

**Ю.П. Солодова, Э.Д. Андреенко, Б.Г.
Гранадчикова**

**Определитель ювелирных и
поделочных камней**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26
Ю11

Ю11 **Ю.П. Солодова**
Определитель ювелирных и поделочных камней / Ю.П. Солодова, Э.Д. Андреенко, Б.Г. Гранадчикова – М.: Книга по Требованию, 2024. – 233 с.

ISBN 978-5-458-36146-0

Приведено описание и охарактеризованы методы определения ювелирных и поделочных камней. Даны диагностические таблицы минералов. В них включены как традиционные ювелирные и поделочные камни (алмаз, изумруд, рубин, сапфир, гранаты, топаз, турмалин, кварц и др.), так и новые (скаполит, апатит и др.), а также синтетические аналоги и имитации природных камней, применяемые в ювелирном деле. Определитель построен на диагностике физических свойств минералов: цвета, прозрачности, твердости, спайности и др.

ISBN 978-5-458-36146-0

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве ювелирных и поделочных камней используется большое количество минералов, горных пород, твердых образований органического происхождения, а также синтетических веществ.

Одни минералы применяются издавна и широко известны; это традиционные ювелирные камни: алмаз, изумруд, аквамарин, сапфир, рубин, шпинель, гранаты, хризоберилл, разновидности кварца, турмалина и др. Другие минералы были открыты недавно, но уже прочно утвердились в качестве ювелирного и поделочного материала; к ним относятся, например, танзанит, чароит, бразилианит и др. Кроме того, за последние десятилетия, благодаря возросшему интересу к миру камней, у целого ряда минералов, ранее не использовавшихся в ювелирном деле, были обнаружены разновидности, обладающие прозрачностью, красивым цветом, иризацией, астеризмом или эффектом кошачьего глаза. Эти так называемые нетрадиционные ювелирные камни — скаполит, апатит, гемиморфит, гердерит, еремеевит и др.— стали с успехом использоваться ювелирами.

Истинно драгоценными считают камни, которые обладают тремя основными качествами: красотой, долговечностью и редкой встречаемостью в природе. Красоту камня определяют яркость окраски, сильный блеск и «игра», долговечность обеспечивается химической инертностью и прочностью.

Широко применяются в ювелирном деле синтетические камни, их можно получить практически в любом количестве любых требуемых размеров и цветов. Они обладают двумя основными качествами драгоценных камней — красотой и долговечностью, но не имеют третьего, чем и определяется их более низкая стоимость, чем природных.

Некоторые искусственно выращенные камни являются аналогами природных и обладают теми же физическими свойствами. Поэтому при диагностике недостаточно определить только вид камня, необходимо указать его происхождение, т. е. является ли он природным или творением рук человеческих. Это объясняется тем, что стоимость некоторых природных и синтетических камней отличается в десятки и даже сотни раз. Другие синтетические вещества не имеют природных аналогов и применяются как самостоятельные ювелирные камни (например, фианит) или как имитации природных камней (например, фабулит).

Диагностика ювелирных камней усложняется и тем, что стремление расширить число красиво окрашенных камней привело к искусственному окрашиванию последних путем облучения, термической или химической обработки. Облагороженные ювелирные камни не могут оцениваться так же, как природные

с естественной окраской, и поэтому очень важно уметь их распознавать, что порой представляет значительные трудности.

К ювелирным камням относятся и такие органические образования, как жемчуг, янтарь, коралл, гагат. Их диагностика осложнена наличием различных имитаций. При определении жемчуга важно выявить его происхождение — является ли он природным или искусственно выращенным, а также морским или пресноводным (речным или озерным). При определении янтаря сложность состоит в распознавании его типа: собственно ли это янтарь — сукцинит или какая-либо другая из природных смол, а также в необходимости отличать природный янтарь от прессованного и плавленого. Идентификация кораллов в последнее время также стала вызывать некоторые затруднения в связи с появлением на мировом рынке искусственно полученных кораллов различного цвета.

Наконец, следует иметь в виду, что с глубокой древности в качестве имитаций ювелирных камней применяются стекла — стразы и эмали. Паряду с этим в настоящее время для изготовления дешевой бижутерии используются всевозможные пластмассы, смолы и другие материалы. Определенные трудности возникают и в связи с применением составных (склеенных) камней — дублетов, триплетов. При этом природные высококачественные камни сочетаются с низкокачественными того же минерального вида, различные природные камни — с синтетическими или стеклами и т. д.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЮВЕЛИРНЫХ И ПОДЕЛОЧНЫХ КАМНЕЙ

Определение механических свойств

Твердость и хрупкость. Одним из важнейших диагностических свойств ювелирных и поделочных камней является твердость — способность минерала сопротивляться внешнему механическому воздействию. Существует много различных методов определения твердости. В геммологии, как и в минералогии, относительная твердость камня определяется по шкале, предложенной в 1822 г. Ф. Моосом. Эта шкала состоит из 10 минералов-эталонов, твердость которых последовательно увеличивается: тальк — 1, гипс — 2, кальцит — 3, флюорит — 4, апатит — 5, ортоклаз — 6, кварц — 7, топаз — 8, корунд — 9, алмаз — 10. Метод основан на способности твердых минералов оставлять царапину на поверхности менее твердых образований. Минералы-эталоны могут представлять собой осколки минералов неправильной формы, желательно с небольшим ровным участком на поверхности, по которому было бы удобно царапать. Имеются специально изготовленные карандаши твердости — металлические стержни, в которых закреплены осколочки минералов-эталонов с острыми кромками.

(Определение твердости ювелирных и поделочных камней, чтобы не испортить их вид, рекомендуется проводить под микроскопом двумя способами: 1) осторожно царапать рундистом камня по ровным участкам минерала-эталона, начиная с более мягких; 2) осторожно, без большого нажима царапать по рундисту ограненного камня карандашами твердости, начиная с эталона, имеющего твердость меньше, чем предполагаемая твердость камня. Если эталон не оставил царапины (камень тверже эталона), нужно взять эталон большей твердости. Если эталон оставил глубокую царапину, что весьма нежелательно (камень гораздо мягче эталона), надо взять эталон с меньшей твердостью. Если эталон оставил на камне чуть заметную царапину, то твердость камня несколько меньше или твердость эталона и камня отличается незначительно. Это проверяют более мягким эталоном. Для получения надежных результатов необходимо применять оба вышеописанных способа определения твердости. При работе с карандашами твердости надо стремиться, чтобы размер царапин был минимальным.

Кроме того, существуют методы определения твердости, основанные на вдавливании алмазного конуса (по Роквеллу), металлического шарика (по Бринеллю) или алмазной пирамидки (по Виккерсу). Твердость в этих случаях устанавливается по сглашению величины давления к площади отпечатка. В 30-е

годы был разработан и внедрен в минералогию метод определения микротвердости минералов на приборах ПМТ-3, основанный на измерении отпечатка алмазной (ромбической, четырех- или трехгранной) пирамидки, свободно опускаемой на поверхность исследуемого минерала под определенной нагрузкой. Величину микротвердости минерала H (в кг/мм²) определяют по формуле, предложенной для четырехгранной пирамидки М. М. Хрущевым и Е. С. Берковичем: $H = 1854 P/d^2$, где P — нагрузка, г, d — длина диагонали отпечатка, мкм. Метод удобен и перспективен для диагностики ювелирных и поделочных камней [35].

Твердость является характерным свойством каждого минерала. При этом многим минералам присуща анизотропия твердости: полярная, зависящая от направления в пределах одной плоскости (границ), и ретикулярная, связанная с ретикулярной (атомной) плотностью грани кристалла, изменяющаяся на различных гранях или параллельных им сечениях [31]. Степень анизотропии твердости можно вычислить по формуле: $K_H = H_{\max}/H_{\min}$, где K_H — коэффициент анизотропии твердости, H_{\max} и H_{\min} — максимальное и минимальное значения микротвердости минерала.

При внешнем воздействии силы на камень проявляется и другое его механическое свойство — хрупкость. Хрупкость можно выявить, например, царапая острием ножа по поверхности минерала. При этом на ковких минералах остается блестящий след, хрупкие, с меньшей твердостью, крошатся, и следы могут носить различный характер: порошковатый у янтаря, раковистый у стекла и т. д. Различной может быть хрупкость у монокристалла и агрегата. Так, и алмаз, и кварц обладают хрупкостью, в то же время хрупкость их скрытокристаллических разновидностей — карбонато и халцедона — значительно ниже.

Величину хрупкости можно определить на приборе ПМТ-3. Она устанавливается по появлению трещин в минерале под воздействием нагрузки. Нагрузка, при которой появляется первая видимая трещина, называется числом хрупкости.

Спайность, излом, отдельность. Спайностью называется свойство минералов раскалываться под действием механических сил по определенным кристаллографическим направлениям, параллельным действительным или возможным граням. Это объясняется правилом Бравэ, согласно которому спайность проходит параллельно плоским сеткам с максимальной ретикулярной плотностью, наиболее слабо связанным между собой.

Степень совершенства проявления спайности различных минералов и даже одного минерала в различных направлениях различна. Она, согласно Х. Винклеру, при одинаковом общем числе связей между плоскими сетками определяется числом таких связей, приходящихся на единицу площади 0,1 нм².

В минералогии принята следующая шкала степени совершенства спайности: весьма совершенная — минерал расщепляется на тонкие слои, получить излом не по плоскости спайности весьма трудно; совершенная — минерал раскалывается по ровным плоскостям; ясная или средняя — минерал раскалывается как по ровным, так и по неровным поверхностям; несовершенная — минерал раскалывается по неровным поверхностям; весьма несовершенная, т. е. практически отсутствует, — минерал раскалывается по любым произвольным направлениям.

По характеру поверхности раскалывания различают следующие виды излома: ровный, ступенчатый, неровный, раковистый (конхоидальный), занозистый. Ровный излом проходит по плоскостям спайности. Ступенчатый излом наблюдается у минералов с совершенной спайностью. Неровный и раковистый излом получается при раскалывании минералов с несовершенной спайностью. Раковистый излом напоминает раковину. Занозистый излом наблюдается у минералов с волокнистым строением. Он напоминает излом древесины поперек волокнистости.

В минералах может наблюдаться также отдельность. Поверхности отдельности обычно не являются строго плоскими. Обычно они ориентированы в одном направлении. Появление отдельности связывают с различными явлениями: двойникованием, наличием блоков примесей, закономерно ориентированных в структуре, и т. д.

В обработанных ювелирных и поделочных камнях плоскости спайности или отдельности можно обнаружить под микроскопом в дефектах полировки или в виде параллельных трещинок.

Определение оптических свойств

Наиболее важными, в значительной степени определяющими эстетические достоинства ювелирных камней, являются такие их свойства как прозрачность, цвет, блеск, дисперсия показателей преломления (игра). Велика роль этих оптических свойств и при идентификации ювелирных камней.

Прозрачность. Световой луч, проходя через минерал, частично им поглощается. Величина поглощения обусловлена длиной волны света, а также структурой, химическим составом вещества, наличием в нем примесей, различных дефектов, агрегатным состоянием и т. д.

Степень поглощения лучей определяет прозрачность вещества. Минералы разделяют на прозрачные, полупрозрачные, просвечивающие в тонких сколах и непрозрачные. Прозрачность минерала определяется путем просмотра его напросвет, а также количественно-спектроскопическими методами в различных (ИК, УФ, видимый) диапазонах спектра с помощью спектрографов и спектрофотометров.

Цвет. Окраска ювелирных и поделочных камней является одним из ведущих свойств, определяющих их ценность,

одновременно это и диагностический признак. Для характеристики окраски ювелирных камней А. Е. Ферсман предложил различать: 1) цвет-оттенок — точное определение цвета, который обычно сравнивается с окраской наиболее известных предметов или веществ и обозначается двойным названием, включающим цвет и оттенок (например, травяно-зеленый, золотисто-желтый, молочно-белый); 2) тон-колорит — соотношение разных (светлые, темные) тонов цвета, определяется ведущий цвет в окраске камня; 3) интенсивность окраски — густота или насыщенность ведущего цвета.

Нередко ювелирные камни имеют неравномерную или зональную окраску. Кроме того, с изменением характера освещения (сего синктического состава) у некоторых минералов меняется цвет (александрит, разновидности гранатов, корундов и др.). Многие ювелирные камни изменяют окраску при нагревании (топаз, циркон, аметист, цитрин, гелиодор и др.), облучении (аметист, топаз, дымчатый кварц). Некоторые ювелирные камни, особенно самоцветы, под действием солнечного света выцветают, т. е. окраска их бледнеет и может совсем исчезнуть (аметист, розовый кварц, топаз, аквамарин).

Окраска как физическое явление возникает вследствие избирательного поглощения или отражения веществом определенного диапазона электромагнитного излучения в пределах видимой части спектра.

Природа окраски различна. А. Е. Ферсман разработал классификацию, согласно которой существуют три основных типа окраски: идиохроматическая, аллохроматическая и псевдохроматическая. Идиохроматическая, по современным представлениям, обусловлена фундаментальным (собственным) поглощением минерала, наличием видообразующих ионов переходных металлов, а также электронных и дырочных центров. Этот тип окраски доминирует в минеральном мире. Аллохроматические окраски связаны с присутствием в минералах примесных ионов переходных металлов, примесных (свободных) неорганических радикалов и механических примесей других окрашенных минералов. Особое место в цветовой гамме минералов занимает псевдохроматическая окраска (иризация, опалесценция, эффект кошачьего глаза, астеризм, побежалость), вызванная явлениями интерференции, дифракции и рассеяния света.

Наиболее распространенным методом определения окраски минералов является визуальное наблюдение при соответствующих условиях освещенности. Оценка цвета производится на фоне листа белой бумаги при дневном свете с северной стороны либо при освещении лампой дневного света. Человеческий глаз способен воспринимать и отличать около 200 цветовых оттенков.

Однако интуитивное определение окраски камня является субъективной характеристикой и не может полностью удовлетворять современным требованиям. Для исследования природы окраски минералов и объективной оценки цвета широко приме-

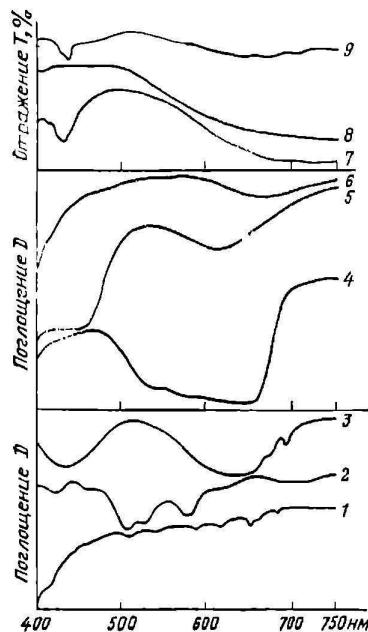
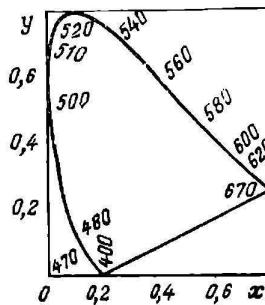


Рис. 1. Запись спектров поглощения и отражения обработанных ювелирных камней:
прозрачных: 1 — циркона,
2 — альмандина, 3 — изумруда;
полупрозрачных: 4 —
сапфира, 5 — иофита, 6 —
хризопраза; непрозрачных:
7 — бирюзы, 8 — имитации
бирюзы из синего стекла, 9 —
жадеита

Рис. 2. Диаграмма цветности Международной комиссии по освещению



появляются спектроскопические методы (в УФ-, видимой и ИК-областих (спектра, ЯМР, ЭПР и др.). Спектры поглощения записываются на разных типах спектрофотометров отечественного (СФ-8, -10, СФ-18 и др.) и иностранного («Вестап», США; «Регкин Ейтег», Великобритания; «Hitachi», Япония и др.) производства. Разработана методика, позволяющая производить запись спектров поглощения ограненных камней на спектрофотометре СФ-18 (рис. 1) в видимой области спектра [9]. Для наблюдения спектров поглощения используют также спектральный окуляр, помещаемый на место обычного окуляра бинокулярного микроскопа [35], и геммологические спектроскопы, выпускаемые фирмами «Рейнер», «Цейс», «Крюсе» и др., или спектроскопические установки «Калтихт» фирмы «Эйхорст».

Существуют два типа спектроскопов: с дифракционной решеткой и с призмой. Призменный спектроскоп находит более широкое применение [42]. Он состоит из металлической трубы. На одном конце ее расположен окуляр, на другом — щель, через которую проходит свет. Ширину щели можно регулировать. В металлической трубке сразу за щелью расположена лупа и серия (три или пять) стеклянных призм, склеенных таким образом, что вершины их поочередно направлены в противоположные стороны. Свет, проходя через линзу, превращается в параллельный пучок, который разлагается чередующимися призмами и достигает окуляра, практически не отклоняясь.

Если щель спектроскопа направить на яркий источник света и поместить перед ней камень, то в окуляре будет видна прямоугольная полоска спектральных цветов с поперечными тонкими черными линиями поглощения. Если камень маленький и не закрывает щель спектроскопа, необходимо использовать металлические диафрагмы. Работа со спектроскопом требует практического опыта, хорошие результаты можно получить, правильно отрегулировав ширину щели и тщательно сфокусировав наблюдаемую часть спектра.

Для описания цветов камней используются количественные характеристики, полученные колориметрическими методами, которые основаны на сравнении цвета исследуемого ювелирного камня с цветовыми эталонами в таблицах и атласах (например, атласы Оствальда, Манселла, цветовые таблицы DIN) или специально подобранными эталонными растворами и образцами. Наиболее точен и объективен метод цветовых координат, основанный на исследовании спектров оптического поглощения или отражения. Для наглядного изображения цвета применяется принятая Международной комиссией по освещению (МКО) в 1931 г. диаграмма цветности в прямоугольных координатах x и y (рис. 2), составленная спектральными тонами из трех основных цветов: красного, зеленого и синего. Для определения места минерала на диаграмме цветности записывается его спектр поглощения и производится расчет цветовых коэффициентов спектрального тона из трех основных цветов. Расчеты коэффициентов производятся по специальной программе на ЭВМ. Метод полезен при сравнении оттенков цвета природных минералов в коммерческих целях, а также для выявления отличия оттенков цвета природных минералов от их синтетических аналогов (например, аметистов, изумрудов, сапфиров, рубинов) с целью их идентификации и сближения цветовых оттенков.

В связи с тем, что разные ювелирные камни одного цвета могут иметь различные спектральные характеристики, при их диагностике используются цветовые фильтры. Таков, например, фильтр Челси, примененный впервые в 1934 г. Лондонской торговой палатой для отличия изумрудов от некоторых имитаций и минералов зеленого цвета и известный под названием «изумрудная луна». Этот фильтр может использоваться и при диагностике других ювелирных камней. Он представляет собой светофильтр, селективно пропускающий в желто-зеленой (570—630 нм) и красной (более 690 нм) областях видимого спектра.

Наблюдаемая через фильтр Челси окраска камней определяется особенностями их пропускания или отражения света в указанных диапазонах длии воли. Камни, прозрачные в желто-зеленой и красной областях видимого спектра, ведут себя под фильтром Челси нейтрально, т. е. имеют грязно-желто-зеленую окраску самого фильтра. Камни, непрозрачные в красной области, но прозрачные в желто-зеленой, имеют более чистый желто-зеленый цветовой тон. Камни, прозрачные в красной области, но

и прозрачные в желто-зеленой, выглядят под фильтром Челси
и чашами. Изумруд — один из немногих ювелирных камней,
пропускающий красный свет. Поэтому при наблюдении через
инертной фильтр большинство природных изумрудов, а также
синтетические, выращенные из раствора в расплаве, будут ка-
ровыми (красными). Однако необходимо иметь в виду,
что некоторые природные изумруды (из месторождений Урала,
Испании, Африки) и синтетические, выращенные гидротермаль-
методом, практически не изменяют свой цвет под фильт-
ром (инертны). Имитации из зеленого стекла, большинство
из них дублетов, некоторые минералы (турмалин, хризолит,
шпинель и др.) также инертны. Некоторые синие ювелирные
камни, пропускающие красную часть спектра, при наблюдении
через цветовой фильтр будут казаться розовыми (красными).
К ним относятся природные шпинель, некоторые сапфиры, син-
тетические шпинель и кварц, стекла.

Порядок работы с цветовым фильтром следующий: положить камень на лист белой бумаги, осветить ярким источником
света и наблюдать окраску камня, держа фильтр близко к
глазу, чтобы не мешал посторонний свет.

Для некоторых ювелирных и поделочных камней, имеющих
ис очень большую твердость (до 5), диагностическое значение
имеет цвет черты, которую оставляет минерал, если про-
вести им по бисквиту — белой неглазурованной фарфоровой
пластиинке. Цвет черты, т. е. цвет минерала в порошке, может
совпадать с цветом минерала или отличаться от него. Например,
цвет черты у бирюзы — голубой, голубовато-зеленый, а у чер-
ного гематита — вишнево-красный. По цвету черты можно отли-
чать некоторые минералы (малахит, лазурит и др.) от имитаций.
Камни с высокой твердостью будут разрушать бисквит, оставляя
на нем черту, соответствующую цвету фарфора в порошке.

П л е о х р о и з м . Анизотропные минералы характеризуются
различным поглощением света в зависимости от направления
его прохождения в кристалле. В соответствии с этим в разных
кристаллооптических направлениях наблюдается различная
окраска. Это явление называется плеохроизмом. В том случае,
если изменение окраски происходит в двух направлениях, оно
носит название дихроизма. Впервые он был замечен в корди-
нерите, с чем связан синоним кордиерита — дихроит. Плеохроизм
проявляется в различных минералах по-разному. Сильным пле-
охроизмом обладают кунцит, гиденит, таизанит, турмалины,
некоторые синие сапфиры, рубины, изумруды и др.

Это свойство используется при диагностике ювелирных кам-
ней. У некоторых из них, например у турмалина, австралийских
сапфиров, дихроизм можно наблюдать визуально, поворачивая
камень и просматривая его со всех сторон. В большинстве слу-
чаев плеохроизм наблюдают с помощью микроскопов и ди-
хроскопов. Первый дихроскоп был сконструирован В. Хайдин-
гером. Он представляет собой металлическую трубку с вмонти-
рованными в нее



Рис. 3. Дихроскоп

рованным кристаллом кальци-
та, на одном конце которой на-
ходится окуляр.

В настоящее время более широкое применение находят фильтро-дихроскопы, в которых используются две тонкие пластинки поляризационных фильтров, помещенные между диапозитивными решетками (рис. 3). Если перед окном дихроскопа расположить камень таким образом, чтобы свет, проходящий через него, попадал в

окно прибора, то через окуляр будут видны два сопряженных окна, окрашенные в разный цвет или разные оттенки одного цвета. Максимальный дихроизм наблюдается только в том случае, когда направления колебаний света, создающего изображения окна дихроскопа, точно совпадают с направлениями колебаний поляризованных лучей, идущих из камня, т. е. будет виден их собственный цвет. В случае других ориентировок часть каждого цвета будет попадать в оба изображения окошка дихроскопа. Дихроизм не наблюдается (т. е. оба окна прибора будут окрашены одинаково): 1) в изотропных камнях, 2) в анизотропных камнях, если оптическая ось камня совпадает с оптической осью прибора, 3) если направления колебаний обыкновенного и необыкновенного лучей в камне будут находиться под углом 45° к направлениям световых колебаний дихроскопа. Поэтому при работе с дихроскопом необходимо поворачивать камень, т. е. рассматривать его в различных положениях. Для освещения камня используют дневной свет или лампу дневного света.

Светопреломление. При переходе из воздуха в минерал на границе сред световые лучи преломляются. Отношение синуса угла падения лучей к синусу угла преломления называется показателем преломления. Показатели преломления минералов всегда больше единицы. Величина их меняется с изменением длины волны монохроматического света. Это явление называется дисперсией показателя преломления. Оно определяет игру (сверкание) камня. Наиболее высокая дисперсия показателя преломления у алмаза — 0,062. Полное внутреннее отражение наблюдается в том случае, если лучи идут из минерала в воздух. При постепенном увеличении угла падения наступает момент, когда свет не выходит из камня, а распространяется вдоль границы раздела сред. Этот угол называется предельным или критическим. Если лучи идут из минерала под углом, большим критического, то они не могут пройти в менее плотную среду и полностью отражаются обратно в минерал. Это явление называется полным внутренним отражением.