

Прозрачное и непрозрачное

Л. АШКИНАЗИ

И тут помещение озарилось ее визгом.

Из интернета

КАК ВЫ, НАВЕРНОЕ, ДОГАДЫВАЕТЕСЬ, свет нужен для того, чтобы видеть. Деление веществ и вообще всего, что нас окружает, на прозрачное и непрозрачное возникло исторически. Человеку было важно увидеть объект, т.е. нечто непрозрачное, светорассеивающее, отражающее или излучающее, причем увидеть через прозрачную среду – атмосферу (всегда) и иногда плюс через вакуум (чтобы любоваться Луной) или воду (при охоте с берега острогой). Потом, по мере развития оптики (лупы, очки, телескопы) и индустрии красоты (зеркала), это деление упрочилось. Поэтому в учебнике все вещества делят на прозрачные и прочие. Оптические свойства прозрачных сред характери-

зуют коэффициентом преломления и упоминают про его зависимость от длины волны, т.е. про *дисперсию света*. А о прочих, т.е. непрозрачных, веществах в учебнике ничего не говорится, лишь упоминаются зеркала – как элемент оптических систем. Хотя зеркальных поверхностей в природе почти и нет, но вот два примера и связанный с ними вопрос.

Вопрос 1. Что изображено на рисунках 1 и 2 и почему изображения такие?

Редкость в природе зеркальных поверхностей – наше счастье: мы видим объекты в результате рассеивания ими света, реже в результате излучения (Солнце, молния, светлячки). Единственное, когда нашим предкам было нужно отражение, это чтобы увидеть глаза животных в темноте. Мир, в котором у поверхностей зеркальное отражение преобладает над рассеиванием (попробуйте себе это представить), был бы весьма сложен для ориентации.

Мозгу пришлось бы все время разбираться: то, что мы видим, оно там, где мы видим, или где-то в другом месте (например, о ужас, позади нас), или на полпути? В такой «комнате смеха» нам было бы не до смеха. Или мозг построил бы внутри себя мощный программный пакет для работы с такими изображениями?

Вопрос 2. Как можно было бы действовать в таком мире?

Но как же было бы страшно инопланетянину, попавшему из своего преимущественно зеркального мира в наш обычный бедный преимущественно рассеивающий мир! В мире без отражения и без рассеивания вполне можно было бы жить при условии сверхширокополосного зрения – от нашего видимого диапазона до, скажем, длины волны 50 мкм. Тогда бы мы видели все объекты в их собственном тепловом излучении (вспомним *закон Вина*).

Представление об окружающем мире человек на протяжении всей истории со-



Рис. 1



Рис. 2

здавал в основном с помощью зрения в диапазоне длин волн примерно от 0,38 мкм до 0,76 мкм. Могло ли оно быть устроено как-нибудь иначе, работать на других принципах? Например, змеи и летучие мыши имеют другие «зрения» – инфракрасное и ультразвуковое соответственно.

Вопрос 3. Может ли человек воспользоваться их методами? А может быть, существуют еще какие-то «зрения», которые не освоил никто?

Змеи пошли по пути *камеры-обскуры* именно потому, что для инфракрасного (ИК) диапазона с длиной волны, грубо говоря, от микрона до миллиметра, нет оптических материалов, из которых можно было бы сделать линзы (см. в интернете *инфракрасное зрение змей*). Рентген не поглощается атмосферой, но генерация рентгеновского излучения не доступна биологическому объекту и для рентгеновского диапазона нет доступных оптических материалов. Что касается акустической локации, то, если укоротить волну (т.е. поднять частоту) порядка на четыре, разрешающая способность такого гиперзвукового зрения могла бы стать лишь на порядок хуже, чем электромагнитного, но гиперзвук с такими частотами поглощается в воздухе.

Зрение вообще, т.е. возможность получать информацию об окружающих объектах, определяется двумя главными параметрами – дальностью действия и разрешающей способностью. Для того чтобы видеть далеко, нужна высокая чувствительность глаза – чем объект дальше, тем слабее сигнал. Чувствительность глаза имеет предел – сами клетки реагируют на одиночный квант, мозг же для борьбы с шумами обрабатывает сигналы так, что фиксирует вспышку, если в течение 0,1 с на разные клетки глаза попадет 5–7 фотонов. Увы, эффективность оптической системы глаза около 15% – глаз пропускает не все фотоны и чувствительные клетки поглощают не все кванты, которые в них попали. Иными словами, чтобы мозг что-то «увидел», до глаза в течение указанного времени должно долетать несколько десятков фотонов. Кстати, многие ночные

животные имеют сзади чувствительных клеток отражающий слой. Так поступили, например, наши друзья – кошки (рис.3).



Рис. 3

Вопрос 4. А зачем?

Люди пошли по другому пути, создали *усилители яркости и приборы ночного видения*. Но все равно есть внешние ограничения. В чистом воздухе человек видит горизонт, до которого (если стоять на поверхности идеального шара) примерно пять километров (а на Луне?). Более того, человек видит горизонт, поднявшись на самую высокую гору, а в этом случае до него более трехсот километров. В идеально чистом воздухе за счет рассеивания света на флуктуациях плотности дальность зрения ограничена примерно такой же величиной, но это случайное совпадение. Иными словами, рассеивание света в атмосфере, то самое, из-за которого небо голубое, при расстоянии в триста километров создает такой фон, что объекты не будут видны в этом мареве. А была бы толщина атмосферы в 30 раз больше, чем сейчас, и не было бы у нас астрономии, и картина мира еще долго была бы иной. Именно этим – рассеиванием на флуктуациях плотности – определяются минимальные потери в оптоволокне, в световодах, так называемые *релеевские потери*. Вообще, потери в световодах – актуальная и активно исследуемая область. По одной простенькой причине: по оптоволоконным линиям перекачивается большая часть всей – вообще всей! – информации, которую пересылает человечество.

В космическом пространстве зрению раздолье – самые далекие звезды, которые человек видит без применения оптических инструментов, находятся на расстоянии около десяти тысяч световых лет. Но между Землей и Космосом в смысле применения зрения есть принципиальная разница. То, что мы видим на Земле, дало возможность построить хоть и ограниченную, но правильную картину мира. Там, где человек видел гору, действительно было трудно влезать, а где видел реку, там были вода, рыба и голодные крокодилы. Но чтобы разобраться хотя бы в самых общих чертах в том, что мы видим в Космосе, потребовалось создать телескопы и другие оптические инструменты. Главное – потребовалась физика.

А что было бы, если бы дальность действия зрения была существенно меньше? Например, не километры, а метры – вследствие, скажем, меньшей прозрачности атмосферы? Изменилась бы тактика освоения земной поверхности – никаких плаваний по морям, тем более никаких полетов. Человек стал бы строить свои сооружения (и здания, и дороги) последовательно и по возможности непрерывно «наползая» цивилизацией на поверхность Земли и лишь потом надстраивая свои сооружения вверх. Общество могло бы развиваться, техника и наука тоже, но представление о планете в целом если бы и возникло, то много позже. А представление о Космосе не возникло бы вообще – до момента, когда цивилизационная кожура доросла бы до границ атмосферы. Что по причине ограниченной прочности стройматериалов вообще было бы проблематично. Мы видим, что возможность «дальновидения» существенно влияет на облик цивилизации.

Нам повезло – Солнце излучает в диапазоне прозрачности земной атмосферы. Свети оно в той части ультрафиолетового или инфракрасного диапазона, в которых атмосфера не прозрачна, мы жили бы в темноте. Или свети оно, как светит, но атмосфера состояла бы из газов, не прозрачных в указанном диапазоне, – результат был бы тот же. Излучай Солнце на

существенно больших длинах волн, трудно было бы создать чувствительный «глаз» (энергия кванта меньше), но даже если бы это произошло, проблемно было бы получить большое пространственное разрешение. Словом, нам крупно повезло. А как обстоят дела у инопланетян?

Для начала ограничимся рассмотрением газовой или жидкой среды. В твердой среде процессы идут существенно медленнее, и жизнь скорее всего не успела бы развиваться и за астрономические времена. Солнце – любое солнце – это широкополосный источник излучения, а поглощение излучения газами всегда захватывает какую-то часть спектра. Поглощение электромагнитного излучения атомами и молекулами основано на переходах электронов с орбиты на орбиту и на резонансе при колебаниях молекул, поэтому у разреженных газов спектральные линии (и поглощения, и излучения) относительно узкие (в проводниках и полупроводниках излучение поглощается еще из-за наличия

свободных электронов). При увеличении концентрации линии расширяются, но до какой степени – это зависит от рода газа, типа колебаний и концентрации. Существуют *окрашенные газы*, т.е. заметно поглощающие излучение в пределах оптического (для нас с вами) диапазона. Таких газов немного, все они (для нас с вами) ядовиты, а наиболее хороший и широкополосный поглотитель – это бром Br_2 . Он поглощает все оптическое длиннее 0,35 мкм.

Вопрос 5. Какое «солнце» желательно иметь в этом случае?

Кстати, насчет поглощения в обычной атмосфере. Если нас интересует широкий диапазон длин волн, то он представлен на рисунке 4. Чисто газовая атмосфера (смысл этой осторожной оговорки скоро узнаем), состоящая из газов, не противоречащих жизни, прозрачна. Что касается жидких сред, то ситуация довольно смутная. Потому что окрашенные жидкости, которые мы встречаем в быту, например

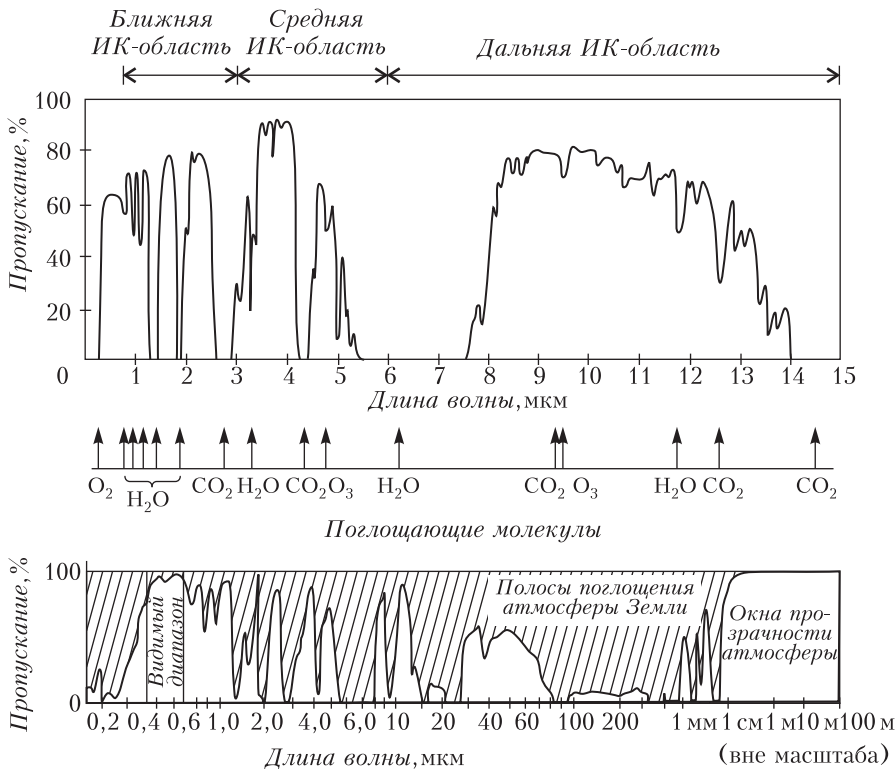


Рис. 4

чернила, кровь, некоторые овощные и фруктовые соки, окрашены не сами по себе, а красителями – т.е. малыми добавками красящих веществ к воде. Особая ситуация с нефтью – это смесь углеводородов, из которых одни прозрачны, а другие поглощают излучение, вот от концентрации вторых и зависит цвет. Про то, какие вещества – красители и как от структуры молекул зависит поглощение света, химики могут долго и интересно рассказывать (начало рассказа – опять же, про резонанс), но так или иначе непрозрачные жидкости, в которых жизнь возможна, существуют. Чем, например, вам плох как среда обитания смородиновый или гранатовый сок? Отрастить жабры – и вперед, юные *Ихтиандры!*

Но это все в однородной среде, а бывают неоднородные. А что вы скажете об атмосфере с таким сочетанием температуры и давления, что для какого-то из ее веществ – да хотя бы для воды H_2O – мы как раз попадаем на линию раздела газ–жидкость на диаграмме состояний? Например, атмосфера в основном кислородная, давление, 0,05 атм и температура 40 °С? Для нас немного жарковато и кислорода меньше, чем хотелось бы, но вода в морях-океанах все время потихому кипит и в воздухе висят (потому что веет слабый ветерок от горячей почвы) микрокапли воды. Жизнь вполне возможна, даже белковая. А как насчет видимости?

Вопрос 6. Кстати, если у нас в воздухе имеются какие-то частички, например капли, то от чего зависит расстояние видимости и как его посчитать?

А еще лучше, если мы, двигаясь по линии контакта жидкости и газа, доберемся до *критической температуры*, когда разница между ними исчезает. В этой точке у нас будет такая *критическая опалесценция*, что вообще носа своего не увидим – одни флуктуации плотности и рассеяние излучения. Такое же рассуждение применимо к рассеиванию в неоднородных жидкостях, например эмульсиях, когда в одной жидкости плавают маленькие капельки другой, или в суспензиях, когда плавают твердые частицы, или в пене,

когда много пузырьков. Но во всех случаях нам нужно знать оптические свойства всех материалов – участников ситуации.

Вопрос 7. А если коэффициенты преломления, например, совпадают, то что?

Есть совсем простой общеизвестный пример эмульсии, которая прекрасно рассеивает свет, – это молоко. Рассеивают свет и твердые тела, если они неоднородны, причем размер неоднородностей сравним с длиной волны или больше. Пример – стекло. Обычное аморфное стекло прозрачно (если в него не добавлены светорассеивающие частички). Если же стекло кристаллизовать, оно станет светорассеивающим, матовым, свет будет рассеиваться на границах кристаллов. Но если кристаллизовать стекло так, чтобы кристаллики были очень мелкими, в десятки нанометров и менее, т.е. много меньше длины волны, то при соблюдении еще некоторых условий оно станет прозрачным. Сейчас его называют «наноситалл», пишут о нем всякие глупости и – если он цветной – рекламируют как ювелирный «камень».

Рассеивание излучения характеризуют *диаграммой направленности*, т.е. зависимостью мощности от угла; рисуют ее, естественно, в полярных координатах. При чисто зеркальном отражении – это узкая «игла» под тем же углом, под которым прилетело излучение. При чисто диффузном отражении от хаотично шероховатой поверхности мощность пропорциональна косинусу угла относительно нормали (*закон Ламберта*). В реальной ситуации всегда имеется смесь того и другого, даже идеально полированная поверхность отражает не чисто зеркально. В некоторых источниках указывается, что идеально полированное стекло рассеивает 10^{-3} процента, идеально полированный металл – 10^{-2} – 10^{-1} процента. Наверное, конкретная цифра зависит от степени и смысла «идеальности».

(Продолжение следует)

Прозрачное и непрозрачное

Л.АШКИНАЗИ

НА РИСУНКЕ 5 ПРЕДСТАВЛЕНЫ ФОТОГРАФИИ двух образцов – из монокристалла CaF_2 и нанокерамики (поликристалла) $\text{CaF}_2 : \text{Ce}^{3+}$. Оба образца – абсолютно прозрачные!

Теперь обсудим преломление. У газов коэффициенты преломления мало отличаются от единицы, и они вообще мало кого волнуют – кроме астрономов. Откройте зимой окно и посмотрите, как елозит пей-

Окончание. Начало – в «Кванте» №8.

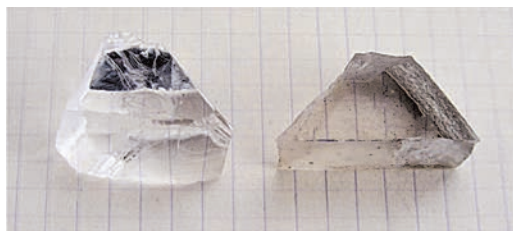


Рис. 5

заж, или просто посмотрите вверх, вспомнив не знаю кем сказанное «человек отличается от животного тем, что иногда под-

нимает глаза к небу», и заметьте, как загадочно подмигивают начинающим интересоваться физикой звезды. И задумайтесь, почему елозит пейзаж и подмигивают звезды... Хаотичное (*турбулентное*) движение в атмосфере потоков воздуха с разной температурой, а значит с разными плотностью и коэффициентом преломления, и вызывает дрожание и размывание изображения. У астрономов есть такое понятие – *астроклимат*, т.е. атмосферные условия, влияющие на качество изображений, куда входит и однородность воздуха.

Жидкости с высокими коэффициентами преломления n называют «иммерсионными» (от латинского *immersio* – погружение). Их применяют для определения показателей преломления, для чего прозрачную частичку исследуемого вещества помещают в иммерсионные жидкости с известными n – при равенстве показателей преломления частичка делается невидимой. Стандартные наборы состоят из 30–100 таких жидкостей с коэффициентами преломления от 1,4 до 2,1, но твердые вещества берут верх. Хотя стекла еле дотягивают до $n = 1,9$, но у алмаза $n = 2,4$, рядышком с ним – титанаты кальция и стронция и иодид таллия ($n = 2,4$), оксид титана ($n = 2,5$) и почти рекордсмен карбид кремния SiC ($n = 2,6$). Именно поэтому SiC, муассанит, используется как имитатор бриллиантов в украшениях (для этого также используется фианит ZrO₂ с добавками, но у него n поменьше). Недавно было синтезировано соединение Al₃C₂B₄₈ с рекордным значением $n = 2,9–3,1$, но про него еще мало что известно.

Освоив оптический диапазон, человек стал распространяться на соседние участки электромагнитного спектра. Для этого ему потребовались прежде всего оптические материалы, в частности – прозрачные для всякого рода окошек и преломляющие для линз и призм. Иными словами, потребовался материал, прозрачный в соответствующей области спектра, т.е. не слишком сильно поглощающий излучение. Упрощая, можно сказать, что обычное стекло

прозрачно в диапазоне 0,35–2 мкм, т.е. ультрафиолет УФ оно не пропускает, а инфракрасное излучение ИК пропускает частично. Конечно, эти значения, приводящиеся в справочниках, условны – достаточно тонкая пленка любого материала пропустит любое излучение. Но обычно оптики работают с миллиметрами и требуют пропускания большей части излучения. Естественное решение – кварц. И вот диапазон расширяется в сторону УФ до 0,2 мкм. Есть особые сорта стекол с немного большим доступом в ИК. На этом возможности стекол исчерпаны. В сторону УФ чуть дальше кварца забираются BaF₂, MgF₂ и LiF – примерно до 0,12 мкм. Со стороны ИК дела обстоят лучше: материалов много, а рекордсменом будет CsI – он добирается примерно до 60 мкм. Практически непрерывно прозрачен алмаз. Вообще же, оптические материалы при увеличении длины волны прозрачны в основном начиная с 200–300 мкм, SiO₂ – с 100 мкм, ZnS – с 50 мкм. Таким образом, самая сложная область – десятки микрометров. Что касается коэффициента преломления, то для материалов ультрафиолетового диапазона он составляет около 1,4, для инфракрасного – группируется вокруг 1,7. Исключения – Si ($n = 3,4$), Ge ($n = 4,1$) и, конечно, алмаз.

На рисунке 6 приведены прозрачности некоторых оптических материалов (отложены по оси ординат) и указаны соответствующие толщины образцов. А на рисунке 7 проиллюстрированы два примера использования материалов, прозрачных вне оптического диапазона. Это микросхема памяти с кварцевым окошком для стирания информации ультрафиолетом и линза из хлорида калия KCl для работы в инфракрасном диапазоне.

Если все-таки говорить о пластинках толщиной в миллиметры, то для волн короче 0,1 мкм с прозрачными материалами дела обстоят плохо, т.е. почти никак. Поэтому приходится довольствоваться отражательной оптикой. Но и тут все не здорово – металлы в диапазоне УФ отражают плохо. Например, Ag при длине волны более 0,4 мкм отражает, как и

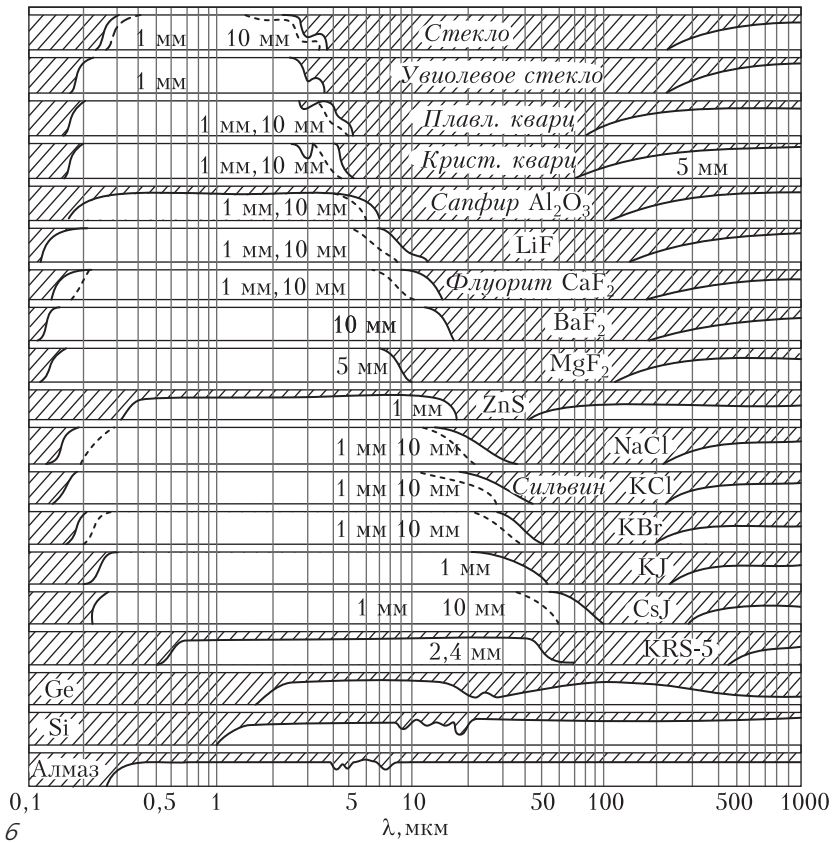


Рис. 6

положено хорошему металлу, 90% и более, но при 0,25 мкм отражает только 30%. С

остальными металлами дело обстоит еще хуже, разве что Al, причем именно при 0,25–0,4 мкм, ведет себя лучше (отражает 90%). Вот они вдвоем и изображают из себя рекорсменов. Поднять отражение, и существенно, удастся «просветлением» – нанесением на металл интерференционных покрытий. Так можно получить отражение 50% на волне 0,01 мкм – а ведь это уже почти рентген.

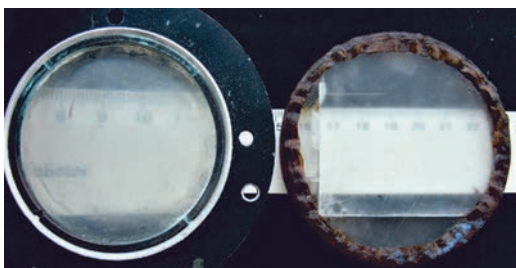
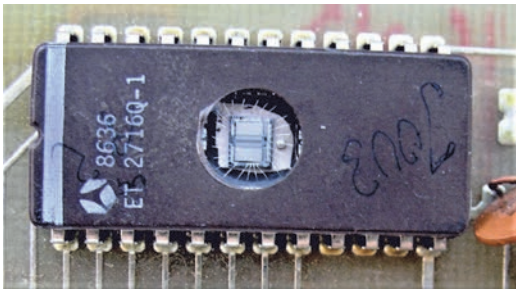


Рис. 7

Коэффициенты отражения от гладких поверхностей некоторых металлов в зависимости от длины волны приведены на рисунке 8. На фрагментах *a*) и *б*) показано влияние технологии изготовления алюминиевого зеркала на величину коэффициента отражения: 1 – когда зеркало напылено в высоком вакууме (10^{-6} Тор), 2 – когда в сверхвысоком вакууме (10^{-9} Тор). Даже в пределах оптического диапазона коэффициент отражения для некоторых металлов изменяется заметно. Например, для длины волны 0,4–0,7 мкм

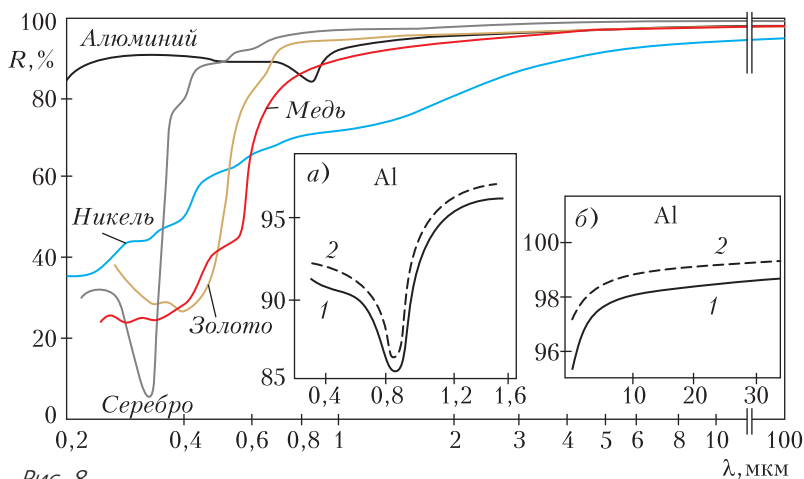


Рис. 8

коэффициент отражения Au составляет 0,39–0,95, для Cu – 0,55–0,96, для Al – 0,92–0,90, для Ag – 0,97–0,99. Поэтому Au и Cu иного, нежели Al и Ag, цвета. Человек с хорошим цветным зрением или металловед отличит никелевое покрытие от хромового – первое немного желтее. Иногда вариации цвета совершенно неожиданны. Так, принято считать, что у тантала – голубой оттенок. Но таков только тантал, имеющий примесь ниобия Nb около 3%, а чистый тантал – серый.

Что касается отражения от порошков, то порошок выглядит белым, если размер порошинок таков, что отражение преобладает над поглощением. Поэтому чем сильнее поглощение, тем мельче надо раздробить вещество, чтобы порошок побелел. Поглощение графита столь велико, что для реально достижимых размеров частиц оно преобладает над отражением.

Особый случай представляет отражение от неоднородных сред или сильно шероховатых поверхностей – например, от естественных, природных. Ведь для описания их формы надо вводить разные масштабы – «шероховатость» в масштабе метров и километров может влиять иначе, чем мелкомасштабная. Так, до сих пор не ясно, почему яркость диска Луны не убывает к краю. При падении света на рассеивающую поверхность она должна отражать по касательной (ниже мы это обсудим чуть подробнее) совсем мало света,

поэтому край диска Луны, который мы наблюдаем именно что по касательной, должен быть темным. Одна из гипотез состоит в том, что плоские участки поверхности Луны темнее склонов гор, и поэтому край диска, на котором мы видим в основном склоны, кажется относительно ярче (гипотеза Галилея). В более поздних моделях учитывали рельеф разного порядка – и горы, и отдельные камни. Другая гипотеза предполагает, что в поверхностном слое Луны много стеклянных шариков (оплавление при ударах метеоритов?), которые действуют, как катафот, т.е. отражают свет навстречу падающему лучу, навстречу Солнцу. А в полнолуние это будет как раз направление на Землю. Но это объяснение не действует в остальное время.

Жидкости в качестве «оптических материалов» используются весьма редко. Кроме указанных выше случаев иммерсионных жидкостей известно использование в астрономии некоторых жидкостей для заполнения полостей в объективах. Оптические свойства жидкостей в инфракрасной области используются очень широко, но не оптиками, а химиками – для установления состава. Соответственно, и оптические свойства газов используются для исследования смесей газов. Важны эти свойства и для расчета тепловых процессов в атмосфере. Есть, правда, один случай, когда смесь газов (а

именно – атмосфера) используется как оптическая среда – при лазерной связи. Но тут нет выбора, атмосфера уж какая есть, такая и есть, и связисты говорят лишь об «окнах прозрачности». Для обычной атмосферы это окно 0,3–1,3 мкм – как раз наше зрение, окошки 1,5–1,8 мкм, 2,0–2,6 мкм, 3,5–4,0 мкм, 4,3–5,5 мкм, окна 7,0–15,0 мкм (этим пользуются змеи) и 30–70 мкм, форточки в области 1 мм и 3 мм, а далее начиная с 1 см это уже радиодиапазон.

И еще в одной ситуации важно добиться предельно малого поглощения – это тоже дальняя связь, только не по воздуху, а по стеклу. Оптоволокно для передачи сигнала на большое расстояние делается из SiO_2 , т.е. из кварца. Главный параметр оптоволокна – способность передавать сигнал с малыми искажениями на большое расстояние. Искажения и потери зависят от материала, конструкции и эксплуатации. Конкретно – от материала нужны малые потери (т.е. поглощение и рассеивание) и дисперсия. Чтобы уменьшить потери, нужно использовать диапазон 1,2–1,7 мкм и уменьшать примеси Fe, Cr, Cu, Co, V, Mo, OH-групп. Именно выяснение причин потерь и получение кварца с низким содержанием этих примесей дало в свое время возможность начать активно применять световоды. С тех пор потери уменьшены примерно раз в сто, сегодня рекорд 0,15 дБ/км, причем это почти теоретический предел. (Про размерность *децибел на километр* можно посмотреть в интернете.) Предел – «релеевское рассеивание», то самое, из-за которого небо голубое, оно дает 0,13 дБ/км. Но ослабление 0,13–0,15 дБ/км означает, что на километровом куске кабеля сигнал теряет 3–3,5% мощности.

Чтобы сделать световод, нужен способ управления коэффициентом преломления. И тут нам повезло – есть примеси, которые его понижают (фтор F, бор B) и увеличивают (алюминий Al, германий Ge, фосфор P), но не вызывают поглощения. Материал должен быть сверхчистым именно по поглощающим примесям и надо обеспечить оптимальную концентрацию полез-

ных, причем переменную по сечению волокна, т.е. оптимально зависящую от радиуса. В технике не так много областей, для которых нужны сверхчистые вещества. Общеизвестный пример – полупроводниковая техника: многие примеси катастрофически влияют на свойства. Другой пример – атомная техника: так, в реакторных материалах должна быть мала примесь веществ, поглощающих нейтроны (B, Li, Cd). Оптоволокно с концентрацией примесей порядка 10^{-8} процента по массе – третий пример.

Вне диапазона 1,2–1,7 мкм потери в SiO_2 увеличиваются, а использовать видимое или более далекое ИК-излучение тоже хочется. Поэтому для видимого диапазона существует оптоволокно из «обычных» стекол: натрий–кальций–кремний ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$) или натрий–бор–кремний ($\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$). В ИК-диапазоне применяют фторидные (например, на $\text{ZrF}_4-\text{BaF}_2$) и халькогенидные (As_2S_3 , As_2Se_3) стекла, а также кристаллические материалы на основе TlCl , AgCl . Разнообразие материалов этих групп довольно велико и выделить лучшие трудно – пока что потери в них всех довольно велики и используют их для передачи только на короткие расстояния. Но теоретически в оптоволокне из этих материалов возможно достижение даже лучших параметров, нежели в SiO_2 , поэтому нас еще ждут приключения. И эти приключения могут стать вашими приключениями, если вы будете их искать и найдете...

Теперь – о том, с чего мы начали статью, т.е. о блеске. В природе его немного, зато сороки и некоторые люди его любят. В результате в человеческом обществе образовалась «субкультура блеска», сильно пересекающаяся со всем ювелирным. Специалисты по минералам считают, что по характеру блеска минералы можно разделить на три группы: с металлическим, полуметаллическим и неметаллическим блеском. Металлический блеск минералов напоминает блеск гладкой свежей поверхности металла. Он характерен для непрозрачных минералов (галенит, пирит, халькопирит, самородные золото, серебро,

платина). Названия некоторым из этих минералов первоначально давались по их интенсивному металлическому блеску, например – свинцовый блеск (галенит), сурьмяный блеск (антимонит). Полуметаллический блеск сходен с блеском потускневшей поверхности металла и встречается у непрозрачных и полупрозрачных минералов (графит, гематит, темный сфалерит, магнетит). Наиболее широко распространен неметаллический блеск. Он характерен для целого ряда прозрачных и полупрозрачных минералов. Выделяется достаточно большое количество разновидностей неметаллического блеска:

- **стеклянный** – напоминающий блеск поверхности стекла, это самый распространенный вид блеска, им обладают около 70% всех минералов (кварц на гранях кристаллов, кальцит, доломит, флюорит, полевые шпаты);

- **алмазный** – очень сильный искрящийся блеск, нередко затушевывающий собственную окраску минерала (алмаз, светлый сфалерит, касситерит);

- **жирный** – близкий к стеклянному, но несколько более тусклый блеск, когда поверхность минерала кажется покрытой пленочкой жира (кварц на изломе, нефелин, самородная сера);

- **перламутровый** – аналогичен блеску перламутровой раковины с радужными переливами, характерен для пластинчатых минеральных агрегатов (мусковит, гипс, тальк);

- **шелковистый** – наблюдается при тонковолокнистом строении минералов и напоминает блеск шелковых нитей (асбест, волокнистый гипс);

- **восковый** – тусклый, напоминающий блеск воска, характерен для агрегатов с достаточно грубой поверхностью (халцедон, кремнь);

- **матовый блеск** – когда минералы практически не блестят, встречается у тонкодисперсных землистых минеральных агрегатов (каолинит, лимонит, глауконит).

Между тем, остается неясным, при каких условиях человек называет отраженный сигнал оптического диапазона «блеском». Оказывается, мозг называет блес-

ком не просто хорошо отражающее, а отражающее узким пучком лучей, причем так, чтобы лучи попали преимущественно только в один глаз. Об этом подробно и увлекательно рассказывается, например, в книге Я.И.Перельмана «Занимательная физика» (книга 1, глава 9). Впрочем, эту книгу можно просто пересказывать всю, так что скачайте ее из интернета и читайте сами на досуге.

В заключение заметим, что когда мы говорим об оптических свойствах, то всегда подразумеваем видимое глазом, т.е. определенную частоту излучения и определенный – видимый – размер объекта. Но бывают другие частоты и другие размеры объектов. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения анализируют традиционно вместе с видимым, а по мере удаления от радуги и попадания в область рентгеновского излучения и миллиметровых радиоволн, когда вещества начинают вести себя существенно иначе, мы попадаем в другой, не менее интересный раздел учебника. Что же до размеров объекта, то вещества состоят из атомов и молекул, и мы вправе спросить, как фотон взаимодействует с одиночным атомом или молекулой и как из взаимодействия с одиночным атомом получается взаимодействие с молекулой и веществом.

Фотоны могут либо поглощаться, либо рассеиваться, причем рассеивание существенно при значительно больших энергиях (рентген, гамма-излучение). Поглощение может происходить через передачу энергии либо электронам в атоме, либо колебаниям атомов в молекуле, либо электронному газу в проводниках. А дальше – или излучение атома, который поглотил фотон (люминесценция, отражение диэлектриками), или колебания электронного газа и его излучение (отражение света металлами), или переход в тепло (именно поэтому металлы отражают поразному, а коты так любят греться на солнышке).