размытия, применяемых к фоновому слою (посередине) для имитации реактивной струи дыма при окончательной компоновке (справа)

эффектами обработки изображений, манипулирования их цветом и непрозрачностью, а также объединения самыми разными способами с фоновым изображением.

На рис. 10.15 приведен простой пример облака частиц. Используя это облако в качестве маски, можно добиться эффекта искажения фона частицами, как будто бы преломляющими свет. В конечном итоге силуэт частиц, окрашенных зеленым цветом, наносится на фон позади испускающего их космического корабля.

Если частицы сильно распределены по всей сцене, некоторые из них могут оказаться впереди одних объектов, тогда как остальные — позади других. Этот недостаток может быть устранен тремя основными способами.

- Визуализация частиц несколькими слоями, разделяющими их на частицы переднего, среднего и заднего плана. При этом частицы могут испускаться отдельными слоями либо разделяться плоскостями усечения.
- Визуализация частиц с объектами, выделенными сплошным черным цветом и заслоняющими некоторые частицы заднего плана.
- Визуализация систем частиц и сгруппированных объектов наряду с картами глубин для компоновки по глубине (см. следующий раздел).

Визуализация частиц несколькими слоями обычно считается самым простым из трех перечисленных выше способов, обеспечивая при этом самый гибкий контроль внешнего вида частиц и наиболее удобную компоновку.

ПРОХОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЛУБИНЫ

В *проходе визуализации глубины (depth pass)*, или так называемой *Z-глубины (Z-depth)*, сохраняется информация о глубине каждой точки сцены. В одних случаях для этой цели используются карты глубин, визуализируемые в специальном формате файла, а в других — *имитируемые карты глубин*, визуализируемые в виде стандартных файлов изображений аналогично остальным проходам, но предназначенные для выполнения тех же функций, что и настоящие карты глубин.

Карта глубин представляет собой массив значений, обозначающих расстояние от камеры до ближайшего объекта, визуализируемого в каждом пикселе изображения. На рис. 10.16 приведена карта глубин космической сцены-примера. Более светлыми оттенками серого на ней показаны участки сцены, находящиеся ближе к камере.

Рис. 10.16. Более светлыми оттенками серого в этой полутоновой карте глубин показаны участки сцены, находящиеся ближе к камере



Типы карт глубин

Настоящая карта глубин не является изображением. Значение, сохраняемое для каждого пикселя местоположения, не обозначает ни цвет, ни оттенок, а расстояние от камеры до объекта, выражаемое конкретным числом в формате с плавающей точкой. Если преобразовать настоящую карту глубин в видимое полутоновое изображение, используя только 256 градаций серого, результат получится менее точным по сравнению с исходными измерениями расстояния.

Настоящие карты глубин не подлежат сглаживанию во время визуализации, поскольку в них хранится лишь расстояние на каждый пиксель изображения.

Для того чтобы добиться более правильно сглаженного результата компоновки по глубине, изображения и карты глубин, возможно, придется визуализировать с более высоким разрешением, а затем уменьшить масштаб окончательно скомпонованного изображения. А для получения сглаженного результата, исходя из глубины сцены, можно воспользоваться имитируемыми картами глубин, представляющими собой обычный результат визуализации. Они не содержат числовые значения расстояний в формате с плавающей точкой. Для визуализации имитируемой карты глубин необходимо сначала выбрать для всех находящихся на сцене объектов ровный белый цвет, без затенения, а затем активизировать режим получения эффекта *тумана* или *затемнения в глубину* (*depth fading*) для постепенного уменьшения уровня яркости сцены в сторону черного по мере увеличения расстояния до камеры. Полученный результат должен быть аналогичным приведенному на рис. 10.16.

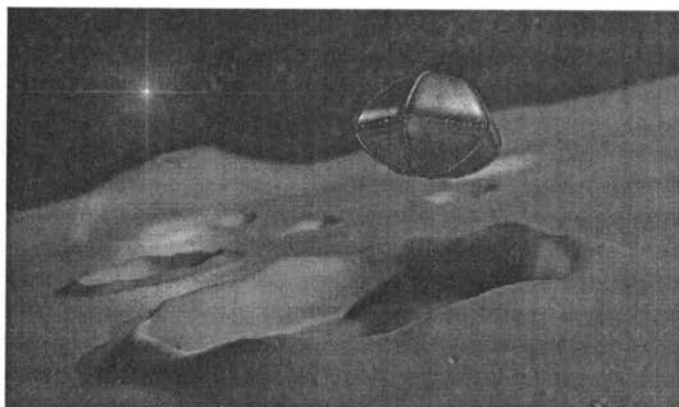
ПРИМЕНЕНИЕ КАРТ ГЛУБИН

Визуализированная информация о глубине может быть по-разному использована во время компоновки.

При наличии двух сцен, визуализированных с соответствующей картой глубин, обе сцены могут быть объединены в скомпонованное по глубине изображение, исходя из глубины каждого пикселя. При этом различные объекты или частицы в визуализированных сценах могут заслонять друг друга либо находиться на переднем или заднем плане в зависимости от их расстояния до камеры.

В прошлом карты глубин применялись в виде автономных программ для визуализации частиц. Для компоновки отдельно визуализированных частиц с объектами, визуализированными в других программах, карты глубин использовались вместе с частицами и объектами, с тем чтобы при компоновке частицы оказались правильно расположенными впереди либо позади разных объектов. Такой метод уже устарел, поскольку он не поддерживал сглаживание, был непригоден для прозрачных объектов и не допускал взаимодействие света и тени между частицами и геометрической формой. На смену этому методу в средствах визуализации большинства программ трехмерной графики и анимации пришла встроенная поддержка частиц.

Рис. 10.17. Карта глубин используется в виде маски для операций размывания и цветовой коррекции с целью имитации глубины



Карты глубин могут быть также использованы в виде маски для получения любого рода эффекта обработки изображений. В изображении на рис. 10.17 использована карта глубин, приведенная на рис. 10.16, в виде маски для размывания и окраски фона в холодный серый цвет. Таким образом, благодаря имитации ограниченной глубины резкости камеры усиливается ощущение глубины в сцене. При этом также имитируется атмосферная перспектива, когда сцена просматривается как бы сквозь облако пыли, а окраска удаленных холмов бледнеет.

Карты глубин целесообразно применять для имитации любой окружающей среды, где требуются многочисленные эффекты атмосферы или глубины резкости, получаемые во время компоновки. Однако для этой цели, как правило, лучше подходят имитируемые карты глубин, визуализируемые в виде отдельного прохода вместе с эффектом тумана или затемнения в глубину, поскольку их сглаживание вполне согласуется с остальными проходами визуализации.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ПОНЯТИЯ ПРОХОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Некоторые пользователи неверно полагают, что проходы визуализации являются новым методом, характерным только для профессиональных программ трехмерной графики и анимации. В действительности проходы стали неотъемлемой частью трехмерной визуализации, как только компьютерная графика начала применяться в кинематографе. А визуальные эффекты создавались в несколько проходов задолго до появления первых кадров с трехмерными эффектами.

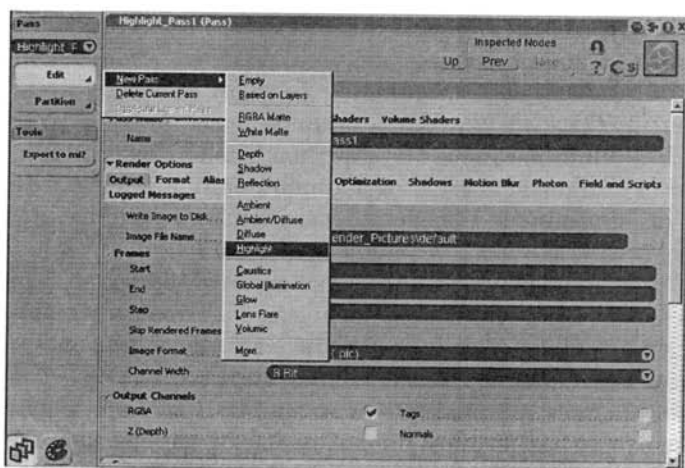
Термин *проход (pass)* впервые нашел употребление в *фотографии контролируемого движения (motion-control photography)*, назначение которой состояло, главным образом, в съемке миниатюрных моделей для получения визуальных эффектов. Камера с контролируемым движением может точно повторять одни и те же движения несколько раз, перемещаясь на управляемой компьютером механической руке или подвижном основании. Всякое повторение камерой своих движений по сцене называется *проходом*. Так, при съемке модели космического корабля первым *проходом* сцены должен быть *проход* картинка, при котором модель снимается при полном освещении. При следующем *проходе*, называемом *проходом* маски, камера заряжается высококонтрастной пленкой, освещение изменяется, а съемка производится в режиме маски (аналогично альфа-каналу). При третьем *проходе*, называемом *проходом* освещения, включаются источники света, видимые изнутри модели космического корабля сквозь иллюминаторы, и при таком освещении производится съемка. До появления систем цифровой компоновки все эти *проходы* печатались вместе на пленке оптическим способом.

СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОХОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В любой программе трехмерной визуализации, применяемой при производстве кино- и телепродукции, визуализация может быть организована в несколько *проходов*. В большинстве случаев отдельные *проходы* представляют собой визуализируемые видоизмененные варианты одной и той же трехмерной сцены. Так, например, для организации отдельного *прохода* визуализации подсветок необходимо сохранить вариант сцены с совершенно черным рассеянным затенением, без общего освещения, чтобы визуализировать только зеркальные подсветки на черном фоне. Для этой цели не требуется никаких специальных свойств программы трехмерной графики и анимации, поскольку все *проходы* визуализации организуются пользователем вручную.

За последнее время в ряде профессиональных программ трехмерной графики и анимации появились новые средства организации *проходов* визуализации, ускоряющие визуализацию в несколько *проходов*

Рис. 10.18. Средства организации проходов визуализации в SoftImage|XSI упрощают определение различных проходов и допускают не медленное переключение сцены на разные конфигурации проходов



(рис. 10.18). Преимущество таких встроенных в программу средств заключается в том, что они позволяют заранее сформировать конфигурации многих проходов для быстрой настройки режима визуализации, что избавляет от необходимости сохранять отдельные варианты сцены для каждого прохода. Даже после изменения других аспектов сцены (в частности, анимационных) для визуализации в несколько проходов используется та же самая сцена.

Другой подход заключается в том, чтобы выполнить визуализацию в несколько проходов и слоев сцены в отдельный многослойный файл формата RPF (Rich Pixel Format — усовершенствованный формат пикселей), представляющий собой расширенный вариант применявшихся ранее файлов формата RLA в 3ds max. Если заранее известно, что программа компоновки поддерживает формат RPF, он может быть использован для переноса в единственном файле изображений, Z-глубины и прочей информации, допускающей изменение эффектов и освещения.

Возможности средств организации проходов визуализации в программах трехмерной графики и анимации определяются разработчиками этих программ, реагирующими на потребности пользователей. Более совершенные трехмерные эффекты всегда получались путем наложения слоями различных проходов визуализации на рирпроекции фон еще до того, как разработчики начали встраивать в свои программы средства, имеющие отношение к компоновке и визуализации.

СОГЛАСОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ С РИПРОЕКЦИОННЫМ ФОНОМ

Рирпроекционный фон (background plate) обычно представляет собой последовательность кадров оцифрованного фильма или видео с естественным движением, на которые накладываются элементы компьютерной графики. В некоторых проектах рирпроекционный фон может также быть раскрашенной маской, предельно визуализированной трехмерной сценой либо изображением, составленным из многих элементов.

Во многих программах трехмерной графики и анимации имеется возможность просматривать рирпроекционный фон в окне анимации, иногда еще называемом *плоскостью изображения (image plane)* или *ротоскопным фоном (rotoscope background)*, где показано, каким образом объект выровнен по фону. После выравнивания трехмерной сцены по разным углам расположения камеры, под которыми была произведена настоящая съемка, возникает сложная задача согласования освещения сцены с настоящим окружением. Согласование с направлением, цветом и тоном окраски источников света в настоящей сцене имеет существенное значение для объединения проходов трехмерной визуализации со снятым в реальных условиях рирпроекционным фоном.

ОБРАЗЦОВЫЕ ШАРЫ И СВЕТОПРОБЫ

Набор отражающих (зеркальных) и матовых шаров идеально подходит в качестве образцовых объектов для определения положения и окраски источников света на месте настоящей съемки. Зеркальные шары продаются в качестве элементов оформления лужаек и кожухов для камер скрытого наблюдения, устанавливаемых под потолком. Идеальным материалом для матовых шаров служит гипс, хотя для рассматриваемой здесь цели вполне подойдет и пенопластовый шар, приобретенный в хозяйственном магазине. Такой шар окрашивается в серый цвет и снабжается куском проволоки для крепления на месте.

МАТОВЫЕ ШАРЫ

Матовый шар (рис. 10.19) отлично подходит для выбора окраски света, падающего на объект съемки в каждом направлении при определенных условиях освещения. В идеальном случае сцена, приведенная на рис. 10.19, должна быть снята той же самой камерой,

Рис. 10.19. Серый матовый шар располагается между очагом и окном для пробы различных цветов окраски сцены

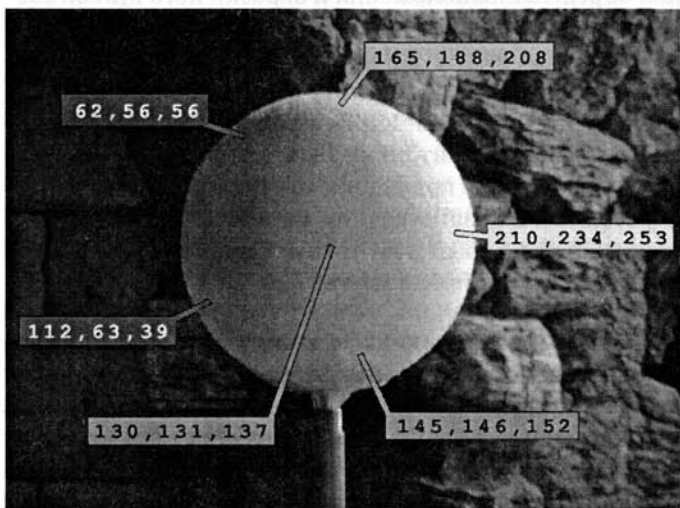


оцифрована и откорректирована по цвету аналогично окончательно полученному рирпроеекционному фону.

Для наиболее точного согласования цветов изображение сцены с шаром вводится в программу раскраски, где на изображении самого шара выбираются конкретные значения цветов RGB (рис. 10.20). Эти значения затем могут быть назначены непосредственно для источников света, нацеленных в соответствующих направлениях.

При создании освещения сцены изображение шара можно импортировать в качестве фонового в программу трехмерной графики и анимации и создать трехмерную сферу на фоне этого изображения, а затем, используя трехмерную сферу в качестве образца, настроить источники света, нацеленные в каждом направлении,

Рис. 10.20. Цвета RGB, выбранные на изображении образцового шара, позволяют добиться точного согласования цветов окраски источников света в трехмерной и реальной сценах



для согласования затенения трехмерной сферы с затенением шара на рирпроекционном фоне.

Изучение цветов в конкретной точке настоящего окружения представляет собой отличное упражнение для всех, кто занимается освещением трехмерных сцен. Даже если освещение не нужно согласовывать с рирпроекционным фоном в данный момент, этот процесс целесообразно повторить несколько раз просто для того, чтобы получить ясное представление о цветах окраски настоящих источников света.

ЗЕРКАЛЬНЫЕ ШАРЫ

Изображение зеркального шара в окружающей обстановке помогает точнее определить угол расположения и относительную яркость каждого источника света и выбрать верное направление для имитации подсветок и отражений на конкретном объекте (илл. 10.3). Как известно, отражения носят видозависимый характер, поэтому очень важно, чтобы зеркальный шар был снят под тем же углом расположения камеры, что и окончательно полученный рирпроекционный фон.

Подобно изображению матового шара, изображение зеркального шара может быть введено в программу трехмерной графики и анимации. Если затем создать блестящую трехмерную сферу, то на ней можно наблюдать подсветки от наиболее ярких источников света и согласовать их с подсветками на зеркальном шаре.

Наличие изображения зеркального шара дает еще одно преимущество: оно может быть использовано для создания карты отражения, применяемой к конкретному объекту (илл. 10.4). Во многих программах лучше всего использовать планарную проекцию для переноса полученного изображения на боковую поверхность крупной сферы, окружающей трехмерную сцену, а затем визуализировать только отражения на сфере.

ИЗОБРАЖЕНИЯ СВЕТОПРОБЫ

Традиционный метод согласования с естественным освещением настоящего окружения состоит в использовании целого ряда бесконечно удаленных или направленных источников света. Благодаря настройке окраски и яркости каждого источника света в каждом направлении такой метод позволяет добиться реалистичной визуализации и точного согласования освещения.



Рис. 10.21. В изображении с расширенным динамическим диапазоном точно фиксируются цвета окраски и уровни яркости освещения при разной экспозиции

Другой подход к воссозданию настоящих условий освещения состоит в использовании *изображения светопробы (light probe image)*, зафиксированного на том же месте съемки, что и рирпроекционный фон. В изображении светопробы зафиксировано освещение под разными углами вокруг объекта съемки. Оно может быть получено путем фотографирования зеркального шара на месте съемки, а затем использовано для освещения объектов с учетом всех зафиксированных цветов и тонов окраски настоящего освещения. Для освещения трехмерных объектов под всеми возможными углами, как будто источник света представляет собой огромную сферу, полностью охватывающую трехмерную сцену, достаточно одного изображения светопробы.

В отличие от обычных фотографий зеркального шара изображения светопробы представляют собой *изображения с расширенным динамическим диапазоном (HDR — high dynamic range images)*, т.е. они позволяют фиксировать интервал экспозиции, намного превышающий диапазон одного видимого изображения. Для фотографирования изображений светопробы фотоаппараты настраиваются на съемку целого ряда изображений при разной экспозиции, отражающей пределы изменения яркости освещения от самого сильного до самого слабого источника света (рис. 10.21). В отсутствие таких изображений фиксация всех самых ярких источников света на сцене может ограничиться лишь чисто-белыми подсветками без учета их относительной яркости или окраски. А с помощью изображений светопробы точно фиксируется относительная яркость или окраска каждого источника света.

НА ЗАМЕТКУ

Подробные сведения об изображениях с расширенным динамическим диапазоном можно найти в Internet по адресу www.cs.berkeley.edu/~debevec/ и www.fiatlux.berkeley.edu/mkhdr/. Первым коммерческим приложением, поддерживавшим освещение с помощью изображений с расширенным динамическим диапазоном, стала программа LightWave 3D компании NewTek (www.newtek.com).

ДРУГИЕ МЕТОДЫ

Светопробы и образцовые шары отнюдь не всегда могут быть использованы на съемочной площадке, ибо никто не будет останавливать съемочный процесс ради получения ряда специальных образцовых кадров. Ино-

гда даже невозможно попасть на место съемки материала для рирпроекционного фона.

Несмотря на все преимущества измерения освещения с помощью разных видов образцовых шаров, освещение сцены может измениться после его измерения. Кроме того, шары в одном месте сцены могут и не предоставить достоверную информации об освещении в другом ее месте. Для измерения освещения в каждой точке пространства сцены потребуется бесконечное число проб.

Если имеется доступ на съемочную площадку, то для согласования освещения могут быть использованы следующие методы.

- **Установите фотоаппарат на съемочной площадке.** Сделайте ряд образцовых снимков съемочной площадки и освещения вокруг нее. Сделайте снимки плоскостей стен или полов, ибо они могут затем пригодиться для проецирования текстур. Сделайте панорамные снимки, чтобы затем использовать их для получения карт отражений.
- **Выполните замер съемочной площадки с помощью рулетки.** Попробуйте сначала получить план съемочной площадки, хотя точности этого плана не стоит особенно доверять. Поэтому возьмите на съемочную площадку рулетку и сделайте ее замер, чтобы затем построить (при необходимости) трехмерную модель съемочной площадки на основании ее замера.
- **Следите за изменениями во время съемки.** Во время съемки в студии освещение постоянно регулируется и даже положение стен и отдельных частей декораций меняется при переходе от одного вида съемки к другому. А при внестудийной съемке освещение меняется в зависимости от погодных условий и времени дня.

Если доступ на съемочную площадку отсутствует либо рирпроекционный фон получен из уже отснятого материала или других источников, то для согласования освещения могут быть использованы следующие методы.

- **Изучите тени на рирпроекционном фоне.** После согласования длины и направления теней в трех-

мерной сцене источники света окажутся в ней на своих местах.

- **Используйте объект на рирпроекционном фоне для определения цветов окраски освещения.** Попробуйте найти белый или серый объект на рирпроекционном фоне для выбора значений цвета RGB.
- **Попытайтесь найти образцовые объекты на рирпроекционном фоне для построения согласующей трехмерной модели.** Выравнивая трехмерную модель по настоящему объекту, можно сравнивать на ней освещение и подсветки до тех пор, пока не будет получено такое же освещение, как и на рирпроекционном фоне.

Каждая продукция ставит перед ее создателями особые задачи, тем не менее приведенные выше основные приемы вполне пригодны для согласования освещения практически с любым рирпроекционным фоном.

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА С КОМПОНОВЩИКОМ

На производственных студиях создатели трехмерной продукции не всегда занимаются полной ее компоновкой. Нередко для этой цели специально нанимается компоновщик, собирающий отдельные кадры эффектов, содержащие трехмерные визуализированные элементы, а также кадры съемки с естественным движением и другие виды рирпроекционного фона.

В условиях производства коммерческой продукции оказывается экономически выгодно завершить работу над трехмерной продукцией как можно раньше и передать ее для компоновки, после чего можно вносить изменения и экспериментировать уже на стадии компоновки. Стоимость трехмерной визуализации нередко определяется бюджетом каждого проекта в отдельности, тогда как услуги компоновки оплачиваются по часам.

Скорость компоновки обычно позволяет клиентам контролировать этот процесс, оценивать результаты и требовать внесения изменений по завершении работы. Такая скорость и степень вмешательства клиентов в процесс создания трехмерной продукции пока еще недостижимы (и слава Богу), хотя клиентов вполне устраивает возможность требовать внесения изменений на этапе компоновки двухмерных изображений, даже несмотря на почасовую оплату услуг компоновки.

Более подробные сведения о компоновке в целом можно найти в книге *Art and Science of Digital Compositing (Наука и искусство цифровой компоновки)* Рона Бринкмана (Ron Brinkman), издательство Morgan Kaufmann, либо в книге *Digital Compositing in Depth (Все о цифровой компоновке)* Дуга Келли (Doug Kelly), издательство Coriolis.

Если предоставить компоновщику большую свободу действий, то вероятность повторной визуализации отдельных кадров анимации намного уменьшится. Ниже приведен ряд рекомендаций относительно того, что можно для этого сделать во время визуализации.

- **Сохраняйте объекты анимации в кадре.** Иногда возникает потребность изменить положение объекта в кадре для повторной анимации его положения или слежения за ним движущейся двухмерной камерой. В таком случае все объекты анимации, положение которых может быть изменено компоновщиком, следует расположить в кадре трехмерной сцены таким образом, чтобы они не выходили за край кадра. Даже если компоновщику потребуются увеличить размер объекта, это все же лучше, чем потерять часть объекта, которая должна быть видна в кадре.
- **Визуализируйте “чистые” кадры съемки, а эффекты монтажа оставляйте для компоновки.** В большинстве программ трехмерной графики и анимации имеется возможность вводить в визуализируемые сцены такие эффекты, как свечение, размытость, зернистость пленки и блики в объективе. Но, как правило, сцены лучше визуализировать без этих эффектов и ввести их в программе компоновки. Ведь совершенно незачем повторять трассировку лучей лишь для проверки различной степени зернистости пленки, если этот эффект может быть быстрее и проще введен в визуализированное изображение в программе компоновки.
- **Делайте движение объекта более замедленным, чтобы впоследствии можно было его ускорить.** Ускорить движение намного проще, чем замедлить. Для этого достаточно выбросить ряд кадров или смонтировать их с наплывом. А для замедления движения придется создать новые кадры, нередко повторяющие уже существующие кадры, в результате чего движение может оказаться скачкообразным.
- **Используйте весь интервал экспозиции.** Если вы еще не ознакомились с материалом главы 7, сделайте это теперь! К важным вопросам компо-

новки относится согласование с уровнями яркости черного, цветами и яркостью рирпроектированного фона. Компоновщики получают большую свободу действий, если будут иметь возможность использовать весь доступный интервал экспозиции, чтобы исключить появление таких артефактов, как полосатость, во время цветовой коррекции.

- **Избегайте ограничения.** Выделенные чисто-белым передержанные участки, а также выделенные совершенно черным недодержанные участки визуализированного изображения не могут быть, по существу, затемнены или осветлены во время компоновки. Поэтому затенение следует сохранять в пределах тех тонов, которые допускают последующую коррекцию.
- **Выполняйте визуализацию с большим числом проходов.** Как правило, сценами, визуализируемыми с большим числом проходов, проще манипулировать, чем теми, которые визуализированы с меньшим числом проходов. Так, если получен отдельный проход визуализации освещения конкретным источником света, компоновщик может сделать этот источник света более сильным, слабым или окрашенным без повторной визуализации в трехмерной среде.

Компоновка — это сложное искусство и требует изучения художниками, занимающимися трехмерной графикой. В идеальном случае следует попытаться приобрести опыт компоновки в качестве обучающегося или участника малобюджетных проектов, где, как правило, художникам приходится быть мастерами на все руки. Даже если компоновка выполняется на собственном ПК, она может сэкономить немало времени, эффективно разрешить многие затруднения и в конечном итоге стать неотъемлемой частью творческого процесса всякого художника, занимающегося трехмерной графикой.

УПРАЖНЕНИЯ

1. Загрузите многослойный файл Photoshop из Web-сайта по адресу <http://www.3dRender.com/light/compositing> и проанализируйте функции

различных проходов. Сможете ли вы улучшить изображение, корректируя цвет, смещение или уровень размытости в отдельных его слоях?

2. Возьмите напрокат современный фильм, например “*Динозавр*” (*Dinosaur*) студии Уолта Диснея, в котором трехмерные визуализированные сцены наложены на рирпроекционный фон с естественным движением. Анализируя отдельные кадры этого фильма в режиме стоп-кадра, ответьте на следующие вопросы.

Насколько удачно скомпонованы проходы визуализации теней и согласуются ли они с настоящими тенями на рирпроекционном фоне?

Совпадают ли уровни черного и темные тона трехмерных элементов и кадров естественного движения?

Согласован ли уровень насыщенности цвета?

3. Загрузите любую трехмерную сцену, визуализированную ранее в виде отдельного прохода, а затем попытайтесь разделить ее на несколько слоев и проходов. Попробуйте улучшить каждый аспект сцены, визуализируя его отдельно. В частности, попытайтесь добиться наиболее реалистичного вида подсветок в проходе визуализации подсветок. Скомпонуйте полученные результаты в программе раскраски или компоновки, откорректируйте отдельные слои и выясните, насколько удалось улучшить исходную визуализированную сцену.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Надеюсь, что читатель извлек не меньшую пользу из настоящей книги, чем я как ее автор. Эта книга дала мне возможность изложить на бумаге методы, понятия и принципы, которыми я пользовался в своей практике, а также поделиться своим скромным профессиональным опытом. Я продолжаю быть активным членом сообщества энтузиастов компьютерной графики, публикуя статьи и учебный материал на своем Web-сайте (www.3dRender.com). Буду рад получить по указанному выше адресу ваши отклики на эту книгу в любом виде: вопросы, предложения, замечания, жалобы или правки. Можете свободно обращаться ко мне по всем вопросам, касающимся настоящей книги. Желаю удачной визуализации!

Джереми Берн

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Аддитивная компоновка, 43
- Аддитивное расположение слоями, 43
- Алгоритмы
 - затенения, 224
 - формирования теней, 99
- Альфа-канал, 169; 243
- Анаморфотная насадочная линза, 218
- Анимация
 - движения камеры, 212
 - затенителей, 135
 - и глобальное освещение, 289
 - параметров источника света, 134
 - положения
 - источника света, 132
 - камеры, 210
- Апертура, 187
- Аппликация, 244

Б

- Баланс белого, 152
- Большой контраст, 181

В

- Вертикальное панорамирование, 211
- Визуализация
 - в несколько проходов, 296
 - каустики, 285

- полей, 194; 195
- полного глобального освещения, 285
- пробная, 37
- слоями, 293
 - преимущества, 295
- теней, 276
- частиц, 308

Вспомогательные методы согласования освещения, 319

Вторичные цвета, 138

Выход за край экрана, 220

Выдержка

- определение, 191
- цвета, 159

Выравнивание текстур

- пропорциональное, 255

с помощью

- непланарных проекций, 251
- планарных проекций, 250

Г

- Гамма-коррекция, 185
- Гели, 159
- Геометрическая форма объекта, 45
- Гистограмма, 173
- Глубина
 - луча, 279
 - резкости, 188
 - трассировки лучей, 279
- Глубокий фокус, 188

Голубой заливающий свет, 147

Графический вес, 215

Д

- Движения камеры, 211
- Диафрагма, 188
- Дополнительные цвета, 139; 141
- Древовидная структура затенения, 269

З

- Задняя подсветка, 59; 78
- Затвор, 192
- Затенение, 47; 57
 - анизотропное, 230
 - видозависимое, 226
 - видонезависимое, 226
 - зеркальное, 225; 273
 - изотропное, 230
 - рассеянное, 225
- Затенители, 130
- Затухание
 - линейное, 124
 - определение, 123
 - отсутствие, 126
 - по закону обратных квадратов, 124
- Зеркальность, 227
- Зеркальные подсветки, 224; 228
- Зеркальный цвет, 229
- Значение цвета, 142

И

- Изображения
с расширенным динамическим диапазоном, 318
светопробы, 318
- Имитация
загрязнения, 266
задней подсветки, 79
мягкого света, 117; 119
отраженного света, 68
прозрачности теней, 100
теневых источников света, 111
теней, 105; 111
- Имитируемая излучательность, 287; 290
- Имитируемые карты глубин, 310
- Интервал экспозиции, 184
- Исключение теней, 92
- Источники света
всенаправленные, 29
заливающего, 28; 59; 68
контражурного, 59
направленного, 59; 61
направленные, 33
нетемпературные, 158
окраска, 154
отраженного, 287
отрицательной яркости, 105; 107
поверхностные, 34
линейные, 36
плоские, 36
сферические, 35
пржекторы, 30
раздельная проверка, 38
температурные, 158
теневые, 109; 110
точечные, 29

К

- Кадрирование, 212
- Калибровка монитора, 25; 139
- Каналы цвета, 168
- Карты
глубин, 98; 310
загрязнения, 266
зеркальности, 239
мозаичные, 263
образцовые, 251
общего освещения, 242
отображения цветов, 237; 239
прозрачности, 242
пропорциональные, 252
раскрашенные вручную, 248
рассеяния, 237
рельефности, 245
светимости, 241
смещения, 247
текстур, 247
текстур, получаемые из настоящих поверхностей, 257
трафаретные, 264
усечения, 244
фотонные, 283
шаблонные, 252
ярлыковые, 264
- Каустика, 284; 286
- Колбочки, 147; 164
- Композиция, 199
- Компоновка
важность освоения, 322
определение, 293
по глубине, 311
проходов визуализации, 301
- Компоновщик, 321
- Контроль освещения, 25

К

- Координаты UV
неявные, 253
явные, 256
- Коэффициент контрастности, 184
усиления, 190

Л

- Линия действия, 204
- Любительский мрак, 177

М

- Малый контраст, 180
- Метод быстрого листания визуализированных изображений, 41
излучательности, 281
- Многослойные оттенители, 265
- Многочисленные подсветки, 232
- Моделирование с помощью освещения, 56
- Мозаичное расположение, 263
- Мягкий свет, 115; 116
- Мягкость конуса прожектора, 31

Н

- Наведение на резкость со штатива, 211
- Настройка монитора, 24; 139
- Насыщенность, 140
- Насыщенные цвета, 146
- Недодержка, 176
- Недостатки экспонирования, 174
- Неоновые вывески, 37
- Нормаль поверхности, 233

О

Область тени, 93

Объективы

для портретной съемки,
208

макросъемочные, 258

широкоугольные, 208

Ограничение, 182

Огрубление, 178

Оконечный элемент, 235

Окраска

внутреннего освещения,
158

наружного освещения,
155

черно-белых
изображений, 150

Окрашивание, 156; 282

Оптические эффекты, 308

Организация работы
с клиентом, 48; 52

Ориентир глубины, 145

Осветление теней

заливающим светом, 97

общим освещением, 96

Освещение

глобальное, 280

локальное, 280

общее, 26; 28

трехмерных сцен

в условиях производства,
44

трехточечная схема, 55

фоновое, 59

Ослабление, 73

Основные цвета, 137

аддитивные, 138

субтрактивные, 138

Отражатели, 291

Отражение

глянцевое, 225

зеркальное, 224; 284

рассеянное, 225; 284

смешанное, 225; 284

трассированное лучами,
272

мягкое, 274

Оттенок, 140

П

Палитра цветов, 167

Палочки, 147

Панорамирование, 211

Панорамирование
и сканирование, 219

Переводной рисунок, 264

Передержка, 175

Перспектива, 206

План

дальний, 201

крупный, 200

общий, 200

предельно крупный, 200

средний, 200

средний крупный, 200

средний, двух актеров,
202

съемки, 200

Пленка

высококочувствительная,
190

для съемки

в помещении, 156

при дневном свете,
155

малочувствительная, 190

Плоскость изображения, 315

Поверхности

NURBS, 253

подразделения, 256

Показатель преломления,
277

Полигональные каркасы,
256

Полное кадровое окно, 218

Полосатость, 178

Поля видеокадра, 193

Постановка, 199

Правило третей, 213

Преломление, 277

Проверка

на ложную окраску, 41

на поворотном круге, 226

по гистограмме, 186

Проекция

непланарная, 251

планарная, 250

сферическая, 251

цилиндрическая, 251

Проецирование

видимости, 244

зеркальности, 239

накаливания, 241

общего освещения, 242

постоянного свечения,
241

прозрачности, 242

пропорциональное, 253

рассеяния, 237

рельефности, 245

светимости, 241

смещения, 246

текстур, 236

усечения, 244

фотонное, 283; 284

цвета, 237

Проецируемый рисунок
света

определение, 129

эффекты, 131

Прожекторы, 30

Пространство

взгляда, 214

носовое, 214

отрицательное, 213

положительное, 213
 Проход визуализации
 глубины, 310
 зеркальности, 298
 картинки, 297
 освещения, 306
 отражений, 300
 подсветок, 298
 происхождение понятия,
 312
 рассеяния, 297
 теней, 303
 эффектов, 308

Р

Развертка
 полевая, 194
 построчная, 194
 чересстрочная, 194
 Разводка по оси Z, 202
 Размытость движения, 192
 Разрядность цвета, 167
 Резкий свет, 114; 115
 Рекомендации
 по вводу источников
 отраженного света
 в сцену, 288
 по оцифровке
 изображений текстур,
 261
 по подготовке
 визуализированного
 материала для
 компоновки, 321
 по съемке фотографий
 для текстур, 257
 по установке глубины
 трассировки лучей, 280
 Рекурсия луча, 279
 Рирпроекционный фон, 315
 Ротоскопный фон, 315

С

Светлые тона, 73
 Светопробы, 318
 Светочувствительность
 пленки, 190
 Свойства света
 анимация, 132
 мягкость, 114
 окраска, 127
 определение, 113
 проекция, 128
 сила, 121
 Скосы, 234
 Смещение цветов
 аддитивное, 138
 субтрактивное, 138
 Смещение
 векторное, 247
 скалярное, 247
 Соотношение направленного
 и заливающего света, 72
 Сохранение количества
 света, 127
 Спад, 31
 Спектральная чистота цвета,
 165
 Справочная таблица цветов,
 167
 Средства организации
 проходов визуализации, 313
 Строки развертки, 193
 Съемка
 в движении, 211
 видеокамерой, 190
 виды, 200
 встречная, 203
 дальним планом, 201
 крупным планом
 на расстоянии, 207
 общим планом, 201
 под большим углом, 206
 под малым углом, 206

реакции, 201
 с точки зрения, 208
 через плечо, 203

Т

Творческий контроль, 21
 Текстуры
 поверхности, 255
 процедурные, 267
 в сравнении с картами
 текстур, 270
 сплошные, 255; 268
 трехмерные, 268
 Телевизионные стандарты,
 191
 Телевизионный
 кинопроектор, 197
 Телекинодатчик, 196
 Телеобъективы, 258
 Темные тона, 73
 Теневой объект, 304
 Тени
 визуальные функции, 86;
 88
 мягкость, 104
 окраска, 95
 определение, 93
 от источника
 заливающего света,
 90; 91
 направленного света,
 89
 от прожекторов и других
 источников света, 99
 привязанные, 304
 разрешение, 102
 вдвоенные, 305
 формируемые методом
 проецирования карты
 глубин, 98
 проецирования карты
 теней, 98
 трассировки лучей,
 98

яркость, 94
 Теплые цвета, 145
 Точки освещения, 59
 Трансфокация, 211
 Трассировка лучей, 98; 272
 Трехмерные модели в качестве теней, 107
 Трехточечная схема освещения, 55; 59

У

Углы расположения камеры, 204; 206
 Угол раскрытия затвора, 192
 расположения нормали поверхности, 233
 Установка в рамку, 219
 цветового баланса, 162

Ф

Фильтр нейтральной оптической плотности, 196
 Формат

RPF, 314
 кадра, 216
 пленки, 216
 телевизионного экрана, 216
 Фотография контролируемого движения, 313
 цветная, 148
 черно-белая, 148

Х

Холодные цвета, 145
 Хроматическая аберрация, 145

Ц

Цвет RGB, 163
 Цветные фильтры, 148; 159
 Цветовая схема, 140
 Цветовая температура, 152
 Цветовой баланс, 151; 152; 160
 Цветовой контраст, 141
 Цветовой круг, 137

Цветовые ассоциации, 143; 144

Ч

Частота кадров, 191
 полей видеокадра, 194
 смены кадров, 191

Ш

Шары зеркальные, 315
 матовые, 315
 образцовые, 318

Шероховатость поверхности, 229

Э

Экраны, 130
 Экспериментирование, 52
 Экспозиция, 173
 Экспонометры, 187
 Эффект колеса повозки, 194
 Френеля, 231