

Создано:07/03/2018

Автор: Allegorithmic

Обновлено:19/03/2018

Ревизия:40

Перевод: Леонид Садеков (Специально для [XYZ School](#))

|| BEGINNER

📌 SUBSTANCE PAINTER

📌 SUBSTANCE DESIGNER

📌 SUBSTANCE B2M

PBR руководство от Allegorithmic – том 2

Практические принципы создания PBR текстур



Читайте первую часть PBR руководства [здесь](#) ([оригинал](#))



Содержание:

- Что такое PBR? Каковы его преимущества? Что он значит для художников?
- Подход Metal/Roughness: Диэлектрик F0 / Базовый цвет / Металл / Шероховатость / Разрешение и плотность текстеля / Достоинства и недостатки
- Подход Specular/Glossiness: Диффузность / Зеркальность / Глянцевость / Разрешение и плотность текстеля / Достоинства и недостатки
- Общие карты: Ambient Occlusion / Высоты / Нормалей
- PBR программы Substance: Substance Designer / Substance Painter / Вывод материалов Substance и рендеринг
- Дополнение – таблицы “Поверхность металлическая?” / Значения отражаемости / Сравнение правильных/неправильных текстур

Практические рекомендации создания PBR текстур

В первой части мы описали PBR с технической и теоретической точек зрения. Во второй мы рассмотрим практическое применение PBR текстур и предоставим набор рекомендаций на основании базовых знаний, полученных в первой части.

Мы начнем с пересмотра PBR с художественной точки зрения. Позже рассмотрим принципы подхода Metal/Roughness (Металл/Шероховатость). Затем обратимся к Specular/Glossiness (Отражаемость/Глянцевость) и изучим различия обоих подходов. Лучше всего будет изучить оба подхода для полного понимания принципов создания PBR текстур.

В этом руководстве рабочие подходы рассматриваются на примере инструментов Substance, но описанные рекомендации создания текстур применимы в любой программе, которая используется для создания физически корректных материалов.

Физически корректный рендеринг (PBR) – это скорее методология, нежели жесткий стандарт. Для его описания создано несколько различных моделей, основанных на конкретных рекомендациях и указаниях, ни одно из которых не относится к четким правилам. Виды текстур и используемые подходы могут различаться. Наиболее широко используется GGX BRDF, но иногда встречаются различия в терминологии. К тому же, в некоторых моделях различаются названия текстур, хотя способ их использования остается неизменным.

В этой части мы обсудим два самых распространенных подхода – Metal/Roughness и Specular/Glossiness (Рисунок 16). Программы Substance Painter, Substance Designer и Substance B2M для создания PBR текстур поддерживают оба подхода. PBR шейдеры Substance используют GGX BRDF в Metal/Roughness и Specular/Glossiness без переназначения величин для Roughness/Glossiness. Однако если все-таки потребуется пользовательское переназначение, то это можно без проблем реализовать в Substance.



Рисунок 16: Подходы *Metallic/Roughness* и *Specular/Glossiness*

Кроме того, программы Substance поддерживают пользовательские шейдеры. Это дает возможность самостоятельно адаптировать Substance под персонализированный рабочий процесс.

Хотя в обоих подходах присутствуют достоинства и недостатки, ни один не превосходит другой. Владение основополагающими концепциями и рекомендациями позволяет создавать физически корректные PBR текстуры, а не конкретный подход. Каждый подход предоставляет один набор информации, но реализует его по-разному.

Что такое PBR?

Физически корректный рендеринг (*Physically based rendering - PBR*) – это метод затенения и рендеринга, обеспечивающий наиболее точное представление взаимодействия света с поверхностями. Помимо физически корректного рендеринга (PBR), встречается название физически корректного затенения (*Physically based shading - PBS*). В зависимости от обсуждаемых рабочих особенностей, PBS обычно относят к затенению, а PBR к рендерингу и освещению. Однако оба определения описывают процесс физически корректной визуализации объектов.

Каковы его преимущества?

Рассмотрим преимущества использования PBR с художественной и производственной точек зрения:

1. С PBR мы перестаем гадать на характеристиках поверхности, например, отражаемости, поскольку его методология и алгоритмы основаны на физически корректных расчетах, а значит гораздо проще создавать реалистичные модели.
2. Модели выглядят корректно при любом освещении.
3. Использование PBR позволяет различным художникам совместно создавать целостные работы.

Что он значит для художников?

Как художникам нам стоит разносторонне мыслить о текстурах, описывающих свойства поверхности, поскольку достижения в аппаратных технологиях и рендеринге позволяют нам точнее имитировать физику света.

Нам стоит отбросить традиционные концепции текстур диффузности и зеркальности, поскольку эти карты используются только для приближенного описания взаимодействия света с материалами.

В PBR, шейдер регулирует соблюдение физических законов, рассчитывая сохранение энергии и BRDF, пока художники создают текстуры, руководимые физическими принципами. Научные аспекты PBR избавляют нас от гаданий на свойствах материала и дают сосредоточиться больше на художественных аспектах текстурирования. Хотя для нас важно придерживаться установленных рекомендаций для создания корректных текстур, это не означает, что нам стоит игнорировать собственную художественную интуицию. Творческое виденье в первую очередь наделяет материал характером, раскрывая его состояние через тщательно проработанную детализацию и выразительность. Главной заботой художника никогда не должна быть физика процесса. Только потому, что мы работаем с физически корректным окружением, не означает, что нам нельзя создавать стилизованные работы. К примеру, Диснеевская физически корректная модель отражаемости разрабатывалась с целью стать руководящим подходом для помощи в решении художественных задач, а не следовании физическим законам. Важно не быть заложниками рекомендаций и принципов, а уметь их использовать.

Как художникам нам важно разносторонне подходить к созданию текстур, описывающих свойства поверхности. Появляются новые типы текстур и правила, которых стоит придерживаться.

Подход Metal/Roughness

Подход Metal/Roughness определяется набором каналов, в каждый из которых PBR шейдеру передается соответствующая текстура. Характерные для Metal/Roughness карты – это базовый цвет (**base color**), металл (**metallic**) и шероховатость (**roughness**) (Рисунок 17). Мы рассмотрим каждую из них ниже. Дополнительно PBR шейдер использует карты Ambient Occlusion и нормалей (**normal**), и возможно карту высоты (**height**) для параллактического или дисплейсмент маппинга (Рисунок 18).

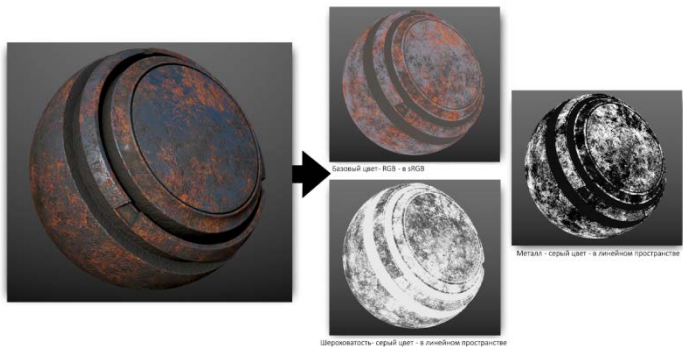


Рисунок 17: Подход Metallic/Roughness

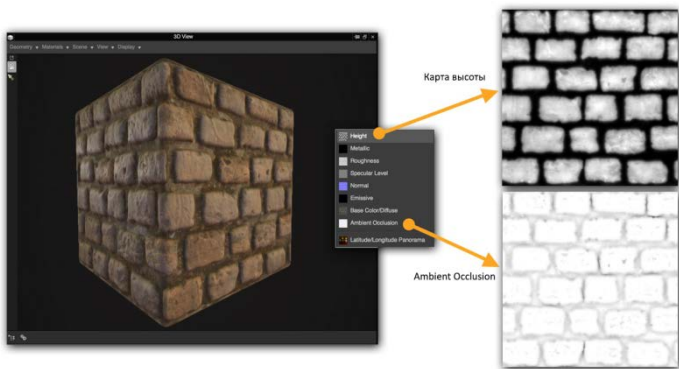


Рисунок 18: Карта высоты и Ambient Occlusion – дополнительные карты для шейдера

В подходе Metal/Roughness значение отражаемости для металлов и отраженный цвет для диэлектриков задаются картой базового цвета. Отражаемость при угле скольжения рассчитывается через BRDF. Карта металла используется, как маска для разграничения областей металла и диэлектрика на карте базового цвета. Значения F0 для диэлектрика задаются не вручную, а шейдером. Когда он видит черный цвет на карте металла, то

использует информацию с карты базового цвета как для диэлектрика и устанавливает значение отражаемости в 4% (0.04) (Рисунок 19).

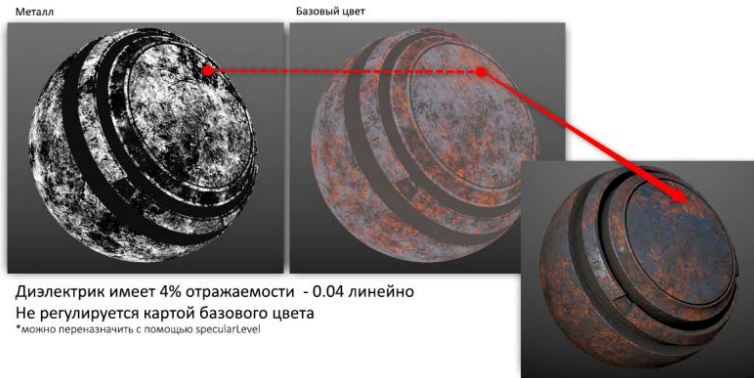


Рисунок 19: Чёрный цвет обозначает неметалл с отражаемостью 4%

Как рассматривалось в первой части, значение отражаемости в 4% используется для большинства диэлектрических материалов. Стоит отметить, что значения вроде коэффициента F_0 для диэлектрика, отражаемости металла и диапазона яркости цвета альbedo получены из результатов реальных измерений. На примере каждого типа текстур мы также обсудим принципы, основанные на результатах измерений.

В первой части мы изучили концепцию сохранения энергии, согласно которой отраженный поверхностью свет никогда не будет интенсивней, чем был до соударения с ней. С точки зрения реализации, шейдер контролирует сохранение энергии, что верно и для программ Substance. В подходе Metal/Roughness нельзя нарушить закон сохранения энергии. Баланс диффузного (отраженный цвет) и отзеркаленного света контролируется маской металла, и невозможно попасть в ситуацию, где они смешиваются, отражая/преломляя больше света, чем поверхность получила изначально.

Значение отражаемости для металлов определяется картой базового цвета, как и отраженный цвет для диэлектриков.

Коэффициент F_0 для диэлектрика

Коэффициент F_0 для большинства диэлектрических материалов обычно задается значением в 4% отражаемости (0.04 в линейном пространстве). В подходе Metal/Roughness это значение используется шейдером по умолчанию.

В некоторых моделях Metal/Roughness, как, например, у Substance и Unreal Engine 4, присутствует контроль над отражаемостью, через который художникам позволитется изменять значение константы F0 для диэлектриков. В Substance это контролируется через канал “specularLevel” с предварительно подключенной текстурой в PBR шейдере metal/roughness. Этот канал представляет диапазон 0.0 – 0.8, как показано на Рисунке 20. Диапазон переназначается в шейдере на 0.0 – 1.0, где 0.5 – это 4% отражаемости.

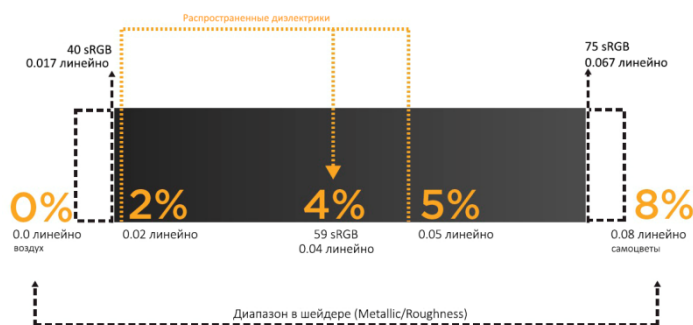


Рисунок 20: Вывод Specular Level представляет диапазон 0.0 – 0.8 для F0 диэлектрика внутри шейдера

Если нужно вручную указать значение F0 для диэлектрика, используйте вывод ноды specularLevel в Substance Designer или канал specularLevel в Substance Painter, как показано на Рисунке 21. Мы подробнее обсудим F0 у диэлектриков в подходе Specular/Glossiness, в котором у вас появляется полный контроль над значением F0.

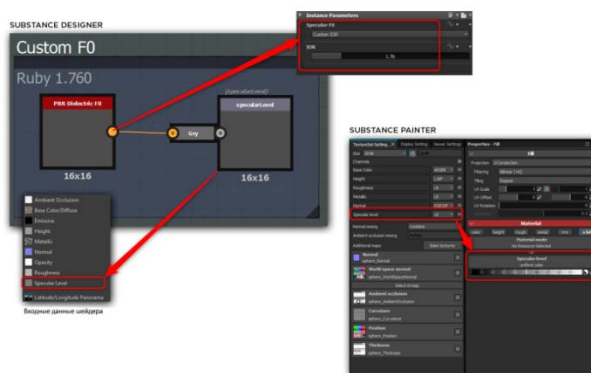


Рисунок 21: Пользовательское значение F0 диэлектрика устанавливается через канал specular level

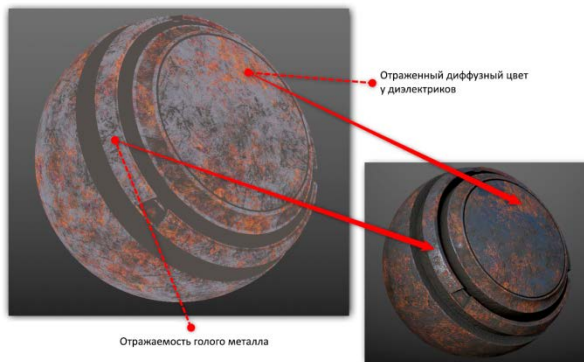


Рисунок 22: Базовый цвет обозначает отраженный диффузный цвет и значения отражаемости для металлов

Базовый цвет (RGB - sRGB)

Карта базового цвета (**base color**) – это RGB карта, содержащая два вида информации: диффузный отраженный цвет для диэлектриков и значения отражаемости для металлов, как показано на Рисунке 22. Отраженные длины волн обозначают цвет диэлектрика, как рассматривалось в первой части. С цветом передается и отражаемость, только если соответствующая область на карте металла окрашена белым цветом (металл).

Рекомендации по созданию

Карта базового цвета рассматривается как карта в плоской тональности, поскольку она менее контрастная, чем традиционная карта диффузности. Не рекомендуется оставлять на ней слишком яркие или темные цвета. Цветовой тон объектов, как правило, гораздо светлее, чем нам кажется. Мы продемонстрируем этот диапазон яркости шкалой, на которой самый темный цвет – это уголь, а самый светлый – белый снег. Уголь темного цвета, но не абсолютно черного (0.0). Цветовым значениям, что мы подбираем, стоит оставаться в пределах заданного диапазона яркости.

Рекомендации к диапазону яркости мы преимущественно относим к отраженному цвету диэлектрика. На Рисунке 23 показан пример, на котором цвет грязи опустился ниже корректного диапазона яркости. Значения темных тонов **не стоит опускать ниже 30 – 50 sRGB**. Диапазон темных тонов при нижней планке в 30 sRGB – допустимый, а в 50 sRGB – более строгий. Значения светлых тонов **не стоит поднимать выше, чем 240 sRGB** (Рисунок 23).

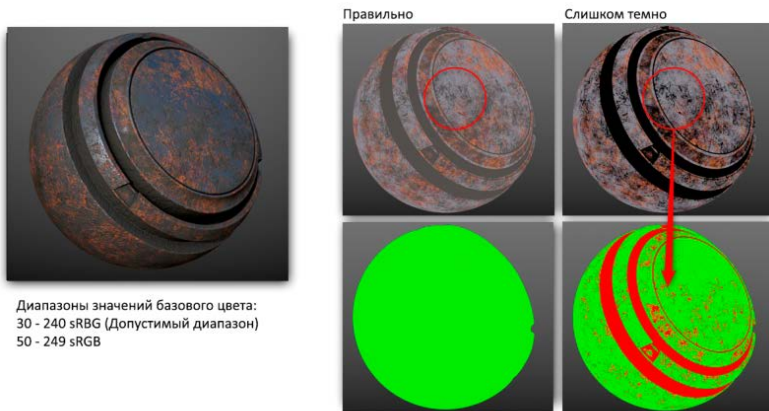


Рисунок 23: Диапазоны значений базового цвета для диэлектрических материалов (отраженный цвет)

Мы установили, что карта базового цвета содержит информацию об отраженном свете диэлектрических материалов и, следовательно, в ней отсутствует световая информация, например, Ambient Occlusion. Исключением считается наличие микрозатенений в случаях, когда шейдер не справляется с передачей желаемой детализации только через канал Ambient Occlusion, как показано на Рисунке 24. Однако если микрозатенения все-таки присутствуют на текстуре, то им стоит лежать внутри заданного диапазона яркости. Значения, определяющие отражаемость для металлов на текстуре, стоит брать из результатов реальных измерений. Они должны лежать внутри примерного диапазона **70-100% отражаемости, который в sRGB задается через 180-255**.

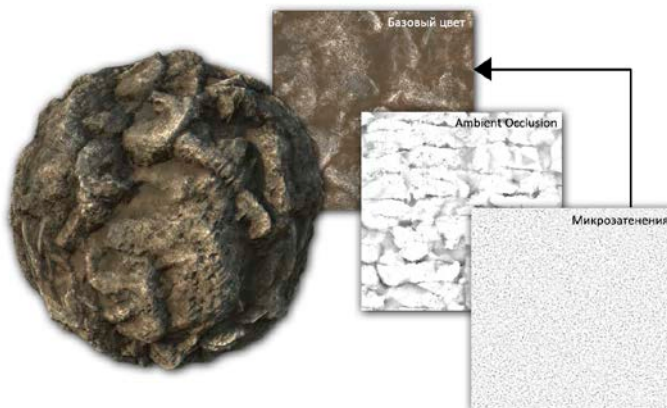


Рисунок 24: Исключением наличия световой информации на карте базового цвета считаются микрозатенения

В разделе о PBR программах Substance мы обсудим инструменты с предустановками для значений FO распространенных материалов. Таблица metal/roughness, созданная Себастьяном Лагардом, также надежный источник информации (Лагард 2014).

Значения, определяющие отражаемость металлов, стоит получать из результатов реальных измерений.

- Цвет обозначает альбедо для неметаллов или значение отражаемости для металлов.
- На карте базового цвета должна отсутствовать информация об освещении, за исключением микрозатенений.
- Темные тона не должны быть ниже 30 sRGB (допустимый диапазон) и 50 (строгий диапазон).
- Светлые тона не должны быть выше, чем 240 sRGB.
- Отражаемость голого металла достаточно высокая – в диапазоне 70-100% отражаемости, который в sRGB задается через 180-255.

Как написано в разделе о карте металла ниже, базовый цвет также содержит значения отражаемости металла. Если на карте базового цвета присутствует грязь или окислитель, то это приведет к понижению значений отражаемости металла до диапазона, который не соответствует голому металлу.

Карта металла должна учитывать присутствие грязи или окислителя, яркость которых необходимо уменьшить в соответствующих областях, чтобы обозначить их как неметаллы. На Рисунке 25 видно, что заржавевший металл считается диэлектриком и задается черным цветом на карте металла. Тонкий слой грязи обозначается через переходные значения серого цвета, из-за которого карта перестает считаться бинарной со значениями 0.0 (черный) и 1.0 (белый).

Карта металла действует как маска, поскольку говорит шейдеру, как необходимо интерпретировать информацию с карты базового цвета.



Рисунок 25: Учитывайте на карте металла присутствие грязи и/или окислителя

Металл (Серый цвет – линейное пространство)

Карта металла (*metallic*) используется для обозначения областей голого металла на материале. Как карта в значениях серого она действует как маска, поскольку говорит шейдеру, каким образом интерпретировать информацию с карты базового цвета.

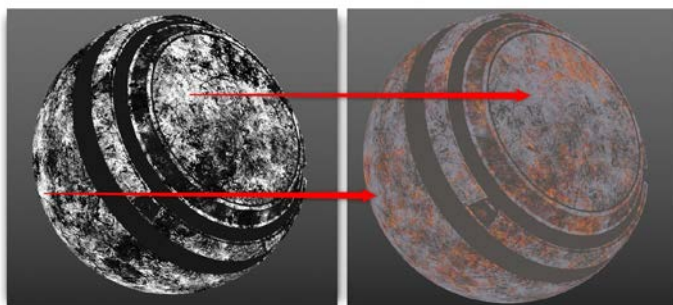


Рисунок 26: Карта базового цвета определяет отражаемость голого металла для белых областей на карте металла

На карте металла отсутствуют значения реальных результатов измерений, которые напрямую используются как значения материала. Она просто указывает шейдеру, какие области на карте базового цвета необходимо интерпретировать как отраженный цвет (диэлектрик), а какие обозначают отражаемость металлов. На карте металла **0.0 (черный – 0 sRGB)** – это неметалл, а **1.0 (белый – 255 sRGB)** – голый металл. Карта металла часто

бинарная для разделения областей карты на металл/неметалл: черный цвет – неметалл, а белый – метал. На практике, когда шейдер обрабатывает карту металла и находит белый цвет, то обращается к соответствующей области карты базового цвета для получения значений отражаемости металла, как показано на Рисунке 26.

Рекомендации по созданию

Металлические поверхности имеют два важных аспекта касательно текстурирования: во-первых, их значения отражаемости лежат в высоком диапазоне 70-100% отражаемости; во-вторых, некоторые металлы подвергаются коррозии. Мы разберем оба этих аспекта отдельно в разделе о рекомендациях по созданию.

Области металла, попавшие в заданный диапазон, должны иметь отражаемость в диапазоне 70-100%.

Голый металл

Карта металла определяется как 1 или 0, металл или неметалл, и используется для обозначения голого полированного металла. На карте металла рекомендуется придерживаться диапазона **235-255 sRGB** серого цвета для голого металла. Области, попавшие в этот диапазон, должны находиться в диапазоне отражаемости 70-100% на карте базового цвета, который в sRGB соответствует значениям **180-255**, как показано на Рисунке 27. Напоминаем, что эти значения взяты из результатов реальных измерений.

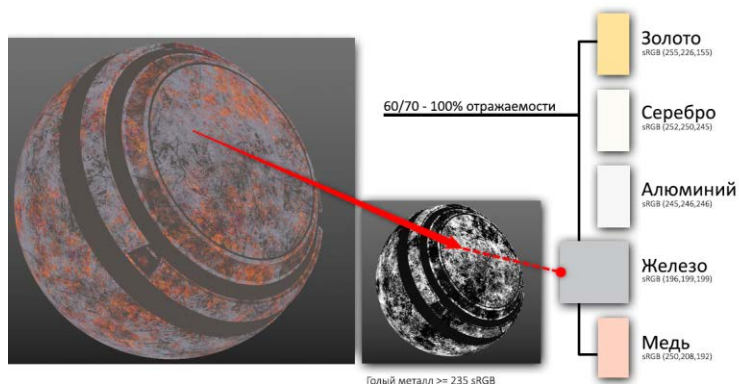


Рисунок 27: Обычный металл определяется значением ≥ 235 sRGB на карте металла

Слой ржавчины или диэлектрика

При планировании характера поверхности приходится учитывать возможное окисление металла или компенсировать влияние окружения, как появление грязи или сажи. В таких случаях голый металл становится диэлектриком, что справедливо и для окрашенного металла. Если вы посмотрите на окрашенный металл, то из-под обвалившейся краски будет виден голый металл (белый на карте металла), а остальная часть будет слоем диэлектрика (черный на карте металла), как показано на Рисунке 28.

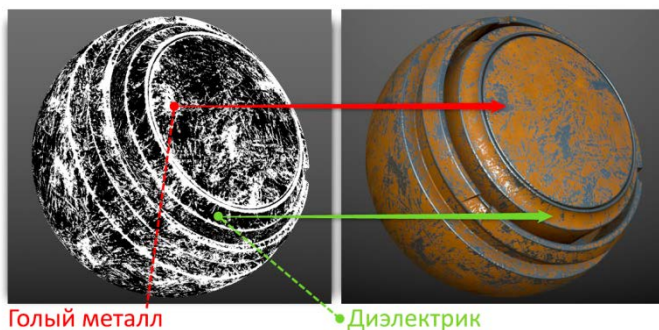


Рисунок 28: Окрашенный металл считается диэлектриком

Серыми цветами на карте металла обозначается переходное состояние между металлом и неметаллом. Если на карте металла присутствуют значения серого **в sRGB меньше 235**, то стоит уменьшить значения отражаемости “голого” металла на карте базового цвета. Представьте слой грязи, частично покрывший голый металл, как показано на Рисунке 29. Грязь – это диэлектрик, и если оставить карту металла залитой белым цветом, то карта базового цвета будет трактовать цвет грязи, как отражаемость для металла. Яркость грязи гораздо ниже, чем у значений, обозначающих полированные металлы с отражаемостью 70-100%. Если вы уменьшаете значения на карте металла для областей с грязью, то создадите смешивание между отражаемостью диэлектрика и металла.

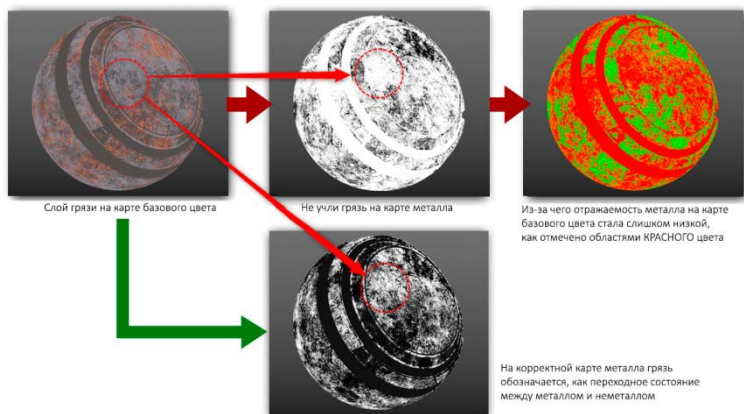


Рисунок 29: Значение серого цвета на карте металла обозначается в sRGB ≥ 235

Непрозрачность слоя грязи помогает определить, насколько сильно стоит понизить значение отражаемости на карте базового цвета. Для этого нет никаких жестких правил. Фактически вы переходите от более отражающей поверхности (проводник) к менее отражающей (диэлектрик). Однако степень этого перехода может варьироваться.

Программы Substance позволяют легко имитировать эффекты окружающей среды и контролировать их воздействие на подключенные каналы через поддержку многоканальности. Substance Designer и Substance Painter позволяют изменять параметры генератора эффектов, который автоматически регулирует изменения на каналах, контролируемых генератором.

Например, в Substance Designer вы можете использовать ноду Material Color Blend для применения эффекта грязи на нескольких каналах сразу. В ноду Material Color Blend, изменяя положение слайдера значений металла, вы контролируете степень его загрязнения, как показано на Рисунке 30.

Металл под воздействием окисления или ржавчины считается диэлектриком, то же верно для окрашенного металла.

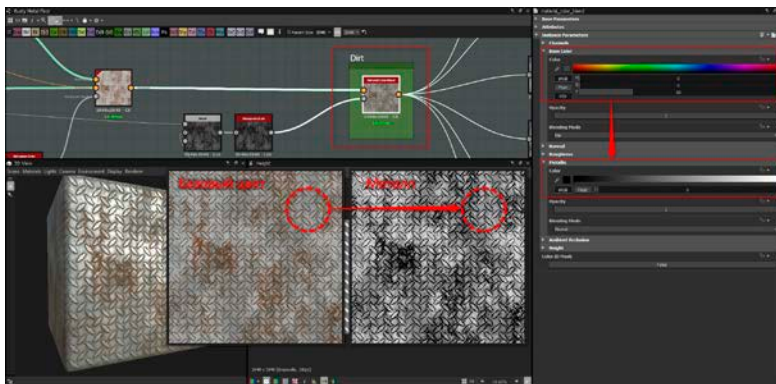


Рисунок 30: Material color blend. Низкие значения металла обозначают тонкий слой грязи (переходное состояние между грязью и металлом)

- Черный (0.0) – неметалл, а белый (1.0) – металл. При наличии грязи или окислителя на металле появляются переходные значения серого цвета.
- Если на карте металла присутствуют значения меньше чем 235 sRGB, то стоит понизить значения отражаемости на карте базового цвета.

Шероховатость (Серый цвет – линейное пространство)

Карта шероховатости (**roughness**) описывает неровности поверхности, которые вызывают диффузию света, как показано на Рисунке 31. Как рассматривалось в первой части, шероховатость поверхности хаотично изменяет направление отраженного света. Изменения касаются направления света, но не его интенсивности. На шероховатых поверхностях блики более широкие и тусклые. На гладких поверхностях блики сохраняют четкие зеркальные отражения, которые кажутся ярче или интенсивней, хотя в обоих случаях суммарно отражается одинаковое количество света.

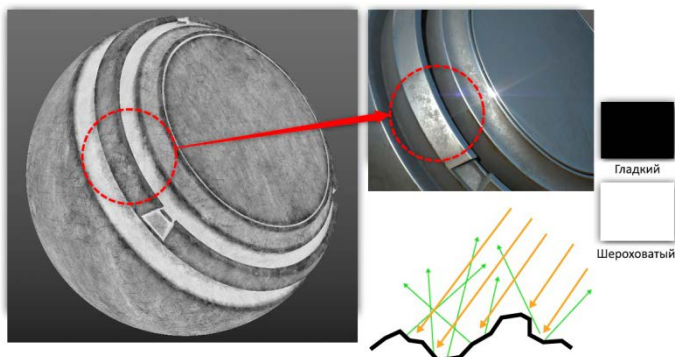


Рисунок 31: Карта шероховатости описывает неровности поверхности, вызывающие диффузию света

На этой карте черный цвет (0.0) обозначает гладкую поверхность, а белый цвет (1.0) – шероховатую. Карта шероховатости самая творческая текстура. Она позволяет художнику визуально определить характер поверхности и рассказать историю о ее состоянии. Что окружает поверхность? Как с ней обращались? На нее воздействовала окружающая среда? Состояние поверхности много рассказывает о своем окружении, что отражается во внешнем виде создаваемых вами моделей и миров.

Шероховатость – крайне субъективная часть. У вас, как художника, появляется полный творческий контроль. Правильный способ начать работать с шероховатостью - через карту нормалей. В ней часто содержатся ключевые детали поверхности, которые также должны присутствовать на карте шероховатостей.

Рекомендации по созданию

Будьте креативными и рассказывайте историю через характеристику поверхности.

Разрешение и плотность текстеля

Побочный результат использования подхода Metal/Roughness – появление белых артефактов вдоль граней, как показано на Рисунке 32. Подобное также происходит в Specular/Glossiness, однако, в нем артефакт заметен меньше из-за обратного эффекта: вместо белой грани возникает черная, как показано на Рисунке 33.

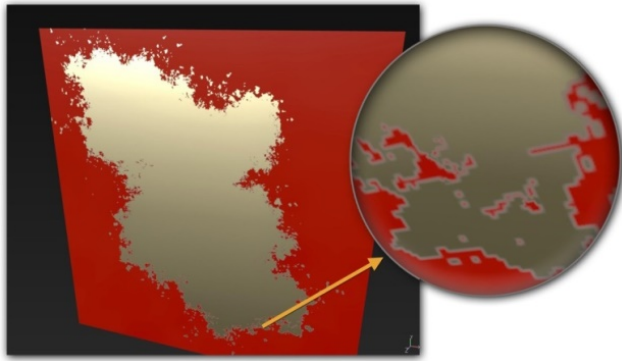


Рисунок 32: Побочный результат подхода metal/roughness – появление белых артефактов вдоль грани

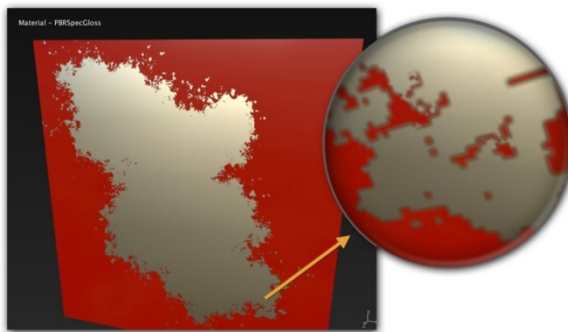


Рисунок 33: Побочный результат подхода specular/glossiness – появление черных артефактов вдоль граней

Подобная кромка появляется из-за текстурной интерполяции. Она возникает на переходных областях между сильно контрастирующими материалами, как диэлектриком и ярким металлом, как показано на Рисунке 34. В metal/roughness карта базового цвета с яркими значениями, характеризующими отражаемость металла, интерполируются с диффузным цветом неметаллов, что порождает белую грань. В specular/glossiness на карте диффузного цвета голый металл задается черным цветом, поскольку у металла отсутствуют диффузные отражения. Черный цвет интерполируется с диффузным цветом неметалла, чем порождает черную грань.

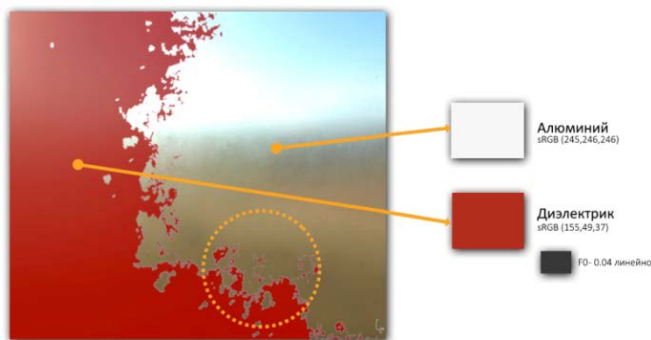


Рисунок 34: Артефакт возникает на переходных областях между материалами

Разрешение текстуры и плотность текселя прямо влияют на видимость артефактов вдоль грани. Например, используя жесткую кисточку для создания переходов между металлом и неметаллом, текстура с малым разрешением продолжит сглаживать грань, усиливая видимость артефакта. Подобная проблема также возникает на плохо отмасштабированных UV островах, которым не хватает плотности текселя относительно разрешения текстуры. Повышение плотности текселя UV островов поможет минимизировать артефакты вдоль граней, как показано на Рисунке 35.

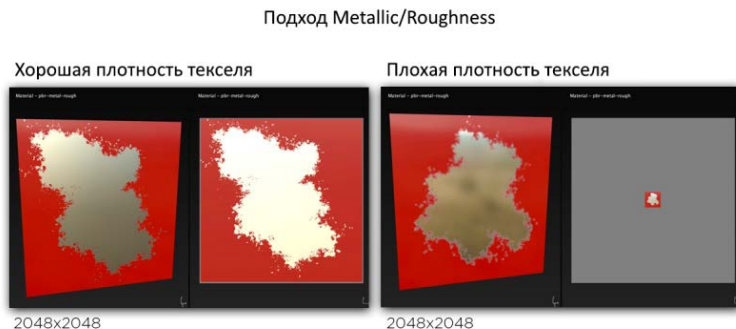


Рисунок 35: Повышение плотности текселя UV островов минимизирует артефакты вдоль граней

На Рисунке 35 обе текстуры показаны при одинаковом разрешении в 2048x2048 пикселей. Однако изображение справа иллюстрирует плохую развертку с малой плотностью текселя.

Разрешение текстуры и плотность текселя прямо влияют на видимость артефактов вдоль граней.

Рекомендации по созданию

Плотность текселя и разрешение текстуры влияют на появление белой грани в подходе metal/roughness. Для минимизации артефактов убедитесь, что UV острова имеют достаточную плотность текселя на основании разрешения текстуры.

Достоинства и недостатки подхода Metal/Roughness

Достоинства

- Простой в обращении и менее чувствительный к ошибкам, вызванным некорректным F0 у диэлектриков.
- Экономит текстурную память, поскольку карты металла и шероховатости хранятся в градациях серого.
- Наиболее широко используемый подход.

Недостатки

- Отсутствует контроль над F0 у диэлектриков при создании текстур. Однако большинство программ предоставляют контроль над отражаемостью для замены стандартного значения в 4%.
- Артефакты вдоль грани более заметны, особенно при небольшом разрешении.

Подход Specular/Glossiness

Как и с metal/roughness, specular/glossiness характеризуется набором конкретных текстурных карт, передаваемых PBR шейдеру. Это карты диффузности (*diffuse*), зеркальности (*specular*) и глянцевости (*glossiness*) (Рисунок 36).



Рисунок 36: Подход specular/glossiness

Хотя подход specular/glossiness использует более знакомые названия, как диффузность и зеркальность, важно понимать, что они никак не связаны с соответствующими традиционными аналогами. В Substance используется термин “диффузность”, но в некоторых других моделях его заменяет “альbedo”. PBR шейдер также использует карты Ambient Occlusion и нормалей, и иногда карту высоты для параллактического маппинга, что рассматривается в разделе **“Общие карты”**.

В specular/glossiness значения отражаемости для металлов и F0 для неметаллов регулируются картой зеркальности. В вашем распоряжении есть две RGB карты: одна для диффузного цвета (альbedo) и другая для значений отражаемости (зеркальность). Через карту зеркальности контролируется F0 у диэлектрических материалов.

Как упоминалось в разделе metal/roughness, в Substance PBR шейдер контролирует сохранение энергии. Помнить об этом законе гораздо важнее в specular/glossiness, поскольку карта зеркальности предоставляет полный контроль над значением F0 для диэлектрика, следовательно, она восприимчивее к наличию неверных значений. К примеру, белый (1.0) диффузный и белый (1.0) зеркальный цвета могут смешаться, отражая/преломляя больше света, чем поверхность получила изначально, нарушая этим закон сохранения энергии. Из-за этого информация на текстурах не будет соответствовать корректному результату.

Как видно, эти карты передают идентичную с metal/roughness информацию. Мы продолжим придерживаться уже описанных рекомендаций с различиями в подходе к работе с текстурами. Информация будет записываться в другие карты, однако руководящие принципы останутся прежними. Как уже заметили, значения F0 диэлектрика, отражаемости металла и диапазоны яркости для альbedo получены из результатов реальных измерений. Этот раздел не повторяет в точности уже рассмотренную в metal/roughness информацию,

скорее, здесь фокусируются на различиях и том, где их стоит учитывать в подходе specular/glossiness.

Диффузность (RGB - sRGB)

Как и с картой базового цвета в metal/roughness, карта диффузности (*diffuse*) содержит цвет альбеда. Однако она не передает значений отражаемости.

Рекомендации по созданию

Карта диффузности содержит только цвет альбеда. Области, обозначающие голый металл, на ней будут черными (0.0), поскольку у металла отсутствуют диффузные отражения (Рисунок 37). Области с окислением на металле обозначаются цветовым оттенком, поскольку они больше не относятся к голому металлу. То же верно для грязи или других эффектов, что образуют слой диэлектрика поверх голого металла.

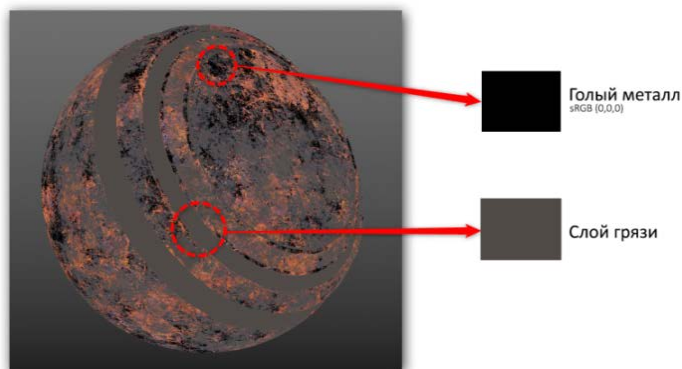


Рисунок 37: Области, обозначающие голый металл, будут черными (0.0), поскольку у металла отсутствует диффузный цвет

Рекомендации по тональности карты диффузности те же, что и для карты базового цвета. Исключением является наличие голого металла. В этом случае допустимо использовать абсолютно черный цвет (0.0), что не касается рекомендаций для диапазона темных тонов.

- Цветовые оттенки обозначают альбеда для неметаллов, а черный цвет (0.0) - голый металл.
- На базовом цвете должна **отсутствовать световая информация**, за исключением микроразнечений.

- Значения темных тонов **не должны лежать ниже диапазона 30 sRGB** (допустимый диапазон) или **50 sRGB** (строгий диапазон), за исключением областей голого металла (черный цвет).
- Значения светлых тонов **не должны превышать 240 sRGB**.

Зеркальность (RGB - sRGB)

Карта зеркальности (*specular*) (прм. может встречаться - отражаемости) определяет отражаемость металлов и F0 у неметаллов (Рисунок 38). Как RGB карта, позволяет назначать различную отражаемость для диэлектриков в текстуре. Этим она отличается от metal/roughness, в котором отражаемость диэлектриков задается по умолчанию значением в 4%, изменяемое только через канал "specularLevel". Как уже говорилось в metal/roughness, значение F0 стоит брать из результатов реальных измерений. У диэлектриков F0 обозначается более темным цветом. Отражение металла может окрашиваться, поскольку некоторые металлы поглощают свет с различными длинами волн. Картой зеркальности (RGB) определяется F0 как для металлов, так и для диэлектриков.

Карта зеркальности позволяет назначать различные значения отражаемости для диэлектриков.

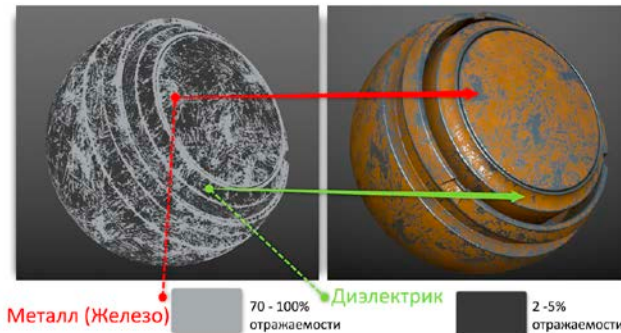


Рисунок 38: Карта зеркальности определяет отражаемость металлов и F0 неметаллов

Рекомендации по созданию

Поскольку карта зеркальности определяет значение F0 для металлов и неметаллов, разделим ее по категориям для каждого типа материала.

Голый металл

Коэффициент F0 должен основываться на результатах реальных измерений. Если поверхность окисляется или появляется слой диэлектрика, обозначающий неметалл, то нужно уменьшить значение отражаемости для голого металла. Для specular/glossiness грязь или окислитель будут ярче на карте диффузности для голого металла, а отражаемость на карте зеркальности ниже, как показано на Рисунке 39. На рисунке также показан пример слоя грязи, покрывающего голый металл. Грязь на карте зеркальности имеет соответствующий для диэлектрика F0 - 4% (0.04 в линейном виде).

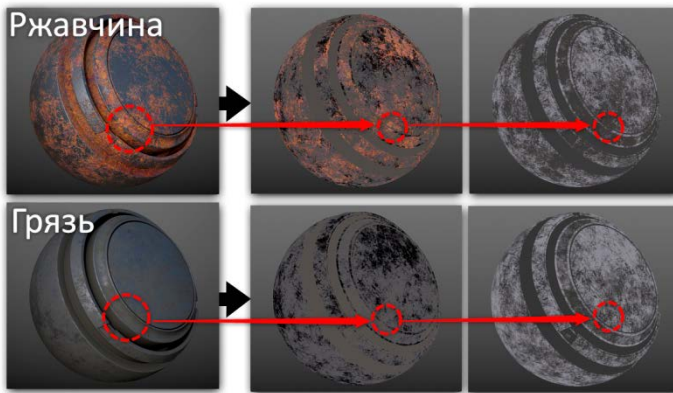


Рисунок 39: Из-за грязи или окисления их диффузный цвет более яркий на голом металле, а отражаемость низкая

Диэлектрик

Картой зеркальности также задается F0 для диэлектрических материалов. Здесь у вас появляется полный контроль над величиной F0, однако, важно использовать корректные значения. Как мы обсуждали в первой части, неметаллы (диэлектрики) – плохие проводники электричества. Они отражают гораздо меньше света, чем металлы, поскольку отраженный свет в них рассеивается и/или поглощается (часто повторно излучаясь от поверхности). Мы определили, что значение отражаемости у большинства диэлектриков лежит **внутри диапазона 2-5%, основанного на F0, который рассчитывается через коэффициент преломления (IOR)**. Значения F0 для распространенных диэлектрических материалов, за исключением самоцветов, лежат **внутри диапазона 0.02-0.05 (линейные значения)** (Рисунок 40).

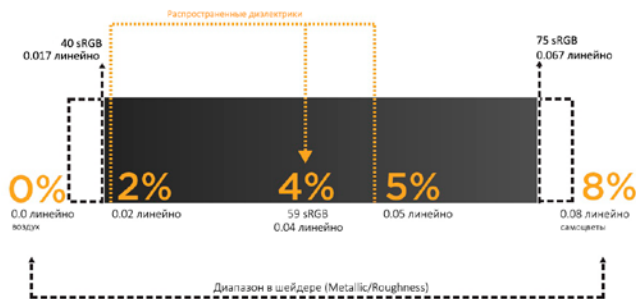


Рисунок 40: Значения отражаемости распространенных диэлектриков лежат внутри диапазона 2-5%

В sRGB мы обращаемся к шкале значений 40-75 sRGB, которая соответствуют линейному диапазону 0.02-0.05 (2-5%).

Если вам не удастся найти IOR для конкретного материала, то используйте 4% отражаемости (0.04 - пластик). Самоцветы являются исключением и лежат внутри диапазона 0.05-0.17 (линейные значения), как показано на Рисунке 40. В подходе metal/roughness при использовании канала specularLevel шейдер работает с диапазоном 0.0 – 0.08 (линейные значения), поскольку нулевым значением обозначается воздух, как показано на Рисунке 40.

- Карта зеркальности определяет F0 диэлектриков и отражаемость голого металла.
- Диэлектрики отражают меньше света, чем металлы. Отражаемость большинства диэлектриков лежит внутри примерного диапазона 2-5%. В контексте sRGB значения должны лежать **между 40-75 sRGB**, что соответствует линейному диапазону 0.02 – 0.05.
- Простые самоцветы лежат внутри диапазона 0.05 – 0.17 (линейные значения).
- Простые жидкости лежат внутри диапазона 0.02 – 0.04 (линейные значения).
- Значение отражаемости для голого металла лежат внутри **диапазона 70-100% отражаемости**, что в sRGB соответствует значениям **180-255**.
- Если вам не удастся найти конкретное значение IOR, то используйте значение 4% (0.04 - пластик).

Глянцевость (Серый цвет – Линейное пространство)

Карта глянцевости (**glossiness**) описывает неровности поверхности, вызывающие диффузию света (Рисунок 41). Черным цветом (0.0) обозначается шероховатая поверхность, а белым (1.0) – гладкая, что противоположно карте шероховатости из metal/roughness. Для карты глянцевости справедливы те же художественные рекомендации, рассмотренные в разделе о карте шероховатости выше.

Рекомендации по созданию

Помните, что необходимо быть креативным и уметь рассказывать историю через характер поверхности.

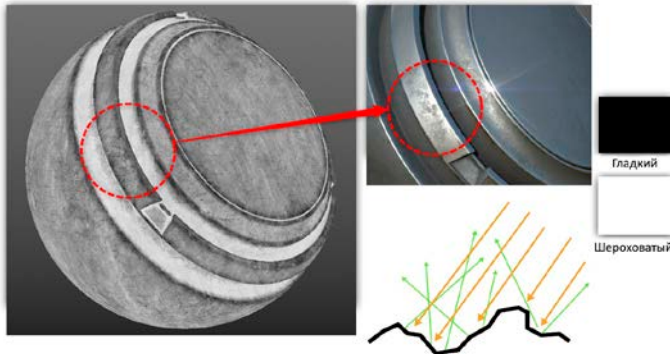


Рисунок 41: Карта гляцевости описывает неровности поверхности, вызывающие диффузию света

Разрешение и плотность текстеля

Мы уже обсудили возникновение артефактов вдоль граней для обоих подходов и подробно рассмотрели их в разделе `metal/roughness`, поскольку артефакты на гранях сильнее выражены в этом подходе. Мы также затронули возникновение артефактов в подходе `specular/glossiness`. В нем на карте диффузности присутствует черный цвет из-за отсутствия у голого металла диффузного цвета. Значения черного интерполируются с диффузным цветом неметалла, порождая появление черной грани, как показано на Рисунке 42.

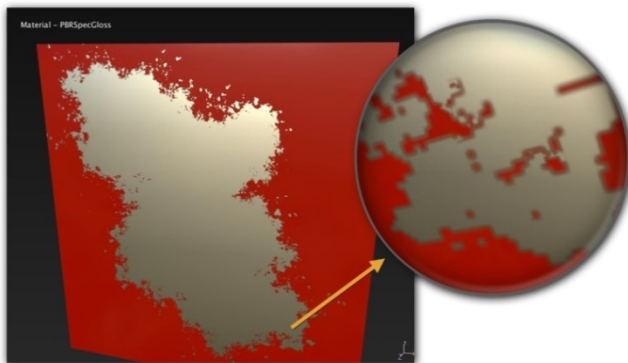


Рисунок 42: Побочный результат использования подхода specular/glossiness – появление темных артефактов вдоль граней

Напомним, разрешение текстуры и плотность текселя прямо влияют на видимость артефактов вдоль граней. Например, используя жесткую кисточку для создания переходов между металлом и неметаллом, текстура с малым разрешением продолжит сглаживать грань, усиливая видимость артефакта. Подобная проблема также возникает на плохо отмасштабированных UV островах, которым не хватает плотности текселя относительно разрешения текстуры. Повышение плотности текселя UV островов поможет минимизировать артефакты вдоль грани (Рисунок 43).

Разрешение текстуры и плотность текселя прямо влияют на видимость артефактов вдоль граней.

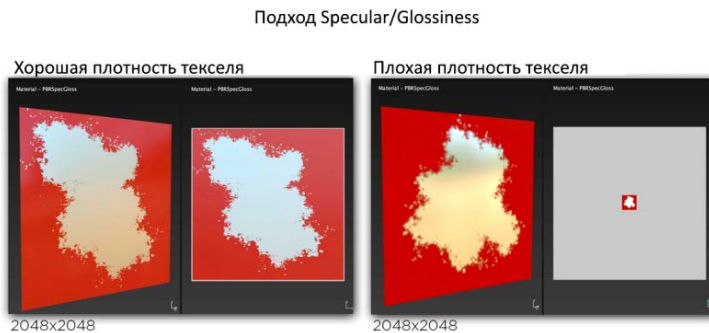


Рисунок 43: Повышение плотности текселя UV островов минимизирует артефакты вдоль граней

Рекомендации по созданию

Плотность текселя и разрешение текстуры влияют на появление черных артефактов вдоль граней в specular/glossiness. Убедитесь, что UV острова имеют достаточную плотность текселя при заданном разрешении текстуры, чтобы минимизировать артефакты.

Достоинства и недостатки подхода Specular/glossiness

Достоинства

- Артефакты на гранях менее заметны

- Контроль над величиной FO у диэлектриков через карту зеркальности

Недостатки

- Из-за того, что карта зеркальности предоставляет контроль над значением FO у диэлектриков, она более восприимчива к некорректным значениям. Следовательно, возможно нарушение закона сохранения энергии, если шейдеру переданы неверные значения
- Требуется больше памяти из-за наличия дополнительной RGB карты
- Схожие с традиционным подходом названия текстур сбивают с толку, несмотря на разное содержание. Требуется лучше понимать принципы физически корректного рендеринга, такие как корректный FO для диэлектриков, черный для диффузного цвета голого металла и сохранение энергии без контроля со стороны шейдера

Общие карты

Ambient Occlusion (AO)

Карта Ambient Occlusion определяет количество света от окружения доступного для точки поверхности. Она воздействует только на диффузное распределение, не влияя на зеркальные отражения. Некоторые движки, например, Unreal Engine 4, умеют имитировать локальные отражения через опцию отражений в экранном пространстве (**Screen space reflections**). Наилучшей комбинацией будет использовать АО с отражениями в экранном пространстве.

В PBR шейдерах Substance окружающее освещение, генерируемое картой окружения, умножается на АО. Текстура АО передается в PBR шейдер через опциональный канал (Рисунок 44). Информация с АО не запекается в другие текстурные карты, а передается шейдеру в одноименный канал.

АО влияет только на диффузное распределение, не влияя на зеркальные отражения



Рисунок 44: Информация с АО не запекается в другие текстурные карты, а передается шейдеру в одноименный канал

Создание Ambient Occlusion

В Substance Designer и Substance Painter АО можно запечь с объекта или конвертировать из карты нормалей, используя встроенный набор инструментов для запекания. В обеих программах присутствует нода/фильтр НВАО для генерирования Horizon-based Ambient Occlusion из карты высоты, которая дает результат, схожий с запеканием через трассировку лучей, как показано на Рисунке 45.

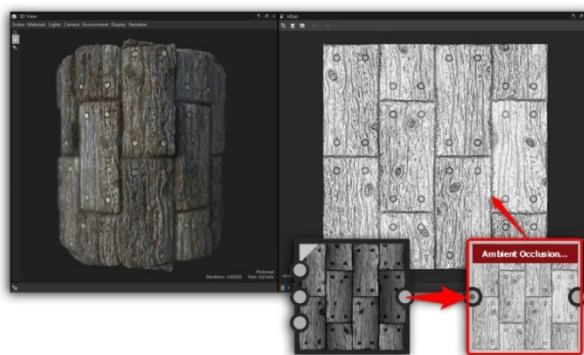


Рисунок 45: Использование ноды НВАО в Designer или фильтра в Painter дает результат, схожий с запеканием через трассировку лучей

Карта высоты

Карта высоты (**Height map**) часто используется для дисплеймента в рендеринге. Ее применяют в параллактическом текстурировании, помогающем добавлять видимой глубины

Allegorithmic © 2018 – All Rights Reserved

и, следовательно, большей реалистичности рельефного текстурирования. В Substance используется алгоритм параллактического генерирования рельефа. Карта высоты передается PBR шейдеру через еще один дополнительный канал. В Substance Designer присутствует опция параллактической окклюзии и шейдера тесселяции (Рисунок 46). В Substance Painter канал дисплейсмента используется для управления параллактической окклюзией.

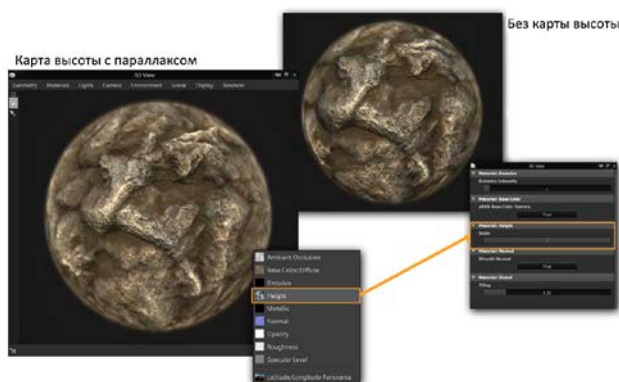


Рисунок 46: Карта высоты подключается к PBR шейдеру через еще один дополнительный канал

Создание карты высоты

Как и АО, карту высоты можно запечь с объекта через интегрированный в Substance Designer и Substance Painter набор инструментов для запекания. В Substance Designer присутствует нода для конвертирования карты нормалей в карту высоты (Рисунок 47). В Substance Painter имеется возможность рисовать рельефные детали в канале высоты, как показано на Рисунке 48.

В контексте шейдера реального времени лучше сводить к минимуму количество часто повторяющихся мелких деталей на карте высоты. Она должна передавать общие силуэтные формы объекта, на основании которых смещается геометрия. Для этого хорошо подходит смазанная карта высоты, которая выделяет общие формы и сокращает часто повторяющиеся детали. Тогда за них будет отвечать карта нормалей, а карта высоты - за смещение силуэтных форм (Рисунок 49). Если вы используете карту высоты для дисплейсмента в рендере с трассировкой лучей, то стоит сохранить на ней часто повторяющиеся детали.

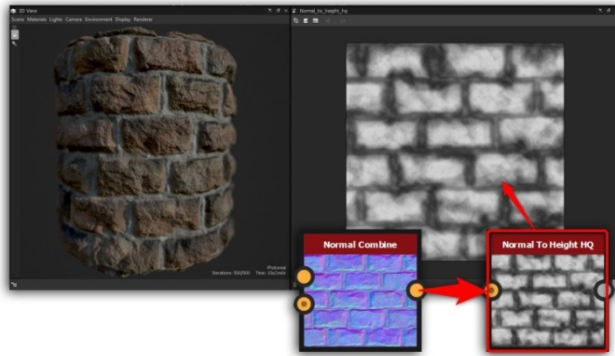


Рисунок 47: Используйте ноду Normal to height для создания карты высоты из карты нормалей

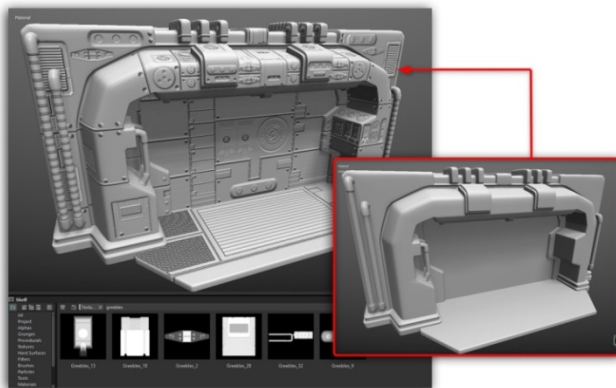


Рисунок 48: Рисуйте рельефные детали прямо на объекте

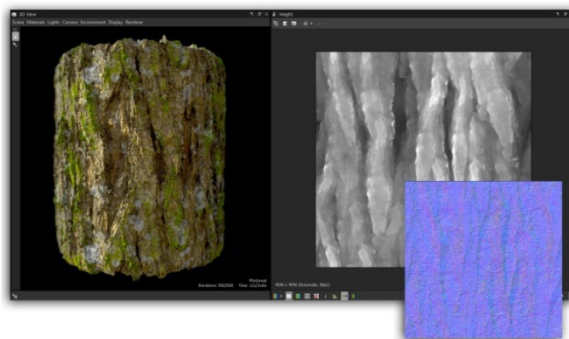


Рисунок 49: Карта нормалей отвечает за мелкие часто повторяющиеся детали, а карта высоты - за силуэтные формы

Карта нормалей

Карта нормалей (**Normal**) используется для имитации поверхностных деталей. Это RGB карта, каждый канал которой соответствует X, Y, Z координате нормалей поверхности. Она используется для хранения деталей, спроецированных с высокополигональной модели на низкополигональную. В программах Substance карту нормалей можно запечь с объекта или конвертировать ее из карты высоты.

Создание карты нормалей

Карту нормалей можно запечь с объекта с помощью интегрированного в Substance Designer и Substance Painter набора инструментов для запекания. В Substance Designer присутствует нода для конвертирования карты высоты в карту нормалей, как показано на Рисунке 50. В Substance Painter можно рисовать нормали прямо в окне просмотра (Рисунок 51).

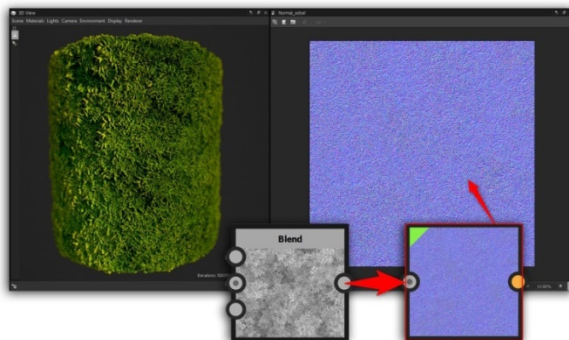


Рисунок 50: Нода Normal конвертирует информацию с карты высоты в нормали

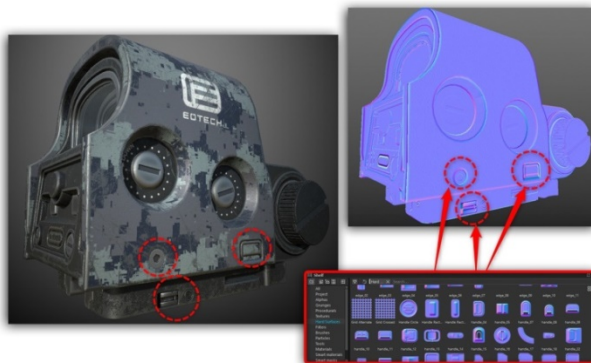


Рисунок 51: Канал нормалей используется для добавления рельефных деталей

PBR программы Substance

В этом разделе мы обсудим несколько утилит Substance, которые помогут вам при создании PBR текстур и выборе корректных значений отражаемости. Эти инструменты создавались с учетом принципов и концепций, описанных в этом руководстве.

Substance Designer

PBR Base Material

Эта нода предназначена для создания полноценного базового материала и находится в **Material Filters > PBR Utilities**, как показано на Рисунке 52. Она поддерживает как **metal/roughness**, так и **specular/glossiness** и предоставляет предустановки для большинства металлических материалов. Нода также позволяет задать цвет альбеда, если вы создаете неметалл. В зависимости от подхода, дополнительно присутствует контроль над шероховатостью и гляцевостью с регулированием количества загрязнения поверхности. Вы можете добавить входные узлы для текстур каналов базового цвета, нормалей и высоты.

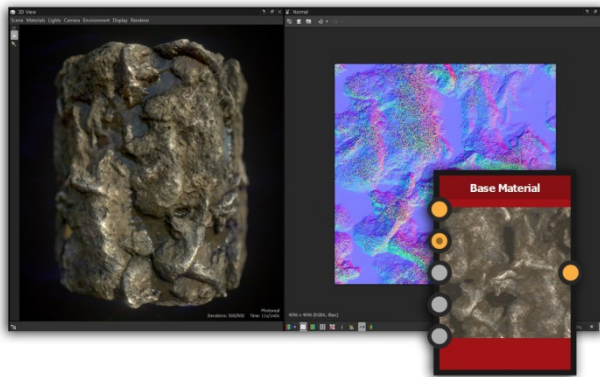


Рисунок 52: PBR утилита для создания базового материала с использованием предустановленных значений или пользовательских текстур

Dielectric F0

Эта нода выводит значения F0 распространенных диэлектриков (Рисунок 53) и находится в **Material Filters > PBR Utilities**. У вас есть выбор из предустановленных значений и возможность использовать вводное поле IOR для расчета на его основе значения F0. Нода разрабатывалась для диэлектрических материалов и используется в подходе **specular/glossiness**.

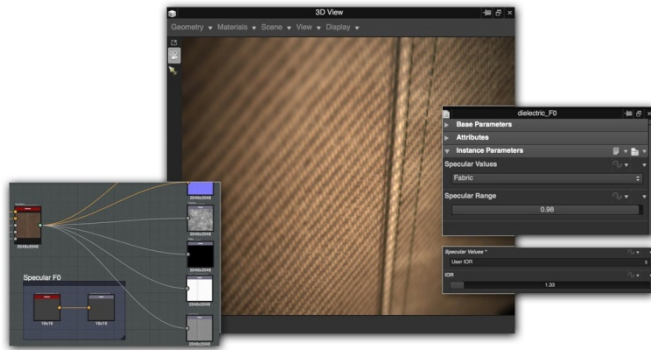


Рисунок 53: PBR утилита для расчета значений F_0 у диэлектриков с использованием предустановок или пользовательского IOR

Metal Reflectance

Эта нода выводит значения отражаемости для распространенных металлических материалов и находится в библиотеке Substance Designer в **Material Filters > PBR Utilities**. Она предоставляет набор предустановленных значений отражаемости для металлов, как показано на Рисунке 54.

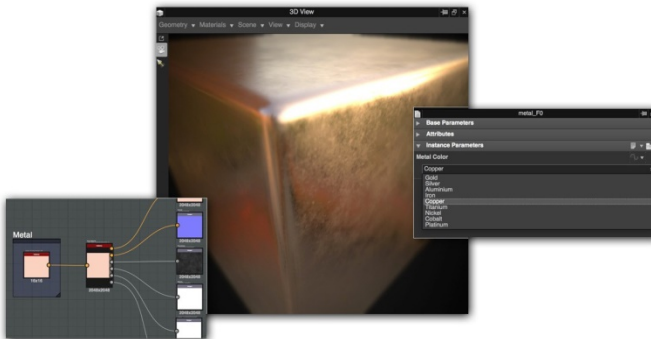


Рисунок 54: PBR утилита, содержащая предустановки для значений отражаемости металла

PBR Metal/Roughness Validate

Эта нода создавалась для работы с подходом metal/roughness. Она проверяет карты металла и базового цвета на наличие некорректных значений (Рисунок 55) и находится в **Material Filters > PBR Utilities**. Нода выводит тепловую карту с диапазоном красный > желтый > зеленый, где красный – это неверные значения, а желтый/зеленый – верные. У металлов она проверяет правильность значений F_0 на карте базового цвета для областей, обозначенных

как металл на карте металла (выше, чем 235 sRGB). Тепловая карта отображает диапазон, в котором F0 слишком низкий. Для альbedo она проверяет корректность диапазона яркости диэлектрика.

PBR Safe Color

Эта нода исправляет значения в карте базового или диффузного цвета, как показано на Рисунке 56, и находится в **Material Filters > PBR Utilities**. Она проверяет, попадают ли значения в корректный диапазон яркости для диэлектриков.

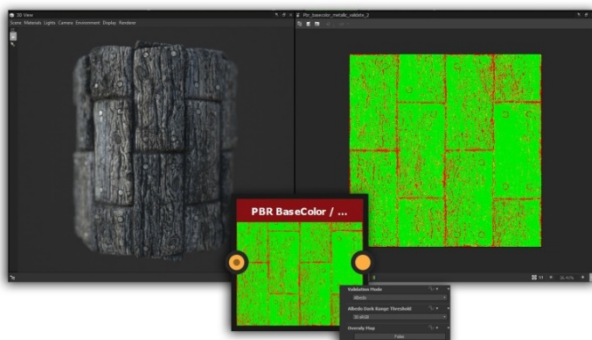


Рисунок 55: PBR утилита проверяет диапазоны отражаемости альbedo/металла и выводит тепловую карту, которая отображает верные/неверные значения

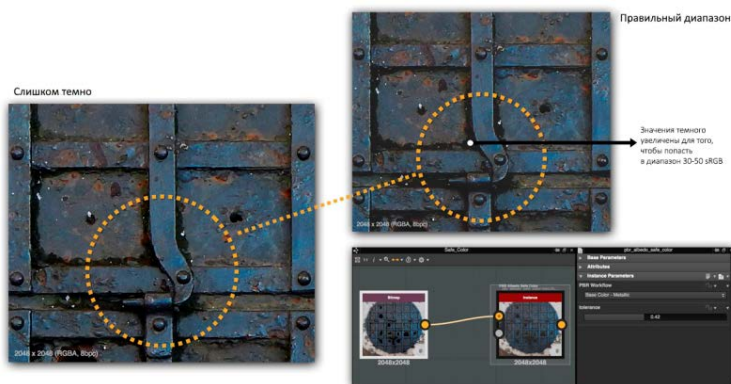


Рисунок 56: PBR утилита, проверяющая диапазоны для карт базового и диффузного цвета

Conversion

BaseColor_metallic_roughness_converter

Нода конвертирует карты metal/roughness для различных рендеров и находится в **Material Filters > PBR Utilities**.

- Vray (GGX)
- Corona
- Corona 1.6
- Redshift 1.x *
- Arnold 4 (aiSurface) *
- Arnold 4 (aiStandard) *
- Renderman (pxrSurface)

***Arnold 5 поддерживает базовый цвет/металл/шероховатость. *Redshift 2.x поддерживает базовый цвет/металл/шероховатость.**

Substance Painter

PBR Metal/Roughness Validate (фильтр)

Этот фильтр создавался для подхода metal/roughness, и его работа заключается в проверке на неверные значения карт базового цвета и металла (Рисунок 57). Это бесплатный фильтр, который [доступен для загрузки с Substance Share](#).

Фильтр выводит тепловую карту с диапазоном красный > желтый > зеленый, где красный обозначает неверные значения, а желтый и зелёный – верные. У металлов он проверяет соответствующие значения F0 на карте базового цвета для областей, обозначенных белым цветом (металл) на карте металла (выше, чем 235 по sRGB).

Тепловая карта отображает диапазон, в котором значения F0 слишком низкие. Для альбедо она проверяет корректность диапазонов яркости у диэлектриков.

Для использования фильтра в Painter импортируете его в проект и укажите тип “Filter” или просто скопируйте фильтр в одноименную папку.

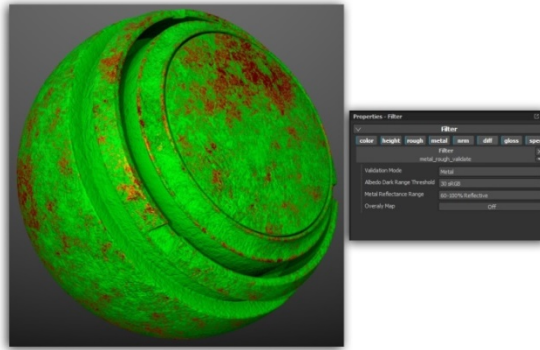


Рисунок 57: PBR утилита проверяет диапазоны отражаемости альбеда/металла и выводит тепловую карту, которая отображает верные/неверные значения

Вывод материалов Substance и рендеринг

Материалы Substance из **Substance Source** поддерживают как metal/roughness, так и specular/glossiness подходы. Эти материалы могут использоваться физически корректными шейдерами реального времени, присутствующими, например, в Unreal Engine 4 и Unity. Выводимые текстуры базового цвета/металла/шероховатости также могут использоваться в рендерах с трассировкой лучей с поддержкой metallic/roughness, как Arnold. Карты из specular/glossiness используются только шейдерами реального времени. Некоторые рендеры напрямую поддерживают выводимые текстуры базового цвета/металла/шероховатости, когда для других иногда приходится их конвертировать.

У пользовательских материалов или ресурсов, загружаемых с **Substance Share**, иногда отсутствуют подходящие конкретному рендеру текстуры, поскольку некоторые из них содержат только карты базового цвета/металла/шероховатости. Важно знать заранее о входных текстурах для вашего материала, чтобы по необходимости их можно было сразу конвертировать из материалов Substance.

Например, Arnold 5 позволяет сразу использовать текстуры, выводимые из metallic/roughness. Однако для Vray материала текстуры из metallic/roughness необходимо конвертировать для создания карт отражений и 1/IOR. В Substance painter поддерживается ряд конфигураций сторонних рендеров, как показано на Рисунке 58.

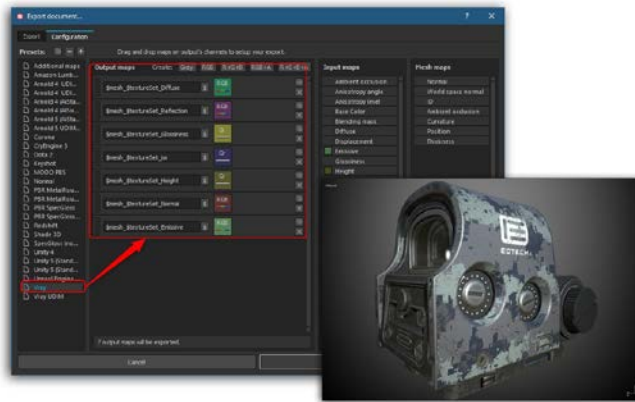


Рисунок 58: В Painter присутствуют настройки экспорта для самых распространенных рендеров, таких как Arnold, Vray, Keyshot, Corona и Redshift

Цель интегрирования плагинов Substance - автоматическое конвертирование материалов Substance под конкретный рендер. Например, плагин Substance для 3DsMax содержит предустановки для работы с Arnold, Vray и Corona. Выбранная предустановка автоматически конвертирует материалы Substance для использования в названных рендерах (Рисунок 59).

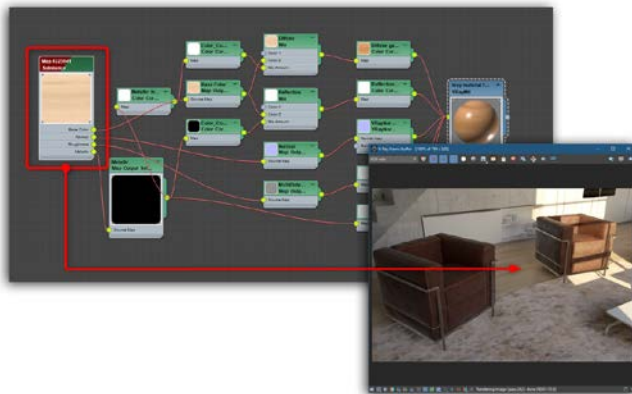


Рисунок 59: Использование предустановок для Corona создает материал и автоматически конвертирует выводимые из Substance карты

За подробной информацией о работе сторонних рендеров с Substance painter и Substance Designer обратитесь к нашей [документации для интегрированных в Substance плагинов](#).



Рисунок 60: Поверхность металлическая? Подход metal/roughness



Рисунок 61: Поверхность металлическая? Подход specular/glossiness

Дополнение – Таблицы

Поверхность металлическая?

Переходя к текстурированию полезно разбить материал по категориям – металл или неметалл. Сначала стоит изучить материал и спросить себя, принадлежит ли он к металлам. С этим вопросом обратитесь к рассмотренным в этом томе принципам текстурирования и рисункам 60 и 61. На рисунке 60 описан подход metal/roughness, а на 61 – specular/glossiness.

Значения отражаемости

На Рисунке 62 показан диапазон значений F0 для диэлектриков в PBR шейдере Substance для metallic/roughness. Диэлектрики отражают меньше света, чем металлы. Значения для большинства диэлектриков лежат внутри примерного диапазона 2-5% отражаемости. В sRGB этому линейному диапазону (0.02-0.05) соответствуют значения, лежащие между 40-75 sRGB.

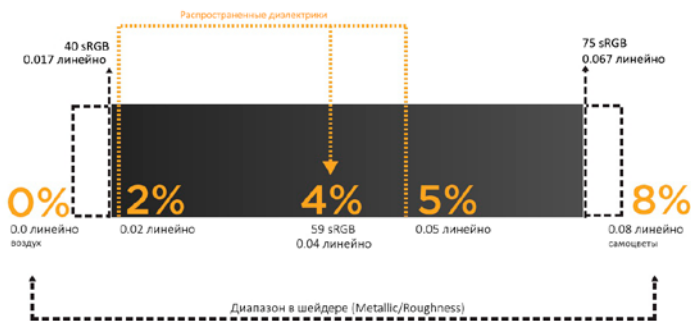


Рисунок 62: Значения F0 распространенных диэлектриков и значения отражаемости металлов

На Рисунке 63 продемонстрированы как значения F0 диэлектриков, так и значения отражаемости для металла. Для металлов корректный диапазон - 70-100% отражаемости, который в sRGB соответствует значениям 180-255.

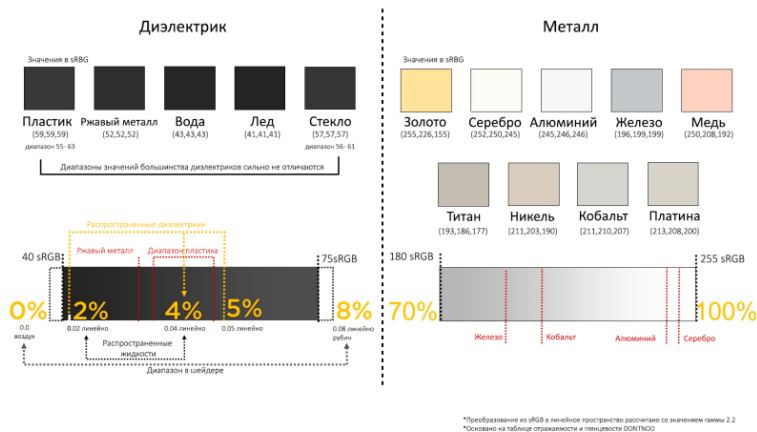


Рисунок 63: Значения F0 для диэлектриков и отражаемости для металлов

Конвертирование из sRGB в линейное пространство рассчитывается при приближении значения гаммы 2.2. Обратитесь к разделу “Рендеринг в линейном пространстве” в первой части за подробным объяснением.

Сравнение правильных/неправильных текстур

На Рисунке 64 изображен пример карт, созданных правильным и неправильным способами в подходе metallic/roughness. Грязь обозначается как металл на карте металла. Также значения отражаемости металла слишком низкие на карте базового цвета, из-за чего металл не отражает свет в диапазоне 70-100%.

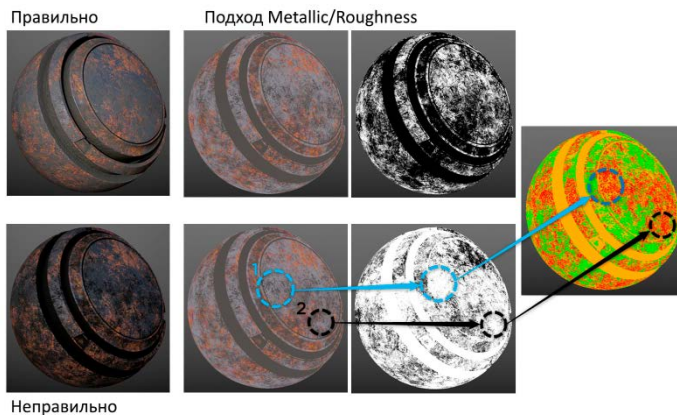


Рисунок 64: Сравнение правильных и неправильных текстур в metal/roughness

Ссылки

Burley, B. (2012). Physically-Based Shading at Disney. [PDF] Available from: https://disney-animation.s3.amazonaws.com/library/s2012_pbs_disney_brdf_notes_v2.pdf [Accessed 5 July 2016].

Kwast, D. An introduction to BRDF Models. [PDF] Available from: <http://hmi.ewi.utwente.nl/verslagen/capita-selecta/CS-Jimenez-Kwast-Daniel.pdf> [Accessed 5 July 2016].

Lagarde, Blog post, April 14, 2014. Available from: <https://seblagarde.wordpress.com/2014/04/14/dontnod-physically-based-rendering-chart-for-unreal-engine-4/> [Accessed 5 July 2016].

Lagarde, S. (2011). 'Feeding a Physically-Based Shading Model', Sebastien Lagarde, blog post, August 17, 2011. Available from: <https://seblagarde.wordpress.com/2011/08/17/feeding-a-physical-based-lighting-mode/>. [Accessed 5 July 2016].

Walter, B., Marschner, S., Li., H. and Torrance, K. (2007). Microfacet Models for Refraction through Rough Surfaces. [PDF] Eurographics Symposium on Rendering, 2007. Available from: <https://www.cs.cornell.edu/~srm/publications/EGSR07-btdf.pdf> [Accessed 5 July 2016].

Epic Games. (2004-2017). 'Using Refraction', Epic Games, UE4 Documentation, 2017. Available from: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Rendering/Materials/HowTo/Refraction/>. [Accessed 5 July 2016]