

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ В
ЮВЕЛИРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Учебно-методическое пособие для студентов специальности
1-52-02-01 «Технология и оборудование ювелирного
производства»

Электронный учебный материал

Минск 2018

УДК 553.8

Авторы:

Суровой С.Н., старший преподаватель кафедры «Конструирование и производство приборов», БНТУ

Самойлова МС., старший преподаватель кафедры «Конструирование и производство приборов», БНТУ

Рецензенты:

Соколовский С.С., доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы», БНТУ, к.т.н., доцент.

Учебное пособие содержит три основных раздела в соответствии с типовой программой курса.

Вопросы, рассматриваемые в пособии, направлены на формирование знаний об оценке показателей качества ювелирных изделий. Дисциплина «Специальные вопросы измерения и контроля в ювелирной промышленности» является частью технологической подготовки инженера-технолога, так как измерение и контроль являются неотъемлемой частью любого технологического процесса.

Учебное пособие может быть использовано для самостоятельной работы студентов как дневной, так и заочной формы обучения высших учебных заведений.

Белорусский национальный технический университет
Пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел. (017)292-77-52 факс (017)292-91-37

E-mail: emd@bntu.by

<http://www.bntu.by/ru/struktura/facult/psf/chairs/im/>

Регистрационный № БНТУ/ПСФ80-11.2019

©БНТУ, 2018

©Суровой С.Н., 2018

©Самойлова М.С., 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
РАЗДЕЛ 1.....	4
Основы теории измерений. Измерительные шкалы.	4
Методы измерений.....	5
РАЗДЕЛ 2.....	9
Качество ювелирных изделий и его контроль.....	9
Отражение, преломление и дисперсия света.....	12
Критический угол. Явление нормального внутреннего отражения. Прозрачность.	13
Измерение показателей преломления.	15
Измерение с помощью рефрактометров.	15
Измерения показателя преломления на криволинейных поверхностях.....	19
Определение камней с высокими показателями преломления.	20
Метод прямого измерения.....	20
Рефлектометры.....	21
Рефрактометры для измерения угла полного внутреннего отражения.....	22
Иммерсионный метод измерения показателей преломления.	22
Эффект Бекке.	22
Эффект Бекке.	23
Призматический метод.....	25
Определение показателей преломления драгоценных камней, обладающих двупреломлением. 26	
Измерения с использованием поляризационного микроскопа.	28
Блеск и игра камня. Их оценка.	30
Цвет драгоценных камней и их оценка по цвету.	34
Оценка бриллиантов по цвету.....	37
Дихроизм и дихроскоп.....	39
Применение спектрометра при определении драгоценных камней.	41
Спектры поглощения окрашивающих элементов.	43
Удельный вес и методы его определения.	45
Определение удельного веса с помощью тяжелых жидкостей.....	45
Раствор Клеричи.	46
Определение удельного веса методом непосредственного взвешивания.....	48
Гидростатическое взвешивание.....	49
Пикнометрический метод.	50
Твердость драгоценных камней и ее оценка. Спайность.	51
РАЗДЕЛ 3.....	51
Определение твердости металлов.	51
Метод определения твердости стальным шариком (по Бринелю).....	51
Метод определения твердости алмазным конусом (по Роквеллу).....	52
Метод определения твердости алмазной пирамидой (по Виккерсу).....	53
Определение микротвердости.	53
Определение твердости драгоценных камней.	53
Спайность.....	55
Драгоценные металлы и сплавы. Методы пробирования.	56
Сплавы драгоценных металлов.	58
Пробы. Определение проб.....	59
Определение проб.....	60
Пробирование на пробирном камне.....	60
Пробирование муфельным способом.....	61
Использованные источники	62

Введение

Потребность в измерениях возникла очень давно. Для этого в первую очередь использовались подручные средства. Из глубины веков дошли до нас единицы веса драгоценных камней-карат, что в переводе с языков древнего Юго-востока означает “семя боба”, “горошина”, единица аптекарского веса-гран (в переводе с латинского, французского, английского, испанского-зерно).

Т.е. еще в древние века люди пришли к пониманию ценности так называемых вещественных мер и единиц измерений. Например, в Вавилоне во 2 в до н. э. время измерялось в минах. Мина равнялась промежутку времени, равному примерно двум астрономическим часам, за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала “мина воды”; ее масса составляла 500 граммов. Впоследствии мина стала меньше и превратилась в привычную для нас минуту.

Важным шагом на пути развития человечества явилось осознание роли и внедрение в практику естественных мер и единиц измерений. Первой естественной мерой, получившей повсеместное распространение, стала мера времени- период вращения Земли. Относительная погрешность определения единицы времени секунды как $1/86400$ части среднего периода обращения Земли вокруг своей оси оказалась равной 10^{-7} . Точность вещественных мер времени, начиная с песочных часов и кончая сложнейшими механизмами, не шла с этим ни в какое сравнение.

В Комиссии мер и весов, созданной в России по решению Сената в 1736г., рассматривалась возможность определения сажени через длину меридиана Земли. Однако из-за отсутствия денежных средств и специалистов Комиссия ограничилась изготовлением и утверждением в качестве исходных вещественных мер (эталонов) длины и массы. В 1875г были изготовлены вещественные международные прототипы единиц длины и массы. Размеры этих единиц стали передаваться посредством сличений.

Если относительная погрешность воспроизведение метра через длину меридиана земли составляла 10^{-4} , то платиново-иридиевые прототипы воспроизводили его с относительной погрешностью 10^{-7} . Однако с развитием науки и техники такой точности стало недостаточно. В 1954г X Генеральная конференция по мерам и весам приняла новое определение метра- как длины, равной $1.650.736,73$ длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между невозмущенными энергетическими уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86. Относительная погрешность воспроизведения метра в соответствии с этим определением составила $4 * 10^{-9}$. Идея установления естественной единицы длины восторжествовала.

Претерпела изменения и естественная единица времени- секунда, определяемая теперь как $9.192.631.770$ периодов излучения, соответствующее переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

РАЗДЕЛ 1

Основы теории измерений. Измерительные шкалы.

Измерение заключается в получении информации о размере измеряемой величины. Единственным способом получения такой информации является сравнение. В простейшем случае это сравнение по принципу “больше- меньше” или “хуже- лучше”. Насколько больше или насколько хуже- непринципиально.

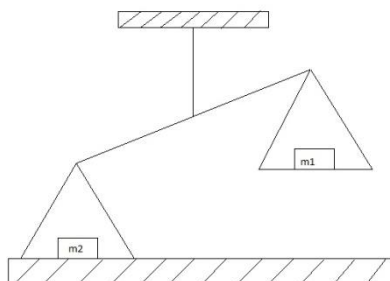


Рис. 1- Сравнительный анализ массы m_1 и m_2

Например масса m_2 может быть намного, а может быть и на немного больше массы m_1 . Расположенные в порядке возрастания или убывания величины образуют шкалу порядка. Это простейшая шкала, позволяющая получить ориентировочное представление о размере величин. Часто по шкале порядка оказывается возможным расставить величины чисто умозрительно, например, матрешки, находящиеся одна в другой, в порядке убывания их размера. Это говорит о том, что в некоторых случаях органолептический способ измерения, основанный на использовании пяти органов чувств человека- зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса ничуть не хуже инструментального, особенно если к точности измерения не предъявляется жестких требований. Некоторые точки на шкале порядка можно зафиксировать в качестве опорных (реперных). Например, в 1805 г. Бофордом была предложена реперная шкала для органолептических измерений силы ветра, просуществовавшая до 1964 г. По реперным шкалам до сих пор измеряются сила волн, чувствительность фотопленок, температура и др. В ювелирной промышленности по реперной шкале производятся измерения твердости минералов – это шкала Мооса.

Недостатком реперных шкал является неопределенность интервалов между реперными точками. Тем не менее измерения с помощью реперных шкал уже обладают приемлемой точностью. Например, температура, при которой серебро плавится, а золото остается твердым, может быть принята равной $(1286 \pm 51)^\circ\text{K}$, т.е. измеренной с неопределенностью $\pm 10\%$.

В некоторых случаях можно измерять величины в интервалах (или долях интервала) между двумя реперными точками. Для этого должна обеспечиваться возможность пропорционального деления шкал. Иногда это просто, как в случае длины или массы, иногда достигается за счет однозначного преобразования измеряемой величины в другую, поддающуюся пропорциональному делению : температуры или давления – в длину ртутного столба, силы тока или напряжения – в угол отклонения стрелки прибора. В этом случае шкала называется **шкалой интервалов**. По ней уже можно не только говорить о том, что один размер больше другого, но и определять, насколько больше (сказать, во сколько раз больше – нельзя).

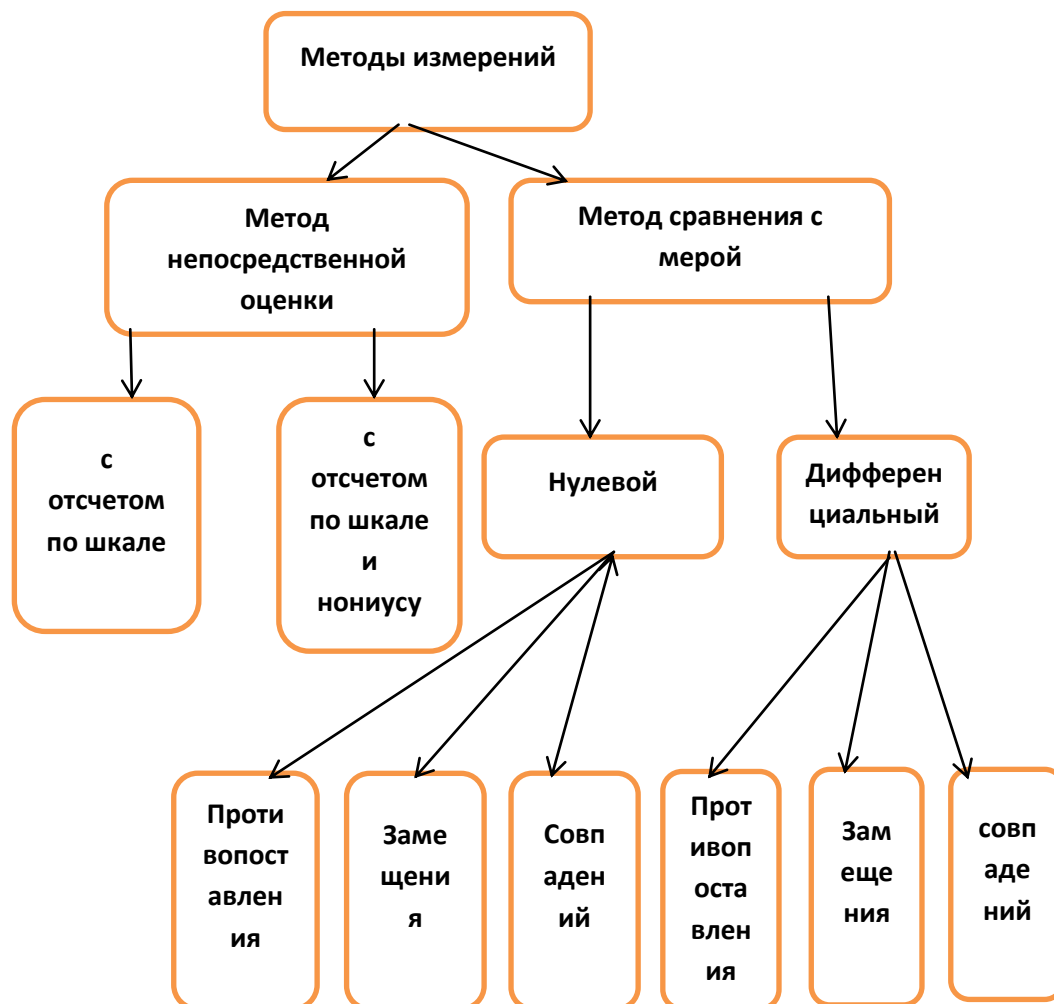
Особенностью шкал интервалов является то, что начальная точка в них выбирается произвольно (шкалы сельсиклой пары, летоисчисление в разных календарях и т.д.) При измерении t° - по Цельсию, Кельвину, Реометру. В следствии этого возникает так называемая проблема согласования шкал.

Этого можно избежать, если в качестве одной из двух реперных точек выбрать нулевую. Построенная таким образом шкала называется **шкалой отношений**.

Методы измерений.

Метод измерений представляет собой совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Исходя из этого определяют два метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой (мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера).

Классификационным признаком в таком разделении методов измерений является наличие или отсутствие при измерениях меры. Рассмотрим различные методы измерений:



Для пояснения сущности приведенных методов обратимся к примерам их реализации.

Метод непосредственной оценки с отсчетом показаний по шкале прибора характеризуется тем, что оператору не требуется проводить какие-либо вычисления, кроме умножения показаний прибора на некоторую постоянную, соответствующую данному прибору (цена деления). Примером данного метода измерений может служить взвешивание груза X на пружинных весах (на рисунке 2).

Масса груза определяется на основе измерительного преобразования по значению b деформации пружины. Процесс измерения по методу непосредственной оценки характеризуется быстротой, что делает его частонезаменимым для практического использования. Однако точность измерения обычно оказывается невысокой из-за воздействия влияющих величин и необходимости градуировки шкал прибора.

Для повышения точности измерения по методу непосредственной оценки при выполнении некоторых измерений; в частности линейных, применяют метод отсчета по шкале и нониусу или верньеру (вспомогательной шкале). Этот метод характеризуется использованием совпадения отметок шкал (основной и вспомогательной).

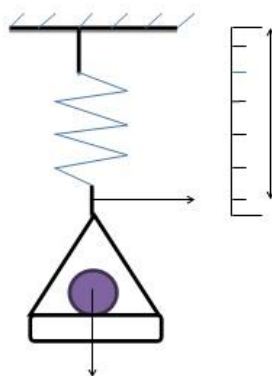


Рис.2- Метод непосредственной оценки

Нулевой метод измерения характеризуется равенством воздействий, оказываемых измеряемой величиной и мерой, на прибор, используемый для сравнения. В соответствии с классификацией различают нулевые методы противопоставления, замещения и совпадения. Первые два из этих методов иногда показывают соответственно методами полного противопоставления и полного замещения.

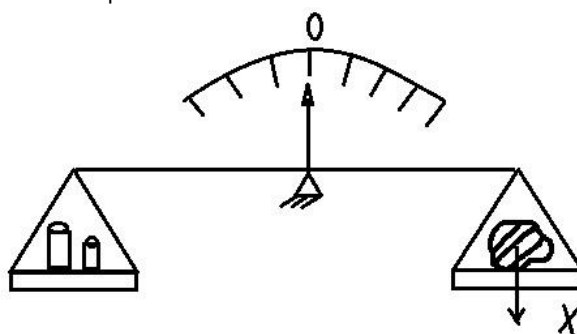


Рис.3- Нулевой метод измерения

Примером нулевого метода противопоставления может служить взвешивание груза X на равноплечих весах (на рисунке), когда масса груза определяется массой гирь, уравнивающих воздействие груза на рычаг весов. Состояние равновесия определяется по положению указателя нуль-индикатора, который в этом случае должен находиться на нулевой отметке. Весы при таком измерении выполняют роль компаратора (это измерительный прибор, предназначенный для сравнения измеряемой величины с величиной, значения которой известны). Данный метод используется для измерения самых разнообразных физических величин и как правило обеспечивает большую точность измерений, чем метод непосредственной оценки, за счёт уменьшения влияния на результат измерения погрешностей средства измерений, которые в данном случае осуществляет только сравнение воздействий, создаваемых измеряемой величиной и мерой. Недостатком данного метода является необходимость иметь большое число мер различных значений для составления сочетаний, воспроизводящих величины, равные измеряемым.

Примером использования этого метода в ювелирной промышленности является иммерсионный метод определения показателей преломления драгоценных камней. Изучаемый камень последовательно погружают в жидкости до тех пор, пока не будет найдена жидкость с таким же показателем преломления (камень в жидкости становится невидимым). Нулем указателем в этом случае служит глаз человека, который с высокой точностью способен фиксировать совпадение типовых характеристик.

Разновидностью нулевого метода является **компенсационный метод измерений**, применяемый в тех случаях, когда важно измерить физическую величину, не нарушая процесса, в котором она наблюдается. При подключении измерительного устройства, реализующего

компенсационный метод, к объекту измерения на этом устройстве создаётся действие, направленное на встречу действию, создаваемому изучаемым явлениям. При этом создаваемое в измерительном устройстве явление измеряется до тех пор, пока не будет достигнута полная компенсация действия изучаемого явления на измерительное устройство.

По размеру физической величины, создающей компенсирующее явление, судят о размере измеряемой физической величины. При условии полной компенсации изучаемое явление протекает в объекте так же, как оно протекает в случае, когда к объекту не подключено измерительное устройство (наиболее широко применяется измерения электрических величин – тока, напряжения, сопротивления).

Нулевой метод замещения состоит в том, что измеряемая физическая величина и мера последовательно воздействуют на измерительный прибор. При этом значение меры подбирают таким, что бы её воздействие на измерительный прибор было равно воздействию измеряемой физической величины.

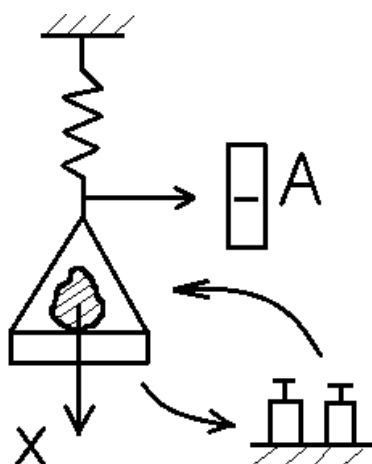


Рис.4- Нулевой метод замещения

На рисунке 4 показан пример реализации метода полного замещения для случая измерения массы груза. Здесь напружинные весы устанавливают груз X и делают отметку A на шкале, как результат его взвешивания. При этом показания пружинных весов принципиально можно и не считывать. Затем снимают груз и на чашку устанавливают такой набор гирь, который обеспечивает такую же деформацию пружины, как и груз X, о чем судят по установке стрелки против отметки A.

Нулевой метод замещения применяют в тех случаях, когда производятся точные измерения параметров, так как он позволяет практически исключить влияние изменения характеристик используемого средства измерения. В ювелирной промышленности примером использования этого метода являются методы точного взвешивания.

Нулевой метод совпадения состоит в совпадении сигналов двух периодических процессов, характеристика одного из которых измеряется, а другого используется в качестве меры.

Дифференциальный метод измерений характеризуется тем, что с помощью измерительного прибора методом непосредственной оценки измеряется разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой меры. Этот метод позволяет получить высокоточные результаты даже при использовании для измерения указанной разности относительно грубых средств измерений. Реализация дифференциального метода возможна только при условии наличия высокоточной меры, близкой по значению к измеряемой величине.

Исходя из принятой нами классификации различают дифференциальные методы противопоставления, замещения и совпадения. Первые два из них иногда называют методами неполного противопоставления и неполного замещения.

Примером метода неполного противопоставления может служить взвешивание на равноплечих весах, показанных на рисунке 5.

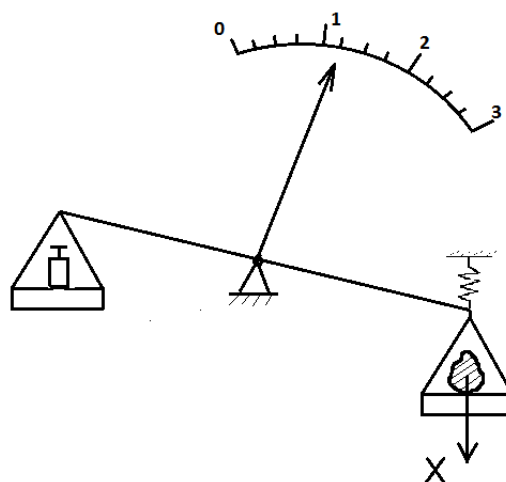


Рис.5- Метод неполного противопоставления

Здесь действие груза X уравнивается действием гири, служащей мерой и силой упругой деформации пружины. По существу в данном случае по величине деформации пружины, значение которой может быть отсчитано по шкале, измеряется разность воздействия груза и гири на пружину. Так определяют разность их масс. Массу же груза определяют после взвешивания как сумму массы гири и показаний считанных по шкале.

Сущность дифференциального метода замещения можно уяснить, рассмотрев пример взвешивания груза X на пружинных весах в том случае, когда из имеющегося набора гирь не удаётся составить сочетания, позволяющее добиться такого показания весов, при котором стрелка устанавливается на отметку A, соответствующую показанию весов при установке на них измеряемого груза X (рисунок 6).

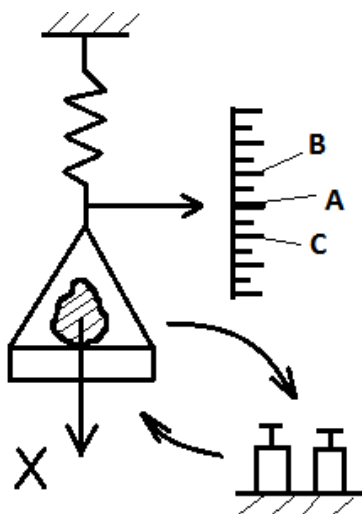


Рис.6- Дифференциальный метод

Предположим, что при установке на весы выбранного набора гирь стрелка весов устанавливается на отметке B.

Когда к выбранному набору добавляются гири с наименьшей массой, стрелка устанавливается на отметке C. В данном случае замещение получается неполным. Для определения массы груза прибегают к интерполяции, с помощью которой по известному значению массы наименьшей гири и числу делений шкалы между отметками B и C рассчитывают значение массы груза и массы выбранного набора гирь, а затем определяют массу груза.

Сущность дифференциального метода совпадения состоит в том, что совпадение сигналов двух периодических процессов является не полным. При этом измеряются характеристики периодического процесса представляющего собой результат воздействия

названных выше двух периодических процессов. Результат измерения определяется так же , как во всех дифференциальных методах.

РАЗДЕЛ 2

Качество ювелирных изделий и его контроль.

Красота, долговечность, редкость - таковы три главных достоинства настоящего ювелирного изделия. Изделия, которым не достает какого-либо из этих свойств не могут претендовать на то, чтобы считаться драгоценными, хотя это совсем не доказывает, что они не могут быть использованы для украшений. Жемчуг, который относят к числу драгоценных камней не правильно, так как он создается живыми организмами, представляет собой в некотором смысле исключение, поскольку бесспорная красота возмещает его сравнительно малую долговечность.

Красота бриллианта достигается за счет выполнения операции огранки по расчетным или близким к ним пропорциям и симметрии бриллианта, которые максимально обеспечивают использование оптических свойств алмаза: светопреломления, полного внутреннего отражения, дисперсии и блеска. Соответственно проверка качества изготовленного бриллианта производится в направлении определения пропорций , симметрии и качества обработки поверхности бриллианта.

При проверке пропорций измеряется диаметра бриллианта, устанавливается величина отклонений рундиста от идеальной круглой формы, определяется величина площадки бриллианта, высота его верхней части, высота рундиста и высота нижней части бриллианта, углы наклона граней верха и низа к плоскости рундиста.

При определении симметрии проверяется величина и правильность размещения фасетов, рисунок и расположение площадки относительно плоскости рундиста, размер и расположение колеты относительно центра площадки.

В процессе проверки поверхности бриллианта определяются : 1)качество обработки поверхности рундиста (шероховатость, зернистость, равномерность расположения, наличие естественных граней и их поверхность); 2)качество полировки (наличие на площадке и гранях следов шлифования, наличие повреждений в виде мельчайших сколиков и полосок, заматования ребер и граней, следов подгара);3) качество колеты (степень полировки, наличие повреждений).

Качество изготовления бриллиантов на соответствие требованиям технических условий по геометрии и качеству обработки поверхности огранщик проверяет после выполнения каждой операции следующими инструментами : угломерами (углы наклона нижней и верхней частей бриллианта); лупа 10X увеличения с измерительной шкалой (размеры площадки и колеты, высоту клиньев, рундиста,а также смещение ребер ,); индикатором типа ИЧ-10 со специальной приставкой для установки бриллианта (диаметр и отклонение от круглости бриллианта); лупой 6X увеличения (качество поверхности рундиста и граней).

Масса бриллианта устанавливается взвешиванием на каратных весах с точностью до 0,01 карата. Для контрольной проверки основных параметров огранки применяют часовой проектор, на экране которого помещается схема бриллианта с нанесенными диапазонами допустимых углов наклона граней нижней и верхней частей бриллианта, размеров площадки и рундиста.

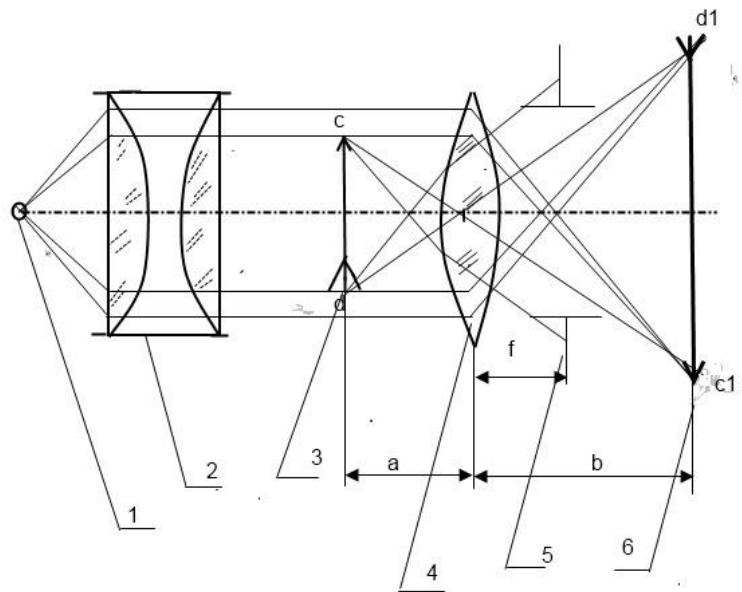


Рис.7- Принципиальная схема часового проектора

На рисунке 7 показана принципиальная схема проектора. Свет от источника 1, пройдя через конденсор 2, идет дальше параллельным пучком лучей. Встретив на своем пути проверяемое изделие 3, пучок лучей частично задерживается. Остальные лучи, проходящие вне контура изделия, попадают в объектив 4 и дают в плоскости экрана 6 увеличенное обратное теневое изображение контура изделия. Увеличение V проектора определяется из отношения $V = \frac{c_1 d_1}{cd} \approx \frac{b}{a}$

В проекторах также, как и в измерительных микроскопах, для уменьшения погрешностей от не точной фокусировки используют телецентрический ход лучей, для чего в задней фокальной плоскости объектива устанавливают апертурную диафрагму 5. (Диафрагмами называют детали и устройства, ограничивающие пучки лучей в оптических системах. Диафрагмы, ограничивающие входящие в прибор пучки лучей, называют апертурными, а диафрагмы ограничивающие поле зрения, - полевыми). Современные проекторы обычно имеют несколько сменных объективов, позволяющих получать увеличение 10, 20, 50, 100 и 200X. Экран проектора имеет постоянные размеры и рассчитан на полное использование при каждом увеличении. Поэтому поля зрения проектора изменяется обратно пропорционально используемому увеличению. Поля зрения проектора приближенно равно размерам экрана, деленным на увеличение данного объектива. По увеличению, качеству изображения, освещенности экрана и удобству работы часовые проекторы имеют преимущества по сравнению с проекторами других типов. Процесс измерения на проекторе аналогичен измерениям на микроскопах.

Для измерения параметров бриллианта закрепляется в механической оправке с помощью двух штифтов, а его проекцию, увеличенную в 20 раз и более, переносят на экран и совмещают со схемой бриллианта. По характеру совмещения определяют соответствие параметров изготовленного бриллианта техническим условиям.

Чистоту обработки граней и рундиста проверяют визуальной лупой 10^x увеличение и выборочно на микроинтерферометре.

Для определения степени отклонения геометрических параметров огранки бриллианта пропорции исходного бриллианта сравнивают с пропорциями идеального бриллианта Толковского. Для этого используют специальный прибор «Пропорционоскоп». Он представляет собой проектор, в переднюю стенку которого вставлено матовое стекло с изображением бриллианта идеальной огранки. Степень отклонения от идеальной огранки определяют положением теневой проекции исследуемого бриллианта на контуры бриллианта Толковского. Прибор позволяет просматривать бриллианты массой от 0,18 до 8,0 кар. В зависимости от степени отклонения от идеальных пропорций стоимость бриллианта уменьшается. Значительное влияние

на цену бриллиантов оказывает их форма. Как правило, наибольшую стойкость по сравнению с другими имеют бриллианты фантазийных форм. При продаже фантазийных бриллиантов и багетов отдается предпочтение парным бриллиантам, а также партии бриллиантов одного размера. Цена на них значительно увеличивается.

Другие камни, такие, как обожженный циркон, белый сапфир, белый топаз и горный хрусталь, также являются весьма привлекательными, но ни один из них не сверкает как алмаз. Требуется все искусство мастера, чтобы обеспечить такое расположение граней, при котором раскрылось бы полностью богатство камня. С другой стороны, привлекательность окрашенных камней больше зависит от присущих им оттенков цвета, чем от способа их огранки.

Тон окраски не должен быть слишком светлым или слишком темным: камни, в которых цвет только едва усаживается, представляет небольшой интерес, так же как и камни, которые кажутся почти непрозрачными, черными. Огранщик может до некоторой степени исправить также недостатки, изготавливая из одних камней толстые пластинки, а из других – тонкие. В некоторых своеобразных камнях, например в турмалине, прозрачность в значительной степени различна в разных направлениях, тогда как в других, например в рубине, сапфире, кунците, сильно меняется цвет. Цвета, считающиеся наиболее привлекательными – это огненно-красный цвет рубина, царственно-синий цвет сапфира, живой зеленый цвет изумруда и золотисто-желтый цвет топаза – все это чистые цвета и соответствующие им спектры поглощения в целом непрерывны и часто узки. Поэтому они сохраняют чистоту своей окраски даже при искусственном свете, хотя некоторые сапфиры пропускают сравнительно много красного света и соответственно вечером становятся пурпурными. Из небольшой группы просвечивающих камней, через которые свет хотя и проходит, но его недостаточно для того, чтобы через камни можно было что-то увидеть, наиболее важную роль играет опал. Он и еще некоторые минералы из этой группы ценятся благодаря тому же оптическому эффекту, который создается на поверхности мыльных пузырей, а не благодаря собственной окраске. Другой вид камней – лунные и звездчатые камни – отражают свет от своих внутренних граней, но не настолько хорошо, чтобы возникла игра света. В последней группе, объединяющей непрозрачные камни, типичных драгоценных камней мало; главные из них – бирюза, лазурит и нефрит. В этом случае свет рассеивается, отражаясь от слоев, находящихся непосредственно у поверхности камня, а цвет определяется возникающим поглощением. Темный тон сильно окрашенных камней обусловлен другой причиной: свет, попадая в камень, полностью в нем поглощается и, поскольку из камня свет не выходит, камень кажется черным.

Безусловно, важно, чтобы камни, используемые в ювелирной промышленности, могли сопротивляться механическим и химическим воздействиям, неизбежным при их повседневном использовании. Едва ли кто-нибудь захочет менять изношенные драгоценности спустя всего лишь несколько лет; конечно, самые ценные камни должны сохраняться вечно.

Мелкие частицы песка, содержащегося в обычной пыли, вызывают механическую абразию, поэтому драгоценные камни должны быть по меньшей мере столь же твердыми, как эти частицы, – условие, выполняющееся для всех главных видов камней, за исключением опала, бирюзы, хризолита и демантоида. Однако и эти четыре камня только немного мягче частиц песка. Следует отметить, что мягкость стеклянных и фарфоровых изделий делает их непригодными для ювелирных целей, не говоря уже о всех других их недостатках, которые объясняют нежелание знатоков использовать поддельные камни. Пластмассовые поделки еще мягче, чем фарфоровые и стеклянные, поэтому едва ли они способны выдержать столь трудное соперничество. Тем не менее некоторые виды пластмасс обладают идеальной прозрачностью, и им можно придать приятную для глаз окраску, поэтому они должны нравиться тем, кто интересуется привлекательными, по дешевым украшениям, и кого не смущает их слабая стойкость против износа. Только те драгоценные камни, которые обладают хотя бы слабой пористостью, могут подвергнуться во время носки химическим воздействиям. Лучше не опускать бирюзу в жидкость, даже в воду, чтобы синевато-зеленый цвет не приобрел в результате окисления обесцвечивающий желтоватый оттенок. Опасность повредить опалы, лунные и звездчатые камни грязью и жиром (при проникновении их внутрь камней) не так велика, но пренебрегать ею не следует. В еще большей степени эти замечания относятся к жемчугу. Его очарование, вызываемое

особой игрой света на поверхности жемчужин, может пропасть в результате загрязнения жиром, чернилами или другими подобными веществами; кроме того, жемчуг очень мягок.

Отражение, преломление и дисперсия света.

Поскольку камень, пригодный для целей украшения, должен быть привлекательным, наиболее важны этой точки зрения его оптические свойства. В самом деле, все искусство огранки драгоценных камней состоит в том, чтобы придать камню такую форму, при которой наилучшим образом проявятся именно эти свойства. Чтобы понять, почему камням придается определенная огранка, важно установить, что происходит с лучом света, попадающим на поверхность камня. При этом мы обнаружим, что действие камня на луч света приводит к результатам, играющим важную роль в отделении одних видов драгоценных камней, особенно граненых, от других.

Поведение светового луча, наталкивающегося на поверхность, разделяющую какие-либо две среды, одинаково вне зависимости от природы этих сред. Повседневный опыт обращения с зеркалом показывает, что луч света возвращается, или, как обычно говорят, отражается от плоской и гладкой поверхности, причем кажущиеся размеры предметов, наблюдаемых в отраженном виде, не меняются, но правая и левая стороны меняются местами; говорят, что предмет и его зеркальное отображение энаптиоморфны. Если использовать второе плоское зеркало и наблюдать в нем отражение от первого зеркала, то второе отражение не отличается от предмета, хотя мы и не можем разместить глаза на втором отражении на одной линии со своими собственными. Мы видим, что наше отражение в плоском зеркале кажется расположенным как раз на таком расстоянии позади этого зеркала, на каком мы находимся перед ним.

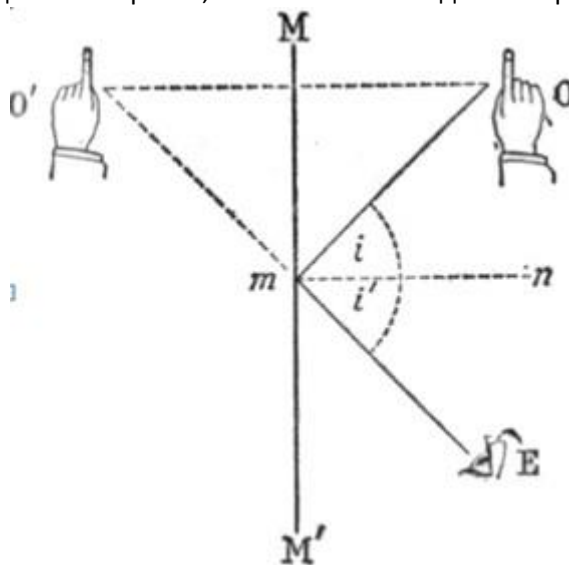


Рис.8- Отражение в зеркале

На рисунке8 линия MM' показывает профиль плоского зеркала, O' — отражение в зеркале руки O . Луч от O попадает в глаз E от точки m на поверхности зеркала, но кажется, что этот луч идет от O' . Поскольку линия OO' перпендикулярна зеркалу, точки O и O' одинаково удалены от него, из элементарной геометрии следует, что угол i' , образуемый отраженным лучом с линией mn , нормальной к зеркалу, равен углу i между падающим лучом и той же линией.

Прохождение луча света из одной среды в другую изучал в начале XVI в Снеллиус. Он вывел следующие законы преломления света.

1.Преломленный луч лежит в плоскости, содержащей падающий луч и нормаль к плоскости поверхности, разделяющей две среды (этот закон справедлив и для отраженного луча).

2. Угол r , образуемый преломленным лучом с нормалью связан с углом i , образуемым падающим лучом с тем же направлением, следующим уравнением $n \cdot \sin i = n' \cdot \sin r$, (*) где n и n' – константы двух сред, называемые **показателями преломления**.

Приведенное тригонометрическое соотношение можно выразить геометрически (рисунком 9).

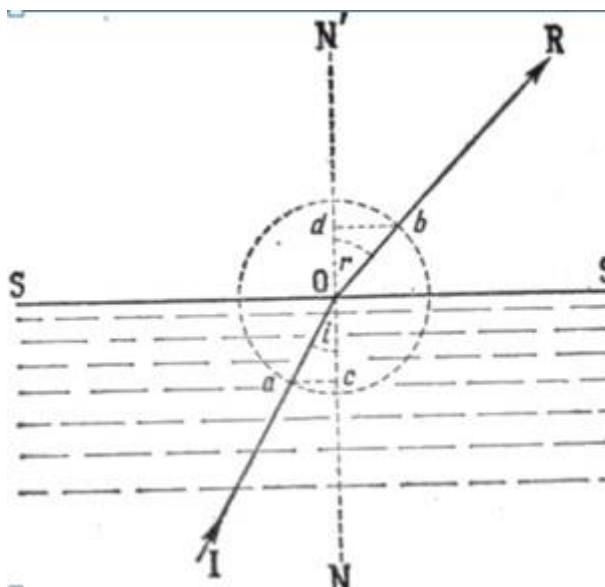


Рис.9- Преломление света

Предположим, что мы рассматриваем плоское сечение SOS' , которое располагается под прямым углом к поверхности, разделяющей две среды, и содержит падающий луч IO . Согласно первому закону Снеллиуса, преломленный луч OR также находится в этой плоскости. Проведем нормали опишем из центра O окружность произвольного радиуса, которая пересечет падающий луч в точке a , а преломленный – в точке b ; опустим из этих точек перпендикуляры на нормаль NON' : ac и bd . Тогда мы получим: $n \cdot ac = n' \cdot bd$, откуда видно, что при $n > n'$ $ac < bd$ и, следовательно, когда луч проходит из одной среды в другую, оптически менее плотную, он преломляется, переходя через границу, и удаляется от нормали.

В дальнейшем мы увидим, что для того, чтобы понять сложность прохождения света в двупреломляющем кристалле случаю прохождения света из одной среды в другую вполне уместно применить волновую теорию.

Критический угол. Явление нормального внутреннего отражения. Прозрачность.

Когда свет падает на поверхность между двумя средами, часть световых лучей, как было показано, преломляется, проходя во вторую среду; необходимо отметить, однако, что по крайней мере часть их отражается и остается в первой среде, а при определенных обстоятельствах свет вообще не падает во вторую среду. Отношение между количествами отраженного и преломленного света тесно связано с величиной угла падения и показателем преломления двух сред. Обратимся к путям лучей при различных углах падения, когда свет проходит из одной среды в другую, например из воды в воздух. В случае малого угла падения, как у луча I_1O , часть лучей отражается в направлении OI_1' и остается в первой среде, а остальные преломляются в направлении OR_1 и уходят во вторую среду. Такая же картина наблюдается и для луча I_2O : часть света отражается вдоль линии OI_2' , а остальные лучи преломляются и идут по линии OR_2 . Поскольку в данном случае свет переходит в среду оптически менее плотную, т.е. имеющую более

низкий показатель преломления, угол преломления будет больше угла падения.

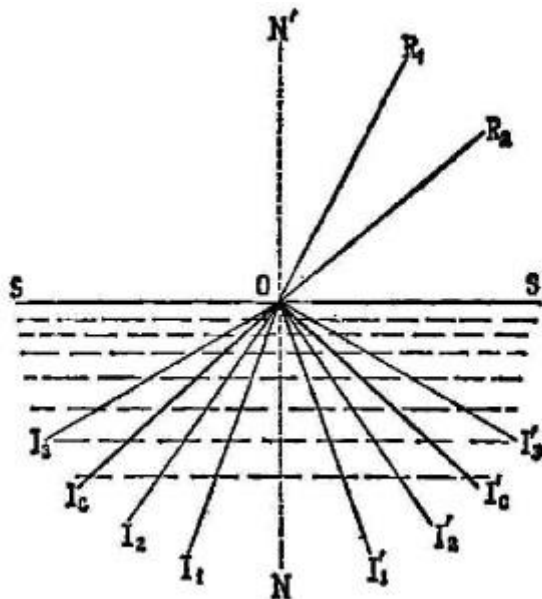


Рис.10- Полное внутреннее отражение

Следовательно, определенному лучу I_cO соответствует преломленный луч, скользящий вдоль граничной плоскости. Для лучей, таких, как I_3O , имеющих больший угол падения, соответствующих лучей во второй среде уже нет, или, иными словами, луч полностью отражается в более плотной среде. Предельный угол I_cON , называемый **углом полного внутреннего отражения**, связан очень простой зависимостью с показателем преломления двух сред; поскольку угол γ в этом случае прямой, то $\sin \gamma = 1$ и уравнение (*) примет вид

$$n \sin i = n' (**)$$

Следовательно, если измерен угол полного внутреннего отражения (критический угол) и известен один из показателей преломления, то другой можно легко рассчитать.

Показатель преломления воздуха принят равным единице; строго говоря, таков показатель преломления для вакуума, но различие настолько мало, что оно не может повлиять на точность даже очень тонких определений. Показатели преломления всех веществ меняются в зависимости от цвета, т.е. длины световой волны, поэтому обычно в качестве стандарта используется желтый свет, испускаемый пламенем натрия; к этому цвету наши глаза наиболее чувствительны. Если имеется подходящее электрическое оборудование, то яркий желтый свет можно получить от натровой лампы; желтое пламя можно также получить путем испарения крупинки соды или соли в пламени лабораторной газовой горелки (горелки Бунзена).

Если посмотреть на список показателей преломления драгоценных камней, то видно, что измерение этих показателей служит мощным средством определения того, к какому виду относится данный граненый камень. Хотя показатель преломления считается физической константой, он может меняться в весьма широких пределах для разных образцов одного и того же минерального вида благодаря широте химического состава, обусловленной изоморфным замещением одного элемента другим без существенного изменения кристаллической структуры. Некоторые колебания показателя преломления можно обнаружить даже в одном и том же камне при измерениях в разных направлениях; это происходит вследствие замечательного свойства, которым обладают все кристаллические вещества, не относящиеся к высшей (кубической) сингонии, - свойства расщеплять падающий луч света на два луча. Это явление **двойного лучепреломления**, или двупреломления.

С различной величиной показателя преломления вещества для света разного цвета связаны знакомые нам явления, такие как радуга и сияние алмаза. Когда дневной свет попадает внутрь камня, он становится не белым, а разлагается в спектр. За исключением ряда аномальных веществ, которых, кстати, нет среди драгоценных камней, показатель преломления последовательно возрастает при уменьшении длины световой волны, вследствие чего в обычном спектре один конец фиолетовый; дальше идут цвета синий, зеленый, желтый, оранжевый и на

другом конце – красный. Угловая ширина спектра, которую можно измерить по разности показателей преломления для крайних частей спектра – фиолетовой и красной, также различная, хотя в целом она возрастает с увеличением показателя преломления. Это как раз та **дисперсия света**, которая вызывает сияние, световую игру- важнейшее свойство бесцветных прозрачных драгоценных камней, без которого эти камни не привлекали бы такого внимания. В этом отношении алмаз превосходит все природные бесцветные камни, хотя к нему близок циркон, окраска которого исчезает при нагревании; однако еще сильнее дисперсия света в почти бесцветном искусственном рутиле, синтетическом титанате стронция и в трех окрашенных минералах: демантоиде(зеленом гранате), сфене и сильнее всего в касситерите.

Прозрачность. Прозрачностью называется способность тела пропускать сквозь себя лучи света. Прозрачность тела можно определить по формуле

$$I_d = I_0 e^{-kd}$$

Где I_d - интенсивность света, вышедшая из тела, I_0 – интенсивность света, вошедшая в тело, e – основание натуральных логарифмов, d – путь, пройденный светом в данном теле, k – коэффициент поглощения.

Кроме того, вводится понятие коэффициента прозрачности $a = I_d/I_0$ при $d=10$ мм.

Коэффициенты a и k меняются в зависимости от длины волны λ и химического состава данного вещества.

По степени прозрачности все минералы делятся на :

Прозрачные, сквозь которые легко видно изображение(горный хрусталь, исландский шпат);

Полупрозрачные, сквозь которые предметы распознаются с трудом(гипс);

Просвечивающиеся, прозрачные лишь в тонких слоях(опал);

Непрозрачные, не пропускающие свет даже в тонких обломках(пирит, магнетит, галенит).

Например, алмазы в природе встречаются всех групп прозрачности. Ювелирные алмазы, идущие на изготовление бриллиантов, обладают в видимой части спектра очень небольшим поглощением, порядка 2...5%. Кристалл алмаза, не содержащий примесей и без микронарушений кристаллической структуры, исходя из теоретических предпосылок, должен быть прозрачным в области 200...4800 мм. Кристаллы с такой характеристикой должны быть практически бесцветными.

Измерение показателей преломления.

Существует несколько методов измерения показателей преломления. Чаще всего применяется метод, основанный на зависимости между отношением показателей преломления двух контактирующих сред и углом полного внутреннего отражения; использование этого метода ограничено, однако, тем диапазоном, который определен показателем преломления постоянной среды. Соответствующие приборы называются рефрактометрами. Некоторые конструкции рефрактометров позволяют непосредственно считывать значения показателей преломления. В других измеряется угол полного внутреннего отражения, а величина соответствующего показателя преломления определяется расчетом (или графически, с помощью номограммы). Существуют и другие методы, например, призматический.

Измерение с помощью рефрактометров.

Уравнение $u \sin i = h'$, связывающее угол полного внутреннего отражения с показателем преломления двух соприкасающихся сред, позволяет сделать вывод, что если показатель преломления более плотной среды является постоянной величиной, то показатель преломления всех менее плотных сред можно легко рассчитать, определив соответствующие углы. В рефрактометрах в качестве постоянной среды обычно применяется стекло с высоким показателем преломления, а для специальных целей – какой-либо изотропный материал, например сфалерит или даже алмаз, имеющие еще более высокий показатель преломления. Существует, однако, одно затруднение, связанное с тем, что инструмент такого рода не может применяться в случае

минералов, показатели преломления которых выше, или у жидкости, создающей оптический контакт между исследуемым минералом и постоянным веществом. Кроме того, еще не создана жидкость, которая имела бы такой высокий показатель преломления, чтобы ее можно было использовать в широком диапазоне и чтобы она была свободна от серьезных недостатков, препятствующих ее применению.

Поскольку все рефрактометры основаны на одном и том же принципе, с исторической точки зрения интересно рассмотреть прибор, разработанный Смитом в 190 году; этот прибор позволил проводить точные измерения показателей преломления драгоценных камней.

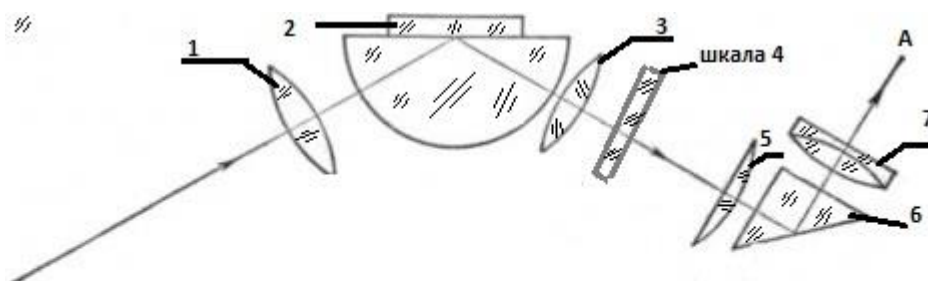


Рис.11- Рефрактометр Смита

Чтобы облегчить наблюдения, между двумя линзами окуляра вставляется полностью отражающая призма. Окуляр можно отрегулировать, приспособив к зрению наблюдателя.

Рефрактометр надо держать так, чтобы свет из окна или от другого источника попадал внутрь прибора через расположенную внизу линзу. Хорошее, ровное освещение поля можно обеспечить очень просто, направляя в прибор свет, отраженный от листа белой бумаги, лежащего на столе. Смотря в окуляр, мы видим шкалу, причем окуляр можно при необходимости фокусировать, чтобы деления шкалы были видны отчетливо.

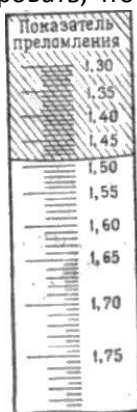


Рис.12- Шкала рефрактометра

Если плоскую поверхность плотного стекла 2 смазать вазелином или другим жировым веществом, то поле зрения станет освещено не равномерно и разделится на две части: вверху будет располагаться относительно темная область, освещенная частично отраженным светом и имеющая закругленный край зеленого цвета, а внизу - ярко освещенная область, куда попадает свет, претерпевший полное внутреннее отражение.

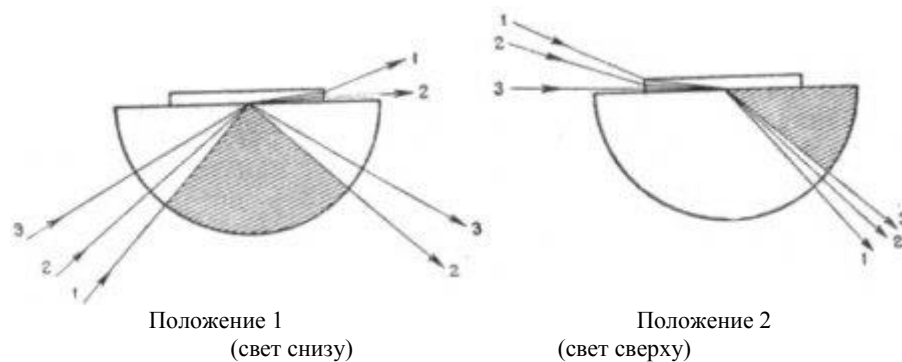


Рис.13 – Схема отражения в рефрактометре Смитта

Край тени в данном приборе искривлен, и это действительно дуга некоторой окружности. Кривизна обусловлена оптической схемой прибора; в некоторых рефрактометрах край тени — прямолинейный. Тень окрашена, потому что относительная дисперсия в вазелине $\frac{n_v - n_z}{n}$ (n_v и n_z — показатели преломления для крайних фиолетового и красного лучей соответственно) отличается от дисперсии в плотном стекле. Дисперсия стекла очень высока: она превышает дисперсию любого камня, для которого может применяться этот прибор. Некоторые масла имеют, однако, почти такую же дисперсию, и соответствующая им тень поэтому почти не окрашена.

Можно заметить, что окрашенная тень — это в действительности спектр, фиолетовый конец которого находится в темной части поля, а красный конец выдается в светлую область. Желтый цвет натрового пламени, который, как уже указывалось, принят в качестве стандарта для измерения показателей преломления, располагается между зеленым и красным, и та часть спектра, которая становится заметной, оказывается у основания зеленого цвета, а значит, практически у основания тени, так как желтый и красный цвета почти полностью теряются в ярком освещении нижней части поля. Если в качестве источника света используется натровое пламя, край тени становится резко очерченной линией. Шкала построена и градуирована так, что там, где эта линия пересекает ее, можно прочесть значение соответствующего показателя преломления; поскольку линия кривая, отсчет надо брать в середине поля на правой стороне шкалы. Таким образом, рефрактометр сразу же, без всяких промежуточных вычислений, дает значение показателя преломления с точностью до второго десятичного знака, а опытный наблюдатель может оценить и десятые доли интервала между соседними делениями и добиться тем самым точности до третьего знака; чтобы упростить эту оценку, деления шкалы для значений больше 1,650 разделены пополам. Диапазон измерений почти достигает 1,800; для веществ с более высокими показателями преломления прибор не пригоден: все поле оказывается темным.

Жир или жидкость смачивают стекло, т.е. тесно соприкасаются с ним при определении их коэффициента преломления; если же определять коэффициент преломления у твердого вещества в виде граненого камня, то между камнем и стеклом окажется слой воздуха, который не позволит выполнить измерения.

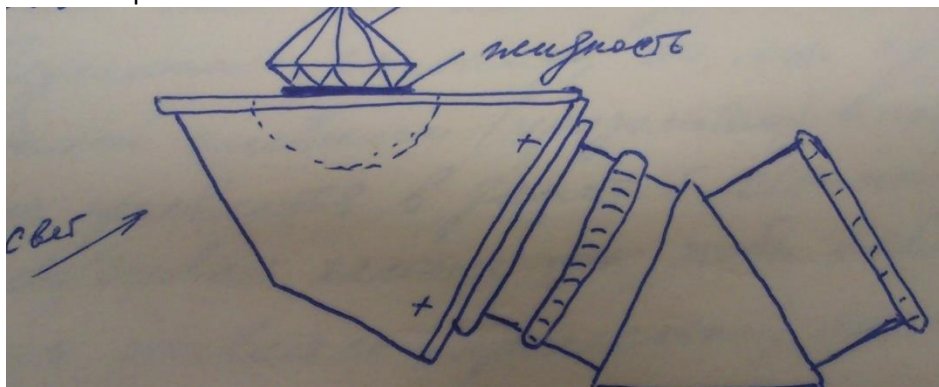


Рис.14- Предметное стекло рефрактометра

Чтобы этого не было. На плоскую поверхность стекла рефрактометра помещают немного жидкости, преломляющей сильнее, чем испытуемое вещество. Как правило, лучше всего для этой цели подходит йодистый метилен CH_2I_2 , который в чистом виде имеет при комнатной температуре показатель преломления 1,742. Если испытывать образец обычного стекла (для этого очень подходят стекла, используемые микро-аналитиками) предварительно нанеся на плоскую поверхность плотного стекла рефрактометра каплю йодистого метилена, то мы увидим цветную тень, соответствующую светопреломлению стекла, около значения 1,530 и еще одну, почти бесцветную, - у значения 1,742, соответствующего жидкости. Если испытуемое твердое вещество преломляет свет сильнее, чем йодистый метилен, видна только вторая тень и мы должны использовать какую-то более преломляющую жидкость. Можно повысить показатель преломления йодистого метилена, растворив в нем серу (до 1,800).

До сих пор мы предполагали, что вещество, которое мы испытываем, имеет простые оптические свойства и дает одну тень, но многие драгоценные камни обладают двупреломлением, такие вещества дают в поле рефрактометра в общем случае две четко различимые тени, разделенные более или менее значительным интервалом. Предположим, например, что мы изучаем эффект, производимый оливином (хризолитом), в котором двупреломление проявляется в заметной степени. Если мы будем поворачивать камень так, чтобы наблюдаемая нами грань оставалась параллельной плоскости стекла рефрактометра, то заметим, что обе тени в общем случае будут двигаться по шкале вверх и вниз.

В некоторых случаях, зависящих от положения выбранной грани по отношению к элементам симметрии кристалла, одна тень или обе тени могут оставаться на месте или одна тень может даже пересекать другую. Но какую бы грань мы ни выбрали для испытания и сколь бы ни были изменчивы движения тени, высшее и низшее значения отсчетов остаются одними ж теми же; это и есть главные показатели наибольшего и наименьшего преломления, а их разность определяет максимальную величину двупреломления, присущую данному камню. Методика измерения достаточно проста: необходимо поворачивать камень на угол не более 90° и записать наибольший и наименьший отсчеты. При этом тени пересекают шкалу в одном и том же месте в некоторых предельных положениях и расходятся во всех остальных, промежуточных.

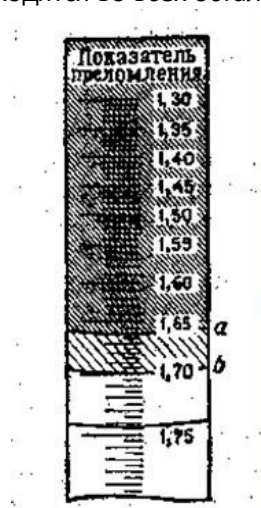


Рис.15 –Тень от двупреломляющего вещества

Здесь представлен случай, когда грань поверхности так, что мы одновременно видим два требуемых отсчета. Белые края тени соответствуют наименьшему (а) и наибольшему (б) значениям главного показателя преломления, а третья тень(в),которая едва заметна, соответствует показателю преломления используемой жидкости.

По движению теней можно узнать кое-что о характере двупреломления в данном кристалле. Поскольку, однако, при освещении белым светом тени — это спектры, они не будут четко разделяться, если только двупреломление не превышает дисперсию. Например, топаз в

белом свете дает только одну тень, и, таким образом, его легко отличить от турмалина, у которого двупреломление обычно достаточно велико и две тени различаются четко. Однако при измерениях в натровом свете не возникает никаких затруднений в выделении двух теней, даваемых веществами даже с малым двупреломлением, такими, как хризоберилл, кварц, топаз. Тень, соответствующая большему показателю преломления, всегда видна хуже, потому что она находится в области яркого поля. Можно использовать любую грань камня, если она плоская, но удобнее всего верхняя грань — табличка, потому что она обычно самая крупная и наиболее доступная, если камень вставлен в оправу. Одним из больших преимуществ этого метода является как раз то, что камень не надо вынимать из оправы. Чем меньше камень, тем труднее с ним обращаться.

Выпускаются и другие рефрактометры, основанные на том же принципе. В рефрактометре Рейнера, плотное стекло имеет призматическую форму, которая характерна для приборов, предназначенные для изучения жидкостей, и из него выходит параллельный пучок света, который можно собрать короткофокусным телескопическим устройством обычного вида. Шкала, имеющая диапазон от 1,30 до 1,80, разбита на деления до второго десятичного знака. Отверстие прибора закрывается скользящим оранжевым, фильтром, уменьшающим дисперсию входящего света; фильтр не нужен, если используется натровый свет. Имеется также поляризующая насадка, которая облегчает наблюдение в случае двупреломляющих камней.

Есть модели, в которой вместо плотного стекла используется призма из сфалерита, верхний предел диапазона измерений при этом расширен до 2,00. Применение алмаза вместо сфалерита существенно не повышает верхний предел измерений, но дает то преимущество, что мы можем получить хорошо отполированную поверхность такой твердости, что она не будет изнашиваться. В последних моделях рефрактометров используется призма из бесцветной искусственной шпинели. При этом диапазон измерений ограничен значением 1,65, но кроме большей, чем у свинцового стекла, твердости, шпинель дает значительно меньшую дисперсию света: она лишь немного выше, чем у большинства драгоценных камней, исследуемых на этом приборе. Следовательно, при освещении белым светом края тени не окрашены, а видны четко, так что легко можно сделать точные отсчеты, не прибегая к использованию монохроматического света.

Также есть уже рефрактометры экранного типа (например «Викерс М14а»), где индекс на скользящей ленте совмещается с краем тени поворотом градуированного барабана, с которого и считываются значения показателя преломления.

Измерения показателя преломления на криволинейных поверхностях.

Рассмотренные нами измерения требуют, чтобы на исследуемом камне была отполированная плоская грань. До недавнего времени считалось, что наличие такой грани является непременным условием успешного применения рефрактометра, но методика, разработанная в Америке Бенсоном, позволяет проводить измерения на криволинейной поверхности, в том числе и на отполированном кабошоне. В Америке этот метод известен, как метод “пятна”, а в Англии, как метод “дистанционного наблюдения”.

Небольшое пятнышко жидкости помещают между искривленной поверхностью и стеклом рефрактометра, так чтобы жидкость захватывала область их соприкосновения. Вместо того чтобы приближать глаз к окуляру, оператор располагается в 30—40 см от окуляра по оптической оси прибора. В этом случае «пятно контакта» кажется небольшим кружком. Если смотреть на нижнюю часть шкалы показателей преломления, это пятно оказывается темным, но если теперь слегка приподнять голову, чтобы пятно переместилось в область более высоких отсчетов, возникает полное внутреннее отражение и пятно становится светлым. В предельном положении пятно рассекается горизонтальной границей пополам: верхняя половина оказывается темной, а нижняя — светлой. Чтобы теперь сделать отсчет по шкале, держа голову на расстоянии от окуляра, надо перефокусировать глаз; насколько легко это сделать, зависит от индивидуальных способностей

наблюдателя. Отсчеты, получаемые способом такого «точечного контакта», или «наблюдения с расстояния», не так надежны, как результаты измерений на плоских поверхностях, но они открывают новую область практического использования рефрактометра; таким же способом производят измерения не только на поверхностях кабошонов, но и на мельчайших гранях камней настолько малого размера, что обычный способ для них непригоден.

Оригинальную модификацию данного метода с использованием «булавочного» отверстия разработал Г.С. Уолнер из Австралии. Он использует булавочное отверстие диаметром несколько меньше 1мм, проколотое булавкой или иглой в кусочке засвеченной черной фотографической пленки или другого подходящего материала. Такое устройство держат как можно ближе к глазу и не более чем на расстоянии в 60 мм от окуляра рефрактометра. Это позволяет одновременно наблюдать в фокусе шкалу и контактное пятно. При этом становится видимой большая часть шкалы, так как сокращается расстояние от плоскости наблюдения, а положение пятна определяется гораздо легче. Размеры отверстия должны подбираться под каждое наблюдение индивидуально, при этом требуется некоторая тренировка, но все это не умаляет достоинств метода, который изящен и одновременно недорог.

Определение камней с высокими показателями преломления.

Верхний предел измерения показателей преломления на любых стандартных рефрактометрах составляют примерно 1,81 независимо от того, насколько далеко продолжается их шкала. Этот предел обусловлен применяемой контактной жидкостью- йодистым метиленом. В лондонской диагностической лаборатории применялись и другие жидкости, например бромистый селен, позволяющий измерять более высокие показатели преломления на рефрактометре с алмазной призмой, однако такие жидкости химически очень активны и могут вызвать быстрое разрушение поверхности свинцового стекла рефрактометра. Даже если бы это было не так, небольшое расширение пределов измерения не имеет большого практического значения, поскольку очень немногие камни характеризуется показателями преломления от 1,8 до 1,9.

С другой стороны, было бы крайне желательным определять показатели преломления камней в пределах от 1,9 до 2,6, поскольку появился ряд синтетических материалов с высокими показателями преломления, успешно применяемых в качестве имитации алмаза (например, циркон 1,93...1,99). При определении таких камней может быть применен так называемый метод прямого измерения.

Метод прямого измерения.

Для реализации этого метода необходим стандартный монокулярный микроскоп. Необходимо, чтобы микроскоп имел шкалу, соединенную винтом с тонкой регулировкой для того, чтобы регистрировать перемещение тубуса в положение точного фокуса. На тубусе размещают миллиметровую линейку, а на штативе- нониус.

Измерения на данном приборе осуществляют следующим образом: определяемый камень чистят и затем фиксируют на предметном стекле с помощью небольшого шарика из воска или пластилина, в который вдавливают колету таким образом, чтобы грань площадки располагалась горизонтально. Камень помещают под объектив, имеющий среднее увеличение, позволяющее точно определить положение четкого фокуса, и наводят фокус на грань площадки, используя для этой цели частицы пыли, полировочные царапины и т. п. Значения, получаемые на фокусирующем барабане и нониусе записывают. Затем фокус понижают до тех пор, пока в фокусе не будет колета, видимая через камень, и вновь записывают показания. Разница между первым и вторым показаниями дает «кажущуюся» толщину камня. После этого камень сдвигают немного в сторону и получают третью величину, наведя фокус на предметное стекло. Разница между третьим и первым показаниями и дает действительную толщину определяемого камня. Показатель преломления находят по простой формуле

$$n = \frac{\text{действительная толщина}}{\text{кажущаяся толщина}}$$

Для повышения достоверности измерения повторяют несколько раз. Если камень имеет достаточный размер, точность измерения показателя преломления составляет 0,02, что обычно вполне достаточно для определения природы изотропного вещества. Данный метод дает хорошие результаты только для изотропных камней. Этот метод, позволяющий просто и достаточно быстро определить показатель преломления незакрепленных камней, почти неприменим для измерения закрепленных камней. В этом случае для определения действительной толщины камня может быть применен каратомер Лвериджа.

Рефлектометры.

Проблема определения камней с высокими показателями преломления может быть также решена при помощи применения рефлектометров. Для работы с этими приборами не требуется никакой контактной жидкости, отсюда и возможность преодолеть барьер 1,81, создаваемый контактной жидкостью.

Рефлектометры имеют ряд ограничений в своем применении, их применение может привести к неверным определениям камней операторами, обладающими недостаточным опытом, также точность и надежность результатов измерений на этих приборах значительно ниже, чем при определении камней с более низкими показателями преломления на стандартном рефрактометре. Однако они позволяют быстро и надежно отличить алмаз от всех его имитаций, для чего в основном и применяются эти приборы. Связь между отражательной способностью прозрачного изотропного материала и его показателем преломления для натриевого света была установлена французским физиком Френелем, который нашел, что в случае перпендикулярно падающего луча соотношение $\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \times 100$ позволяет определить процент отраженного света (n - показатель преломления образца). Интересно отметить, что в соответствии с этим соотношением алмаз отражает 17,2 % света, падающего перпендикулярно его поверхности, тогда как кварц отражает чуть больше 4 %.

Честь изобретения прибора, основанного на принципе Френеля и позволяющего измерять показатели преломления независимо от того, как они высоки, с точностью до 0,02, принадлежит Л.К. Трумперу.

Некоторые типы современных рефлектометров были сконструированы без учета соотношения Френеля. В них используется «свет», даваемый светодиодом и состоящий из широкой полосы в инфракрасной области (до 950 нм). Диод питается от небольшой батарейки. Свет отражается от поверхности испытуемого образца, который помещают на небольшое отверстие, расположенное в нескольких миллиметрах над диодом, и улавливается фототранзистером, расположенным под углом около 30° к инфракрасному лучу. Различие между разными моделями, использующими один и тот же принцип, заключается в основном в форме и размерах отверстия, в котором устанавливается камень; в разных шкалах прибора; в наличии схем, обеспечивающих стабилизацию питающего напряжения.

Приборы-измерители, определяющие отражательную способность как таковую уже уступили свои позиции в области коммерческого тестирования алмазов пользующимися теперь более широким распространением приборам, фиксирующим тепловые свойства. Обычно они называются измерителями теплопроводности, однако фактически измеряется тепловая инерция. Важным моментом является то, что такие приборы помогают отличить алмазы от их имитаций. Некоторые ограничения в применении этих приборов были при измерении мелких камней, что было вызвано большими размерами зонда (щупа), которым надавливали на грань испытуемого камня. Однако теперь зонды настолько тонкие, что могут тестироваться камни до 0,02 кар и менее.

В настоящее время производятся самые разнообразные приборы, питание которых может осуществляться как от сети, так и от батареек. К стационарным теперь добавились модели карманного формата. Все приборы этого типа имеют зонд, который прижимают к тестируемому камню; результат может фиксироваться визуально по шкале или в форме звукового сигнала. Для

некоторых моделей необходим довольно длительный временной интервал между следующими друг за другом испытаниями камней, для других достаточно нескольких секунд. Во всех случаях поверхность тестируемого камня должна быть тщательно вычищена, а камню и прибору следует дать возможность приобрести комнатную температуру. Перед началом измерения прибор проверяют на известном образце алмаза.

В последнее время появились приборы двойного назначения, измеряющие как отражательную способность, так и тепловые свойства, они обеспечивают быструю двойную проверку. Приборы этой серии постоянно совершенствуются, однако наиболее широкое распространение получили рейнеровский алмазный тестер (тепловой зонд) и «ханнемановский» измеритель отражательной способности «Алмазный глаз». Из наиболее современных приборов двойного назначения можно назвать «Дуотестер» фирмы «Президиум».

Рефрактометры для измерения угла полного внутреннего отражения.

Приборы для определения показателей преломления путем измерения предельного угла полного внутреннего отражения (или его называют критическим углом) состоят в основном из крупной полусферы, изготовленной из тяжелого высокопреломляющего стекла и укрепленной на поворотной вертикальной оси, и зрительной трубы, вращающейся вокруг горизонтальной оси, проходящей точно через центр полусферы. (В первом таком рефрактометре, изобретенном в 1886 г. Карлом Пульфрихом, стекло имело цилиндрическую форму; полусферическое стекло было впервые использовано Эрнстом Аббе в 1890 г.).

В обычных рефрактометрах этого типа стержень, несущий полусферу, может вращаться вокруг своей вертикальной оси, а шкала дает отсчеты в градусах дуги. Зрительная труба для удобства наблюдений изогнута под прямым углом; свет отражается в призме, к трубе жестко прикреплен градуированный круг с делениями до половины градуса, и с помощью верньеров отсчеты можно брать с точностью до минуты. Зрительная труба снабжена набором сменных объективов и окуляров с различным увеличением; имеется обычно и третья линза, позволяющая видеть камень или кристалл на плоской поверхности полусферы. В фокальной плоскости трубы могут быть помещены поворотные диски с отверстиями разного диаметра, расположенными эксцентрично по отношению к оптической оси, чтобы ограничить поле зрения любой нужной частью камня или кристалла. Для облегчения измерений дисперсии или малого двупреломления к круговой шкале добавлен микрометрический винт с барабаном и индексом.

В одной из экспериментальных моделей рефрактометров такого типа была использована полусфера из синтетического рутила, в результате чего диапазон измерений расширен примерно до 2,6.

Иммерсионный метод измерения показателей преломления. Эффект Бекке.

Прозрачный предмет можно легко обнаружить глазом только потому, что он отличается по преломлению света или по цвету от окружающей среды, и чем больше различие в преломлении, тем лучше этот предмет виден. Бесцветный камень, помещенный в бесцветную жидкость с точно таким же, как у камня, показателем преломления, совершенно не виден. На этом принципе основан иммерсионный метод определения показателей преломления. Он особенно подходит для исследования таких изделий, как округлые бусинки, мелкие драгоценные камни или крошки природных или обработанных кусков бирюзы, нефрита (или их имитаций), которые нельзя исследовать на рефрактометре. Изучаемый материал последовательно погружают в жидкости до тех пор, пока не будет найдена жидкость с таким же показателем преломления; каплю такой жидкости затем помещают на рефрактометр и измеряют её показатель преломления.

Чаще всего этот метод используется в комбинации с микроскопическим исследованием. Очень мелкие осколки можно положить на предметное стекло микроскопа. Лучше всего положить несколько кусочков на сухое стекло и прикрыть их сухим же покровным стеклом, а затем нанести каплю жидкости у торца этого стекла. Жидкость просочится под покровное стекло и окружит кусочки, не смещая их и не сдвигая в один комок. Такие мелкие обломки не имеет смысла помещать потом в следующую жидкость, поэтому необходимо иметь достаточное количество материала для ряда последовательных испытаний. Для более крупных кусочков требуется стекло с углублениями; еще более крупный материал, например небольшие граненые камни, помещают в иммерсионную ячейку и ничем не прикрывают.

Эффект Бекке.

Величина разности между преломляющей способностью жидкости и погруженного в нее твердого вещества определяет «рельеф» этого вещества: четкость очертаний, поверхностных неровностей и т. д. Если эта разность значительна, то виден темный контур и хорошо заметны все неровности; наблюдатель как бы смотрит на предмет, а не сквозь него. Если же показатели преломления отличаются мало, то видна только тонкая темная граница, гораздо менее четкая, а характер поверхности почти неразличим. Однако это «исчезновение» предмета, очевидно, нельзя считать удовлетворительным критерием точного соответствия показателей преломления; такое соответствие устанавливается с помощью явления, впервые замеченного Бекке.



Рис.16- Диаграммы, поясняющие эффект Бекке

Когда луч света падает на границу двух сред с разными показателями преломления (как показано на рисунке), он отклоняется в сторону среды с большим показателем преломления.

Как показано на обеих диаграммах, это происходит независимо от наклона этой границы. Когда фокус микроскопа наведен точно на поверхность исследуемой среды (линия ab), граница обнаруживается в виде темной линии, поскольку она отклоняет падающий на нее свет. Поднимая трубу микроскопа и смещая тем самым фокус вверх (cd), мы увидим линию повышенной яркости (т.н. полосу Бекке), проходящую в том месте, где отклоненные лучи усиливают соседние прямые лучи; если поднимать фокус еще выше, то можно видеть, что светлая полоска сдвигается горизонтально в сторону среды с более высоким показателем преломления. Запомнить это предельно просто: если окуляр микроскопа поднимают вверх, то светлая полоска смещается к более высокому показателю преломления.

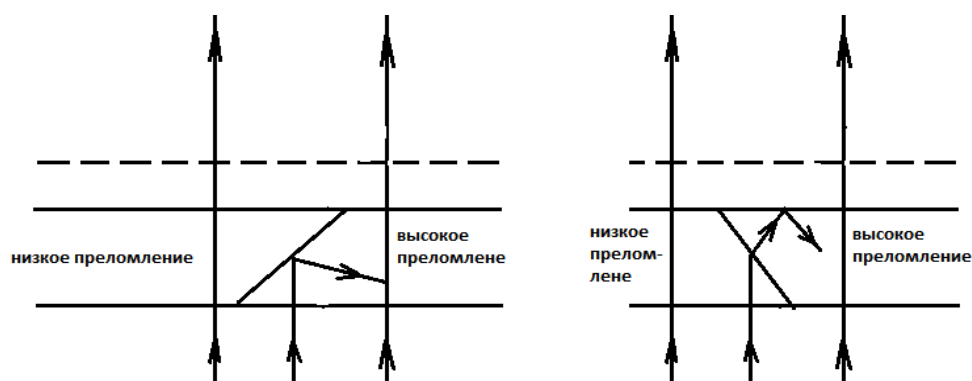


Рис17- Полное отражение от наклонной границы

Если разность показателей преломления окажется очень большой, то свет, падающий на границу раздела двух сред, может отразиться полностью (как показано на рисунке) и сверху будет видна широкая и совершенно черная граница. В таких условиях наблюдать эффект Бекке трудно, и надо сразу же испытать иммерсионную жидкость с резко отличающимся показателем преломления. Поскольку дисперсия света в большинстве используемых иммерсионных жидкостей выше, чем в большинстве твердых веществ, точное совпадение показателей преломления возможно только при монохроматическом свете; если же используется обычный свет, то в случае близких свойств преломления появляются радужные круги. Следует помнить также, что показатели преломления жидкостей очень быстро меняются при изменении температуры, и надо стремиться, чтобы жидкость под микроскопом и капля ее на рефрактометре имели одну и ту же — обычную комнатную — температуру.

Иммерсионный метод как средство микроскопического точного определения показателей преломления доведен минералогами до большого совершенства. Применение этого метода не ограничено, однако, микроскопическими объектами. Большой камень можно укрепить с колеты (нужней стороны) воском на предметном стекле микроскопа, так чтобы табличка (верхняя грань камня) оказалась вверху и была горизонтальной, и нанести на эту грань каплю жидкости; у края этой капли будет виден эффект Бекке.



Рис.18- Предметное стекло микроскопа

Для наблюдений чисто макроскопического масштаба разработан метод фотографирования иммерсионного контакта позволяющий видеть и регистрировать соотношения между показателями преломления. Камни, которые должны быть исследованы, погружают в соответствующую жидкость, находящуюся в стеклянной ячейке.

На практике желательно иметь под рукой набор жидкостей с таким диапазоном показателей преломления, который позволил бы использовать эффект Бекке наиболее просто и уверенно. Жидкости, применяемые для определения показателей преломления должны быть

химически устойчивыми и не должны растворять исследуемый материал или вступать с ним в реакцию. Наиболее часто применяются жидкости с такими показателями преломления :

- вода – 1,333; ацетон – 1,359; глицерин – 1,47; бензол – 1,501; йодистый этил - 1,522; бромоформ – 1,598; йодистый метилен – 1,74.

Для приготовления смесей указанных жидкостей с целью получения промежуточных показателей преломления пользуются формулой : $V_1N_1+V_2N_2 = (V_1+V_2)N_1$ где V_1 и V_2 – соответствующие объемы жидкостей; N –показатель преломления смеси.

Для определения высоких показателей преломления обычно используют сплавы : для $N = 1,68...2,10$ – сплавы пинерина с йодистым мышьяком и йодистой сурьмой , а для $N = 2,05...2,72$ - сплав серы и селена.

Призматический метод.

Если показатель преломления камня слишком высок, чтобы его можно было измерить рефрактометром, а этот показатель надо измерить с определенной степенью точности, помочь может призматический метод. Для этого используют гониометр.

Прибор состоит из закрепленного коллиматора и подвижной зрительной трубы; их оптические оси горизонтальны и пересекаются на вертикальной оси, вокруг которой может вращаться лимб с делениями.

Камень или кристалл прикрепляются к держателю воском. Держатель же прикрепляется к специальному приспособлению, состоящему из двух дуг, располагающихся под прямым углом друг к другу и снабженных винтовыми зажимами. Одна грань устанавливается по возможности вертикально и под прямым углом к одной из дуг, посредством которой эта грань приводится в такое положение. Движение другой дуги, как правило, не влияет на относительное расположение этой грани; с помощью этой дуги юстируются вторая грань. Винтовые зажимы служат для установки камня на оси вращения лимба.

Если обе грани точно установлены и их общее ребро, действительное или воображаемое совпадает с указанной осью вращения, то изображения, получаемые при отражении от этих граней, при вращении лимба последовательно пересекут поле зрения зрительной трубы. Разность отсчетов, соответствующих положению отраженных лучей в центре поля зрения, дает величину угла между гранями, которую в дальнейшем мы будем обозначать буквой A . При измерении этого угла зрительная труба располагается приблизительно перпендикулярно коллиматору. Когда приступают к изучению световых лучей, которые проходят через призму, образованную двумя выбранными гранями, лимб закрепляют так, чтобы нулевой отсчет соответствовал положению зрительной трубы только против коллиматора. После этого держатель кристалла и зрительной трубы освобождают; теперь они могут поворачиваться вокруг центральной вертикальной оси.

Очевидно, что удобнее всего выбрать в качестве одной из пары граней табличку, в качестве же второй грани можно взять одну из крупных граней на нижней стороне камня. Если свет от коллиматора падает на табличку, а зрительная труба повернута так, что в нее падает пучок лучей, выходящих через призму, образованную этими двумя гранями, то при использовании обычного света будет видно спектральное изображение цели. Предположим, что мы поворачиваем камень в направлении уменьшения отклонения нуля и одновременно поворачиваем зрительную трубу, держа изображение в поле зрения; мы увидим, что изображение будет сдвигаться до какого-то положения, но не дальше, как бы мы ни поворачивали камень; это и будет **положение минимального отклонения** (рисунок19).

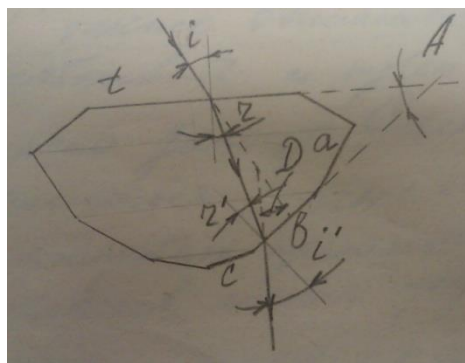


Рис.19- Положение минимального отклонения

Совершенно ясно, что нам надо узнать, каковы в этом особом положении углы падения и преломления. Для простоты предположим, что камень не обладает двупреломлением. На рисунке показан разрез камня со ступенчатой огранкой перпендикулярно граням с параллельными ребрами; буквой *t* отмечена верхняя грань (табличка), буквами *a, b, c*, грани на колете (нижняя сторона). Показан путь луча света, пересекающего призму, образованную парой граней *t* и *b*. Предположим, что *A* – внутренний угол этой призмы, *i* – угол падения у первой грани, *i'* – угол выхода луча у второй грани; *r* и *r'* – углы преломления внутри камня у первой и второй граней; тогда свет преломляется у первой грани от угла *i* к углу *r*, а у второй грани – от угла *i'* к углу *r'*. Таким образом, угол отклонения *D* определяется уравнением $D = i + i' - (r + r')$. Кроме того, мы находим, что $r + r' = A$, откуда следует, что $A' + D = i + i'$.

Очевидно, что путь света обратим; иначе говоря, если пучок световых лучей проходит через призму по показанному на рисунке пути от грани *t* к грани *b*, то он будет идти по тому же самому пути и в обратном направлении. Поскольку мы установили экспериментально, что существует только одно положение минимального отклонения, мы можем заключить, что условия у обеих граней одинаковы и, следовательно, углы *r* и *r'* одинаковы, а значит, углы *i* и *i'* также одинаковы. Следовательно, при минимальном отклонении мы имеем :

$$r = \frac{1}{2} A \text{ и } i = \frac{1}{2}(A + D), \text{ и из приведенного выше уравнения имеем } n = \frac{\sin \frac{1}{2}(A + D)}{\sin \frac{1}{2} A}$$

Можно отметить, что в случае алмаза с бриллиантовой огранкой из нижней стороны камня свет выходить не должен. В общем случае необходимо, чтобы угол *A* между двумя гранями был не слишком велик, так как иначе пучок лучей будет полностью отражаться у второй грани; с другой стороны, этот угол не должен быть слишком мал, потому что любая ошибка в его определении серьезно повлияет на точность вычисления показателя преломления.

Показатель преломления можно также определить по номограмме, где радиальные линии соответствуют углом минимального отклонения, а косо расположенные линии – углом между гранями призмы, их пересечение сразу же дает возможность определить *n*.

Определение показателей преломления драгоценных камней, обладающих двупреломлением.

Оптические явления, характерные для многих драгоценных камней, осложняются свойством этих камней расщеплять луч света на два луча, имеющие в общем случае различные характеристики. Рассмотрим природу этого явления, называемого двупреломлением и методы его обнаружения.

Уже в 1669 г. датский ученый Бартолин заметил, что пластинки прозрачного минерала, который в то время только недавно стали привозить из Исландии и поэтому называли исландским шпатом, обладают замечательным свойством давать двойные изображения близких к ним предметов, если смотреть на эти предметы сквозь пластинки. Последующее изучение показало, что многие кристаллические материалы являются двупреломляющими, но из всех распространенных минералов только в кальците (точное название группы веществ, к которой относится и исландский шпат) это явление настолько ярко выражено, что его можно видеть

невооруженным глазом. Кажущееся расстояние между двумя изображениями, создаваемыми вырезанной или выколотой в любом направлении пластинкой, зависит от ее толщины. Большой кусок исландского шпата толщиной до 60 см, выставленный в Галерее минералов Британского музея естественной истории, дает такое расстояние между изображениями, которое следует, вероятно, считать уникальным.

Хотя ни один из драгоценных камней не может состязаться с кальцитом в этом отношении, все-таки двупреломление у некоторых из них достаточно велико и обнаруживается без особого труда. В случае фасетной огранки на противоположные ребра камня надо посмотреть через табличку (верхнюю грань), и тогда удастся увидеть их удвоение. Двупреломление в сфене так велико, а именно 0,120, что удвоение ребер видно невооруженным глазом. В оливине, цирконе и эпидоте кажущееся раздвоение ребер легко обнаруживается с помощью обычной линзы. Опытный глаз может заметить это явление даже в случае таких веществ, как кварц, который имеет небольшое двупреломление. Следует, однако, помнить, что во всех таких камнях в определенных направлениях двупреломление отсутствует, и величина двупреломления меняется в зависимости от направления в кристалле от нуля до максимальной для данного камня. Опыт с пластинкой из исландского шпата показывает, что проходящие через нее лучи обладают свойствами, отличающимися от свойств обычного света. Положив сверху вторую пластинку, мы увидим уже две пары изображений, но теперь, в общем случае, яркость изображений не будет, как в предыдущем случае, одинаковой. Если вторую пластинку поворачивать по отношению к первой, два изображения (по одному из каждой пары) исчезнут, а при повороте еще на прямой угол исчезнут другие два изображения; на половине угла между этими положениями все изображения имеют одинаковую яркость. Эти изменения интенсивности указывают на то, что каждый из лучей, выходящих из первой пластинки, как говорят, становится плоскополяризованным, или, короче, поляризованным.

Основы современной теории света были заложены еще в XVII в. Христианом Гюйгенсом.

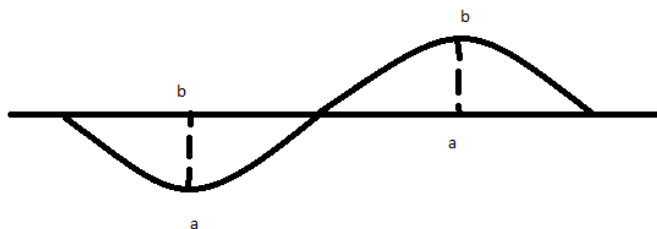


Рис.20- Колебание световой волны

Согласно его теории, свет представляет собой результат волновых колебаний в эфире — среде, занимающей все пространство, независимо от того, имеется там материя или нет, и передающей эти колебания со скоростью, которая зависит от материи, оказавшейся на пути движения волн. Предположение о такой среде было введено для объяснения природы света, но реально этой среды не существует. Волновые колебания подобны тем волнам, которые возникают на спокойной поверхности воды, возмущенной брошенным в нее камнем. Волны расходятся от очага возмущения, но хотя и кажется, что волны перемещаются, реальные частицы воды просто движутся вверх и вниз и совсем не перемещаются в направлении распространения волн. Если мы вообразим, что такие колебания происходят в любой плоскости, перпендикулярной лучу (а не только в горизонтальной), мы получим некоторое представление о природе обычного света. Но пройдя через пластинку исландского шпата, свет колеблется уже не во всех направлениях; каждый из двух лучей колеблется параллельно какой-то определенной плоскости, и эти две плоскости располагаются под прямым углом одна к другой. Волны света различного цвета различаются по длине, т. е. по удвоенному расстоянию bb между двумя максимумами, а скорость, постоянная в каждой данной среде, пропорциональна длине волны. Интенсивность света

изменяется как квадрат амплитуды этой волны, т. е. высоты ab ее максимума относительно среднего уровня.

Преломляясь в кристалле неполяризованный луч в общем случае расщепляется, как это описано для исландского шпата, на два луча, каждый из которых оказывается плоскополяризованным. При внимательном наблюдении можно увидеть, что в исландском шпате один из двух лучей подчиняется закону Снеллиуса — Декарта; углы падения и преломления связаны постоянным показателем преломления, величина которого не зависит от того направления, в котором луч проходит через кристаллическую структуру. Поэтому такой луч называется обыкновенным лучом, и его постоянный показатель преломления обозначается символом ω . Другой луч ведет себя иначе и называется необыкновенным, его скорость меняется с изменением направления его пути через кристаллическую структуру, и показатель преломления меняется от величины, равной ω , до предельной величины ϵ , которая в разных веществах бывает либо больше, либо меньше, чем ω . Например, в кварце для натрового света $\omega = 1,544$, $\epsilon = 1,553$; в кальците $\omega = 1,658$, $\epsilon = 1,486$. Кристаллы, в которых обыкновенный луч распространяется быстрее всех других возмущений, называются оптически положительными (например, кварц), тогда как, например, кристаллы кальцита, в котором обыкновенный луч идет медленно, называются отрицательными. Итак в отрицательных кристаллах $\omega > \epsilon$, в положительных $\omega < \epsilon$.

Для того, чтобы определить все показатели преломления двупреломляющих кристаллов, необходимо использовать поляризующее оборудование.

Измерения с использованием поляризационного микроскопа.

Для получения поляризованного света существуют разные методы. Так, в 1813 г. Зеебек обнаружил, что пластинка коричневого турмалина, вырезанная параллельно кристаллографической оси и имеющая достаточную толщину, пропускает только необыкновенный луч; обыкновенный луч полностью поглощается материалом пластинки. Этот метод получения поляризованного света встретил ряд возражений. Во-первых, редко можно найти пластинки турмалины подходящего размера, во-вторых, свет, проходящий через турмалиновую пластинку, даже в самом лучшем случае поглощается ею настолько сильно, что ее можно использовать лишь при наличии мощного осветительного устройства. Существуют, однако, органические двупреломляющие вещества, которые даже при очень малой толщине пластинки обладают свойством сильно поглощать один из двух лучей. Еще в 1851 г. Герпат обнаружил, что йодосульфат хинина кристаллизуется в виде шестиугольных пластинок, которые даже при толщине всего 0,127 мм полностью поглощают один луч и пропускают другой почти без всякого поглощения. Этот материал Хайдингер назвал герпатитом. Поскольку эти пластинки теряют свойство поляризации, казалось, что их замечательные свойства не имеют ни малейшего практического значения. И в самом деле, об этом свойстве совершенно не вспоминали вплоть до недавнего времени, когда Э. Ланд изобрел хитроумный способ производства нитроцеллюлозных пленок, в которых ультрамикроскопические кристаллы герпатита имеют правильную ориентировку, благодаря чему возникает эффект единой кристаллической пластинки. Ультрамикроскопические кристаллы слегка перекрывают друг друга, вследствие чего увеличивается поглощение, и поляроиды, как они были названы, имеют слабую дымчатую окраску. По счастливой случайности эти пластинки хорошо поляризуют почти весь видимый спектр. В ранних образцах для части спектра поляризация была неполной, но этот недостаток позднее был исправлен, и теперь поляроиды часто используются в качестве поляризаторов и анализаторов поляризационных микроскопов.

Существует и другой метод получения поляризованного света. Этот метод, получивший наиболее широкое применение в поляризационных микроскопах, основан на открытии, сделанном Уильямом Николем.

Поляризационный микроскоп отличается от обычного наличием поляризационной системы из двух призм Николя- поляризатора (нижнего николя) и анализатора (верхнего николя) (рисунок 21).

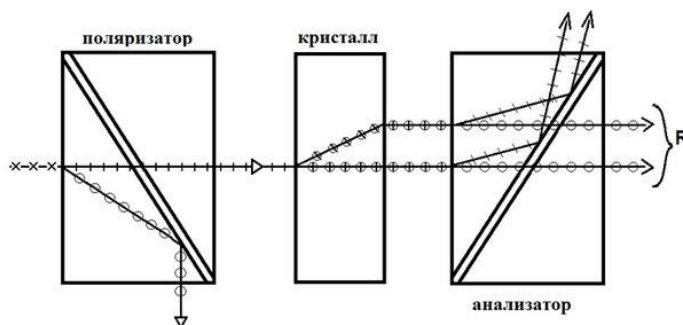


Рис.21- Принципиальная схема поляризационного микроскопа Николя

Поляризатор предназначен для поляризации света, анализатор- для анализа явлений, происходящих при прохождении поляризованного света через исследуемое кристаллическое вещество. Призма Николя, или николю, изготовлена из прозрачного кристалла исландского шпата $CaCO_3$, распиленного по диагонали и склеенного с помощью специальной смолы (канадского бальзама), показатель преломления которого $N=1,54$ (рисунок 22).

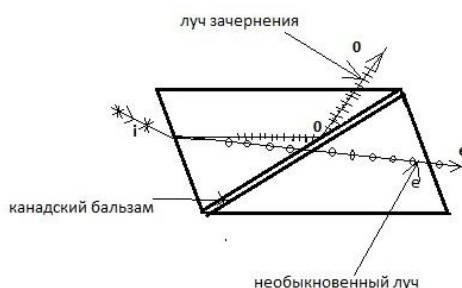


Рис.22- Призма Николя

Параллельный световой пучок, поступающий снизу в призму Николя, разделяется в ней в результате двупреломления на два поляризованных пучка, распространяющихся с разными скоростями. При этом показатель преломления одного из пучков примерно равен показателю преломления канадского бальзама, поэтому беспрепятственно проходит через него. Показатель преломления второго пучка значительно выше; он претерпевает полное внутреннее отражение и отбрасывается к зачерненной оправке николя, где поглощается. Таким образом, из николя выходит лишь один поляризованный пучок света.

Поляризатор и анализатор расположены в микроскопе таким образом, что плоскость световых колебаний, проходящих через анализатор, всегда находится под углом в 90° к плоскости колебаний, прошедших через поляризатор, поэтому световые колебания, поступающие из нижнего николя-поляризатора, верхним николю-анализатором будут уничтожаться и поле зрения окажется полностью затемнено . Поляризованный свет, входящий в кристалл, распадется на две полностью поляризованные волны: обыкновенную и необыкновенную.

Обыкновенная волна распространяется по всем направлениям внутри кристалла с одинаковой скоростью и характеризуется постоянным показателем преломления. Необыкновенная волна имеет фазовую скорость, проходя участки кристалла, отличающиеся физическими свойствами, и характеризуется поэтому различными показателями преломления.

Для характеристики берется значение показателя преломления необыкновенной волны, минимально отличающееся от показателя преломления обыкновенной волны(вместо волн можно говорить об обыкновенном и необыкновенном световых лучах).

Выходя из кристалла, обыкновенный и необыкновенный лучи приобретают разность хода, величина которой определяет цвет интерференционной картины и порядок окраски. Характерной оптической константой кристалла является величина наибольшего двупреломления, или сила

двупреломления ($n_g - n_p$), где n_g - наибольший показатель преломления; n_p - наименьший показатель преломления. Сила двупреломления ($n_g - n_p$) связана линейной зависимостью с разностью хода лучей и толщиной пластины исследуемого кристалла

$$R = d(n_g - n_p),$$

где R- разность хода лучей, d- толщина пластины.

Блеск и игра камня. Их оценка.

Всегда, когда свет падает на поверхность, отделяющую одну среду от другой, часть света отражается в первую среду, а другая часть уходит во вторую среду, преломляясь на границе. Исключение составляет случай, когда вторая среда обладает большей преломляющей способностью, а угол падения превышает соответствующий угол полного внутреннего отражения. В случае граненого камня, рассматриваемого в воздушной среде, часть света всегда отражается, а остаток проходит в камень. Отношение количества отраженного света к преломленному частично зависит от угла падения, но главным образом от природы камня: его светопреломления и характера поверхности. Величина этого отношения определяет блеск камня: чем больше доля отраженного света, тем ярче блеск.

Зависимость между интенсивностью блеска и показателем преломления оптически изотропной среды, как вы знаете, можно выразить формулой Френеля $R = (N-1/N+1)^2$, где R-показатель отражения;

N - показатель преломления кристалла. Эту зависимость можно представить графически. Минимум кривой при N=1 отвечает показателю преломления воздуха.

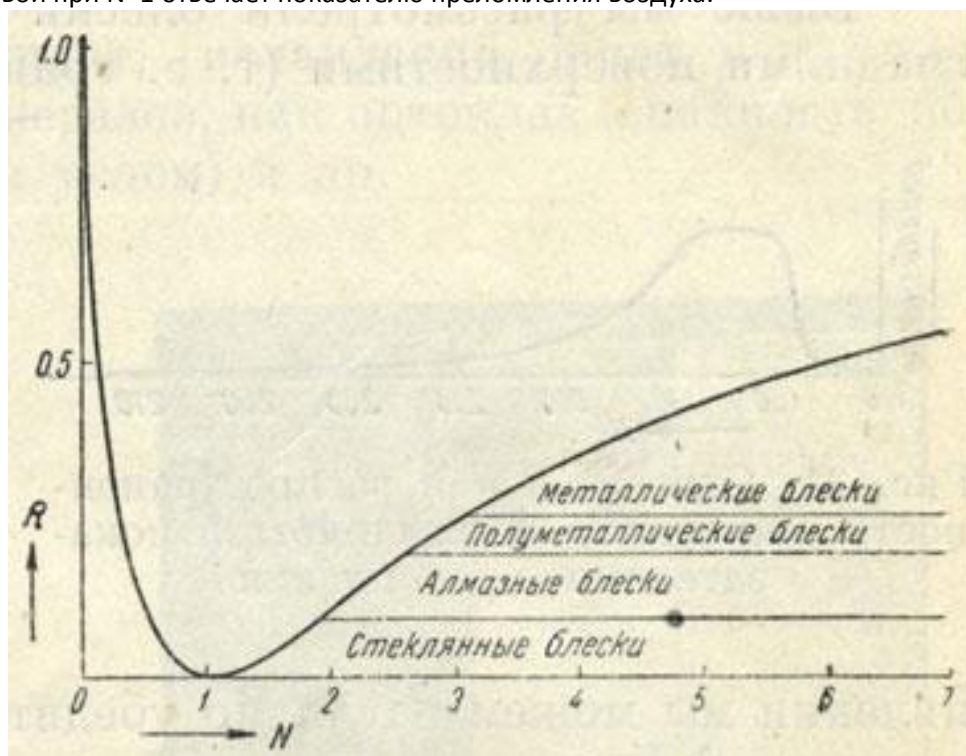


Рис.23- Зависимость показателя преломления от показателя отражения

Левая часть характеризуется блеском небольшого числа материалов с нужным показателем преломления. Большая часть материалов в зависимости от показателя преломления по блеску делится на следующие группы.

1.Стекланный блеск, свойственный минералам с $N = 1,3..1,9$. Сюда принадлежат: лед ($N = 1,309$), криолит ($N=1,34-1,36$), флюорит ($N = 1,43$), кварц ($N = 1,544$), шпинель ($N = 1,73$), корунд ($N = 1,77$), гранат(N до $1,84$) и др.

2.Алмазный блеск, характерный для минералов с $N = 1,9..2,6$. К ним относятся: циркон ($N = 1,92-1,96$), касситерит ($N = 1,99-2,09$), самородную сера ($N = 2, 04$), сфалерит ($N = 2,3-2,4$), алмаз ($N = 2,42$), рутил ($N = 2,62$).

3.Полуметаллический блеск прозрачных и полупрозрачных минералов с показателями преломления $N = 2,6..3,0$. К ним относятся алабандин ($N = 2,7$), куприт ($N = 2,85$), киноварь ($N = 2,91$), гематит ($N = 3,01$).

4.Металлический блеск с $N>3,0$.К нам относятся: пиролозит, молибденит, антимонит, галенит, халькопирит, пирит, висмут и др.

Отражательная способность кристалла (%) по вышеприведенной формуле Френеля равна $R=17,2$, т.е. 17,2% падающего света отражается от поверхности алмаза. Отражательная способность изменяется с изменением длины волны падающего света, например, при $\lambda = 0, 57..0,50 \rightarrow R=17, 1$, а при $\lambda=0,76..0,63 \rightarrow R=17,3$.

Можно привести такие количественные характеристики различных видов блеска кристаллов с учетом их отражательной способности (по А.С.Поварелых)(таблица1).

Блеск	Отражательная способность %	Показатель преломления
Прозрачные кристаллы		
<i>Стекланный</i>	2..10	1,3..1,9
<i>Алмазный</i>	10..29	1,9..3,2
Непрозрачные кристаллы		
<i>Стекланный</i>	2..9	1,3..1,85
<i>Полуметаллический</i>	9..20	1,85..2,4
<i>Металлический</i>	20..95	2,4

Таблица 1

Отражательную способность и блеск кристаллов определяют сравнением их с другими кристаллами, принятыми за эталоны. Количественные определение отражательной способности производится с помощь селенового фотоэлемента, который ремитируют вертикально падающие лучи, отраженные полированной поверхностью исследуемого материала. Можно привести величины отражательной способности для некоторых минералов: изумруд – 5%, топаз – 5,4..5,7%, александрит – 7,4%, циркон – 9,6..10,5%, алмаз – 17,2%.

На характер блеска влияет состояние отражающей поверхности. При мельчайший неровностях отражений свет частично рассеивается и блеск ухудшается. Если плоскость имеет матовую поверхность, то её отражательная способность (блеск) также ухудшается. Как вы знаете, качество поверхности определяется ее шероховатостью, поэтому в ювелирной промышленности существует ОСТ 257-70-87 определяющий количественные характеристики шероховатости поверхностей в зависимости от их отражательной способности (т.е. от блеска). Шероховатость измеряют на профилографах-профилометрах различных моделей либо с помощью других приборов. Измерение с помощью профилографа-профилометра основано на принципе ощупывания исследуемой иглы в изменение напряжения индуктивным методом.

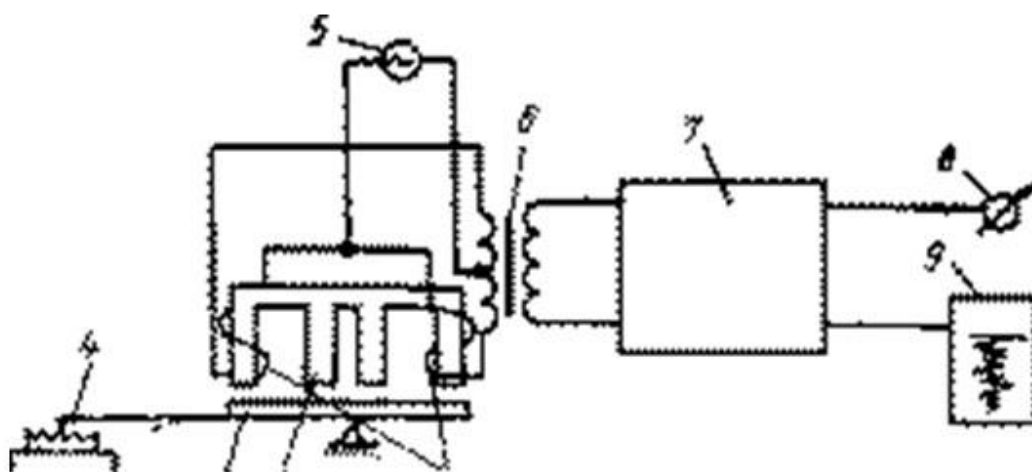


Рис.24- Электрическая схема Профилографа-профилометра мод.201

Прибор включает в себя электронный блок 7, показывающий 8 и записывающий 9 приборы. Магнитная система датчика состоит из Ш-образного сердечника 2 с двумя катушками 1. Катушка датчика и две половины первичной обмотки дифференциального входного трансформатора 6 образуют балансный мост, который питается от генератора звуковой частоты 5. При перемещении датчика относительно исследуемой поверхности алмазная игла 4, ощупывая неровности поверхности, совершает колебания, приводя в колебательное движение коромысло 3. При этом меняются воздушные зазоры между якорем и сердечником и тем самым вызываются изменения напряжения на выходе дифференциального трансформатора. Оно усиливается электронным блоком 7, на выходе которого подключены записывающий или показывающий приборы.

Существуют также бесконтактные оптические методы измерения шероховатости. Такие измерения можно произвести, например, с помощью двойного микроскопа Лишика, который предназначен для оценки шероховатости поверхностей 3..9 классов в лабораторных условиях.

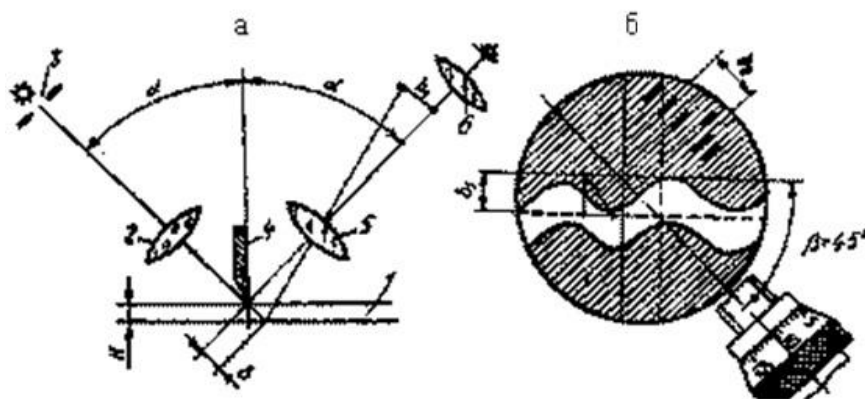


Рис.25- Схема для определения высоты микронеровностей методом светового сечения

Он представляет собой систему из двух линз-сколов – осветительного(проецирующего) и наблюдения, оси которых составляют между собой угол 90° . Измерение шероховатости поверхности на двойном микроскопе основано на принципе светового сечения, заключающемся в том, что пучок лучей направляется в виде световой полосы под некоторым углом через узкую щель 1 и объектив 2 на контролируемую поверхность 3. Так как на проверяемой поверхности имеются неровности, то линия пересечения световой полосы и поверхности является кривой,

копирующей неровности в данном сечении. Изображение этой кривой объективом 4 микроскопа наблюдения проецируется в фокальную плоскость окуляра 5. Величина шероховатости может определяться визуально (при помощи визуального микрометра) или фотоэлектрическим методом (при помощи фотонасадки).

Для оценки шероховатости поверхностей 10...14 классов может быть использован микроинтерферометр Линника. Метод измерений основан на использовании явления интерференции. При рассмотрении поверхности детали оптическая система прибора образует интерференционные полосы. Из-за неровностей поверхности на рассматриваемом участке интерференционные полосы искривляются в полном соответствии с ее профилем. Изображение поверхности вместе с интерференционными полосами рассматривается через окуляр.

Оптические эффекты, известные под названием “игра света”, обусловлены отражением света от линейных неоднородностей внутри камня. Переливчатость света, или “кошачий глаз”, возникает из-за наличия пучка линий, параллельных какому-то одному направлению. Если на камень смотреть под прямым углом к этому направлению, то видно полосу света, пересекающую этот пучок. Чем тоньше линия, тем четче светлая полоска. Эффект проявляется лучше всего тогда, когда камень рассматривают при свете, исходящем от какого-то одного источника, например, от Солнца или от электрической лампы.

Камень, имеющий собственное название “кошачий глаз”, - это разновидность хризоберилла; долго считалось, что линейные неоднородности в нем обусловлены множеством микроскопических каналов, идущих параллельно одной из главных осей. Однако было установлено, что во многих переливчатых минералах линейность связана с наличием пучков игольчатых кристаллов. В кварце эффект “кошачьего глаза” в некоторых случаях обусловлен присутствием рутила, в других – амфибола, и хотя природа волокнистых включений в хризоберилле, дающем эффект “кошачьего глаза”, остается пока неясной, по крайней мере в некоторых случаях можно видеть, что это игольчатые кристаллы.

К “кошачьему глазу” близко примыкает “тигровый глаз” и “соколиный глаз”. Оба они были найдены в Южной Африке, и оба оказались разновидностями окремненного крокидолита, но в первом из них первоначальный голубой цвет превратился в результате окисления в золотисто-желтый, а во втором первичная окраска сохранилась без (или почти без) изменения. Переливы света вызваны субпараллельным расположением волокон окремненного амфибола. Переливчатость встречается не только в хризоберилле и кварце. Любой просвечивающий минерал с достаточно хорошо выраженной волокнистой структурой при соответствующей огранке может обнаружить этот эффект. Так, известны турмалины с отчетливым эффектом “кошачьего глаза”.

В некоторых образцах корунда, если их рассматривать в направлении главной кристаллографической оси, видно шесть узких полос света, расходящихся от центра, или, что то же, три полоски, пересекающиеся друг с другом под углом 60° ; картина в целом напоминает условное изображение сияющей звезды. Такие камни получили название звездчатых камней – (звездчатый рубин, звездчатый сапфир). Само явление называют астеризмом. Причина его та же, что и переливчатости, но здесь имеются пучки линейных образований, наклоненных друг к другу под углом $\sim 60^\circ$.

Астеризм чаще всего встречается и лучше всего изучен в корунде, но иногда проявляется и в других драгоценных камнях. Форма звезды должна быть, очевидно, непосредственно связана с симметрией кристалла. В некоторых гранатах, обладающих линейностью, благоприятной для астеризма, вследствие кубической симметрии кристалла, звезда образована двумя полосками света, пересекающимися под прямым углом; имеется три направления, расположенных под прямым углом друг к другу, в которых эта звезда видна, и если проследить каждый луч, поворачивая камень, то можно заметить, что в направлениях, перпендикулярных граням октаэдра, этот луч пересекает два других луча под углом 120° (или 60°). В некоторых гранатах волокна располагаются параллельно ребрам ромбододекаэдра, поэтому четырехлучевые звезды видны в шести направлениях. Зеленый циркон и аквамарин иногда проявляют астеризм благодаря

закономерному расположению включений перпендикулярно главной кристаллографической оси. В розовом кварце также часто бывает видна шестилучевая звезда.

Включения, о которых шла речь до сих пор, имеют микроскопические, а часто субмикроскопические размеры. Иногда встречаются более крупные и реже расположенные включения. Если они располагаются в одном и том же направлении, то возникают неожиданные вспышки. Блеск, вызываемый такими включениями, называется шелковистым, так же он напоминает игру света на шелке.

В некоторых минералах обычный блеск сочетается с оптическим эффектом, обусловленным интерференцией или дифракцией. Перламутровый блеск, являющийся типичным примером этого оптического эффекта, может проявляться на плоскостях спайности, например, в топазе, но в граненом камне он может наблюдаться только в случае, если там зарождаются трещины; трещины спайности, зарождающиеся в граненом камне, называются перьями.

Голубое сияние, которое так привлекает нас в лунном камне, возникает благодаря интерференции света на мельчайших тонких пластинах патрово-кальцевого полевого шпата. Это свойство исчезает при нагревании камня до высокой температуры. **Иризация**, связанная с интерференцией света, лучше всего проявляется в опале. Поэтому эффект, создавший славу этому драгоценному камню, часто называют **опалесценцией**. Следует помнить, что радужная игра цветов – это иризация, а термин “опалесценция” можно употреблять только в случае молочно-белого или перламутрового света, отражающегося от опала.

Цвет драгоценных камней и их оценка по цвету.

Все твердые и жидкие вещества в той или иной мере поглощают свет. Если такое поглощение невелико и одинаково по всему видимому спектру, камень кажется бесцветным; если поглощение сильное, но оно одинаково во всех частях спектра, камень по-прежнему бесцветен и кажется серым. Но если различные части спектра поглощаются с разной интенсивностью, камень приобретает окраску, которая зависит не только от того, какие части спектра проходят через камень, но и от их интенсивности. Глаз в отличие от уха не способен к анализу и сам по себе не может определить, из чего образован сложный цвет. В сущности, любую окраску, различимую глазом, можно получить, смешивая в требуемых пропорциях три главных исходных цвета: красный, зеленый и синий.

В связи с тем, что наш глаз не способен анализировать цвет, камни могут казаться очень близкими по окраске, хотя образующий эту окраску цвет составлен из разных частей спектра. В этом можно убедиться, наблюдая камни через подходящий фильтр: эффект будет различным. Один из двухцветных фильтров- фильтр Челси (изобретен Андерсеном и Пейном), пропускающий узкую полосу в красной части спектра и такую же полосу в желто-зеленой части. Изумруд в отличие от других зеленых камней пропускает значительное количество красного цвета, и поэтому при наблюдении через фильтр Челси, он кажется красным или розовым. Когда этот фильтр был впервые изготовлен (в нач. 30х годов), он предназначался специально для того, чтобы отличать естественный изумруд от других зеленых камней, например от зеленого корунда, зеленого турмалина, зеленого оливина (хризолита) или от пасты, которая кажется через фильтр зеленоватой. Последующий опыт показал, что такое испытание надо применять с осторожностью: ряд других естественных зеленых камней, таких, как демантоид, и некоторые виды зеленых цирконов, через фильтр выглядят красноватыми в противоположность некоторым естественным изумрудам, содержащим железо. Синтетические изумруды всегда кажутся красными, и сама интенсивность этого цвета может быть иногда их отличительным признаком.

Фильтр Челси имеет и другое употребление. Синтетическая голубая шпинель кажется через него красной, а драгоценные камни, на которые она похожа по цвету (сапфир, голубой циркон, аквамарин)- зеленоватыми или сероватыми; поддельный «сапфир» из кобальтового стекла через фильтр выглядит красноватым. Рубин, как натуральный, так и синтетический, имеет при взгляде через фильтр флюоресцирующий ярко-красный цвет.

Как мы знаем, видимый цвет камня зависит от того, какие части солнечного спектра поглощает этот камень. В этом отношении показателен пример александрита- разновидности

хризоберилла. Среднюю часть спектра (желто-зеленую) александрит не пропускает, а проходящий свет образован сочетанием крайних цветов спектра: красного и фиолетового. При дневном свете такой камень выглядит зеленым, а при искусственным свете, в котором сильнее выражена красная часть спектра, равновесие сдвигается в другую сторону и цвет камня становится малиновым.

Цвет многих драгоценных камней можно изменить или даже совсем удалить нагреванием. Поскольку при этом ничто к камням не добавляется, причину такого явления надо искать в какой-то устойчивой перестройке атомов окрашивающего реагента. Наиболее известный пример – розовый топаз, который в течении долгого времени был популярным ювелирным украшением. В природе топазы розоватой окраски встречаются очень редко, но было обнаружено, что желтые камни из Бразилии, если их осторожно нагреть и охладить, приобретают постоянный розовый цвет. Некоторые цирконы обработанные таким же способом, полностью обесцвечиваются; вследствие сильной дисперсии, или игры света, ограненные под бриллиант цирконы могут успешно выдаваться за алмаз, однако, светопреломление в цирконе не очень высокое, и значительная часть падающего света уходит из него через задние грани, что уменьшает яркость. С другой стороны, при иных условиях нагревания циркон становится тем привлекательным голубым камнем, который так красив в современных ювелирных изделиях. Менее известны другие примеры изменения цвета при нагревании: кварц из фиолетового (аметист) становится оранжевым, желтым и зеленым, а из дымчатого – желтым, берилл из бледно-зеленого голубым. Корунд из фиолетового и желтого – соответственно бледно-розовым и бесцветным. В целом можно сказать, что нагревание ослабляет окраску.

На цвет некоторых драгоценных камней действует радиоактивное облучение, если они окажутся рядом с радиоактивным веществом или будут специально обработаны в ядерном реакторе. Алмаз приобретает зеленый цвет, который при нагревании переходит в коричневый, бесцветный корунд и кварц становятся бледно-коричневыми, примерно такой же оттенок появляется и у розового кварца. Облучение рентгеновскими лучами имеет временное действие.

Очевидно, можно найти много способов обработки пористых материалов, вроде агата и халцедона, поскольку поры могут заполняться любым посторонним веществом; с другой стороны, расположение частиц в таких веществах получается в форме пустот. Агат, который одно время широко использовался в ручках для зонтов и в других поделках, почти всегда подвергался окраске, так как серые тона и бледные оттенки естественного материала не привлекали внимания. Искусство окрашивания огага и халцедона не ново, такая возможность была в какой-то степени известна еще древним римлянам. Вымочив подходящий кусок халцедона в меду и подвергнув его нагреву, они получали четкие черные полосы. В наши дни того же результата достигают, действуя парами серной кислоты на сахарный сироп, заполняющей пустоты.

Цвет – наименее надежная характеристика для определения вида камня; так как существуют родственные виды, имеющие различную окраску, и очень далекие друг от друга виды, мало отличающиеся по цвету. Так, кварц, несмотря на простоту своего состава, весьма разнообразен по цвету, а рубин и алмаз могут показаться на первый взгляд очень похожими. Тем не менее некоторые камни альцифигеенн окрашены (наиболее наглядным примером может служить изумруд), а в других опытный глаз может обнаружить характерные тонкие оттенки цвета. Во всяком случае, цвет является самой наглядной из физических характеристик, и по цвету можно проводить классификацию различных камней. Рассмотрим подобный «цветовой» подход на примере алмаза.

В алмазе, как и в других минералах наблюдается идиоохроматическая, аллохроматическая и псевдохроматическая окраски.

Идиоохроматическая окраска (идиас – по-гречески «свой», собственный») алмаза может быть обусловлена рядом причин. Одна из них – присутствие в алмазе примесных элементов-хромофоров. Спектральным анализом в алмазе установлены хромофоры железа, титана, меди, никеля, хрома и ряда других химических элементов. Зеленая окраска алмаза объясняется примесью железа в данной форме. Последнее время окраску алмаза связывают с примесью атомов азота в кристаллической решетке и его концентрацией. Азот может изомерно замещать углерод в решетке алмаза, в этом случае один свободный валентный электрон азот

абсорбирует свет в длинноволновой области спектра, что является причиной резного цвета природных алмазов. Увеличение концентрации азота приводит к возникновению зеленоватого оттенка. Незначительное количество добываемых алмазов не содержит микропримесей атомов азота и представляет редкие голубые кристаллы. (Много в месторождения в районе Архангельска)

Аллохроматическая(аллос – по-гречески «посторонний») окраска алмазов может быть обусловлена микроскопическими включениям красящего вещества. Молочно-серый, серый, ярко-желтый и почти черные цвета обусловлены множеством микроскопических включений, представленных карбидом кремния. Рентгенодифракционным методом исследования желтоватых алмазов из Сырра-Леоне установлено их волокнистое строение, причем длина волокон по мере удаления от ядра увеличивается. Такое же строение окрашенных оболочек наблюдается у якутских алмазов. Установлено также, что окрашенная оболочка обогащена MgO и SiO₂, титаном и цирконием. Вишнево-дымчатая окраска кристаллов алмаза месторождений Урала объясняется наличием тонкодисперсного графита. Фиолетовые и дымчатые цвета алмазов связывают с эпигенетическими процессами, в результате которых образовались плоскости скольжения, с последними и совпадают окрашенные полосы в кристаллах.

Псевдохроматическая окраска (псевдо- по-гречески «ложный») в кристаллах алмаза возникает, если в кристалле имеется включение другого цветного минерала. Псевдохроматическая окраска хорошо просматривается в специально ограненных кристаллах, когда цветной минерал расположен у шипа. В этом случае окраска минерала включений накладывается на окраску основного минерала.

По физической природе цвета алмаза классифицируют на два типа : 1) прозрачные для лучей 300 нм, матовые с полосой поглощения 780 нм, флуоресцирующие синим цветом в ультрафиолетовых лучах;

2) прозрачные только в ультрафиолетовых лучах 225 нм, с отсутствием полосы поглощения в инфракрасных лучах и не флуоресцирующие. Камни второго типа редки. Их, в свою очередь, подразделяют на две группы;

2.1) не фосфоризируют в ультрафиолетовых лучах, не проводят электричество;

2.2) интенсивно фосфоризируют в ультрафиолетовых лучах и проводят электричество;

По окраске природные алмазы можно разделить на пять групп: бесцветные, желтые, бурые, серые и черные. В каждой из четырех последних групп имеются переходные окраски от светлых до темных тонов. Необходимо также отличать алмазы различных оттенков: зеленоватые, голубоватые, фиолетовые и др. В природе встречаются (очень редко) алмазы с красивой синей окраской и зеленой окраской (черный алмаз княжны Орловой, голубой бриллиант Бруневика , Дрезденский зеленый алмаз, розовый алмаз «Павел 1» и др). Ценятся они очень высоко. Черные, так называемые савойские , алмазы также встречаются очень редко. Многие алмазы имеют неравномерное распределение окраски: пятна, полосы, связанные с наличием различных примесей в кристалле. Кристаллы формы ромбододэкаэдра, добываемые в рудниках Южной Африки, имеют желтый оттенок, а кристаллы формы октаэдра – бесцветные.

Природа окраски кристаллов алмаза полностью еще не выявлена. Одни исследователи связывают ее с наличием примесей металлов, другие с дефектами кристаллической решетки.

Существуют несколько способов определения природы окраски алмазов – натуральной и полученной искусственным путем в результате облучения и термообработки.

Спектроскопия. Основной метод определения натуральности окраски алмазов, который базируется на том, что всем алмазам свойственна определенная полоса поглощения. После облучения радием и термообработки у разных алмазов появляются разные полосы поглощения.

Исследование флуоресценциим. Интенсивность и характер видимого излучения после воздействия невидимых лучей служат критерием оценки драгоценных камней. Алмазы по цвету флуоресценции делят на три категории: с голубоватой, зеленой и желтой флуорисценцией.

Проницаемость алмазов в ультрафиолетовом свете. Порог проницаемости в ультрафиолетовом свет, другими словами степень прозрачности, у синтетических алмазов ниже, чем у природных.

Электропроводность - признак натуральной окраски голубых алмазов, голубые алмазы с искусственной окраской электрический ток не проводят.

Оценка бриллиантов по цвету.

При оценке цвета бриллианты располагают шипом вверх на сложенной полоске белой бумаги, которая ориентируется таким образом, чтобы взгляд оценщика был перпендикулярен граням низа. Такое расположение бриллиантов позволяет избавиться от мешающего действия «игры» и блеска. Собственный цвет бриллианта лучше всего просматривается в районе шипа, поэтому оценщик, сконцентрировав внимание на шипе, просматривает низ бриллианта через основные грани в продольном и поперечном направлениях. В особо сложных спорных случаях бриллиант ставят на рундист и просматривают через клинья низа сбоку. Иногда на бриллиант необходимо слегка подышать, тогда тонкие нюансы в окраске становятся видимыми отчетливо в момент, когда налёт от запотевания начинает испаряться. При визуальной оценке глаз оценщика максимально чувствителен к малым цветовым различиям при освещении бриллиантов дневным светом, спектр которого слегка смещен в сторону голубого. Уровень освещенности должен лежать в пределах 960..1200 лк. Цветовая память у человека весьма слабая, однако тренированный человеческий глаз способен уловить очень тонкие цветовые различия при сравнении двух цветовых образцов, поэтому способ оценки цвета бриллиантов путем сравнения с образцами-эталономы предпочтительнее в смысле точности и стабильности результатов, чем способ сравнения цвета бриллиантов с цветом белой бумаги

Этот принцип оценки заложен в **колорископе**. Работа с колорископом снижает возможность субъективной ошибки при оценке цвета бриллиантов. Основной частью колорископа является источник света, по своей спектральной характеристике близкий к естественному. Другой очень важной частью колорископа является эталонная серия бриллиантов, цвет которых предварительно определен с помощью приборов. Для определения цвета исследуемый бриллиант сравнивают с бриллиантами этой серии.

Оценивают бриллианты по цвету с помощью колорископа следующим образом. В отверстие диафрагмы устанавливают приставку, выполненную из белого пластика. В желобок приставки устанавливают исследуемые бриллианты. Оценка по цвету производится путем сравнения с эталоном, который также размещают в желобке.

Для достижения единой и точной оценки цвета бриллианты-эталоны должны отвечать следующим требованиям;

1) бриллианты-эталоны должны иметь симметричную огранку и хорошие пропорции, так как при слишком высоко или низко огранённой верхней или нижней части отраженный свет выходит под углом, отличным от угла идеального бриллианта, и может затруднить определение окраски;

2) бриллианты-эталоны должны иметь по возможности узкий и равномерный рундист. Толстый и бахромчатый рундист может отрицательно повлиять на оценку цвета, так как часть света, прошедшая через рундист, поглощается;

3) в качестве эталонов не следует использовать отчетливо флуоресцирующие бриллианты, которые при дневном и электрическом свете принимают различную окраску;

4) по качеству бриллианты-эталоны не обязательно должны быть без дефектов, однако наличие дефектов (например, трещин коричневого цвета или окрашенных включений минералов) не должно влиять на окраску бриллиантов.

Такой прибор, как диамант-фотометр, сконструированный Ленценом (ФРГ) в 1969 г., исключает возможность субъективной оценки. Этим прибором измеряется коэффициент пропускания лучей света двух определенных длин волн в голубом и желто-зеленом диапазонах.

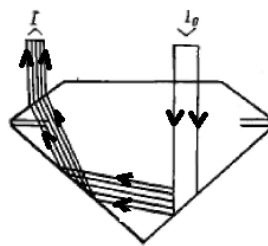


Рис.26- Ход монохроматического луча в бриллианте

На рисунке показан ход монохроматического луча света в бриллианте после прохождения его через интерференционный фильтр. Луч света падает на площадку бриллианта с интенсивностью $I_0 = 100\%$ и после двукратного полного отражения внутри камня выходит через грани верхней части. Его интенсивность (I), ослабленная поглощением, измеряется на фотоэлектронном приемнике прибора.

Полученное соотношение $I:I_0$ определяет значение коэффициента пропускания данного луча. Отношение коэффициентов пропускания лучей обеих использованных длин волн определяет в конечном итоге величину относительного пропускания, которая представляет собой коэффициент пропорциональности в пределах от 0,8 до 5,0

. С помощью созданного опытным путем графика его можно перенести прямо на цветовые группы бриллиантов.

Ещё одним прибором, исключающим возможность субъективной оценки при оценке цвета бриллианта, является **электронный колориметр** конструкции Шиплая. Основой этого прибора является фотоэлектрический элемент, который измеряет силу света, проходящего через бриллиант. Прибор имеет два цветных фильтра (жёлтый и синий), установленные друг за другом по ходу белого луча света, который проходит через бриллиант. С помощью этих цветных фильтров определяют собственный цвет бриллианта.

Наиболее объективную оценку цветности с возможностью классификации бриллиантов по цвету позволяет прибор «Бриллиант-1». Прибор позволяет классифицировать по цвету бриллианты диаметром рундиста от 3 до 10 мм, а также позволяет разграничивать бриллианты круглой, прямоугольной фантазийных форм на цветовые группы. Диапазон измерения охватывает шесть цветовых групп – от белой до коричневой.

Принцип действия прибора состоит в определении с помощью оптико-электрической схемы отношения поглощений бриллиантом монохроматических потоков излучения на участках коротковолнового спектра (392 ± 2) нм и длинноволнового – (550 ± 20) нм. Эти монохроматические потоки выделяются из спектра излучения лампы накаливания КИМ-9-75 с помощью интерференционных светофильтров. Монохроматический поток длинноволнового участка спектра направляется на бриллиант. Рассеянный бриллиантом поток усредняется с помощью интегрирующего шара и регистрируется фотоумножителем, включенным в электрическую измерительную схему. В приборе применён непосредственный метод измерения.

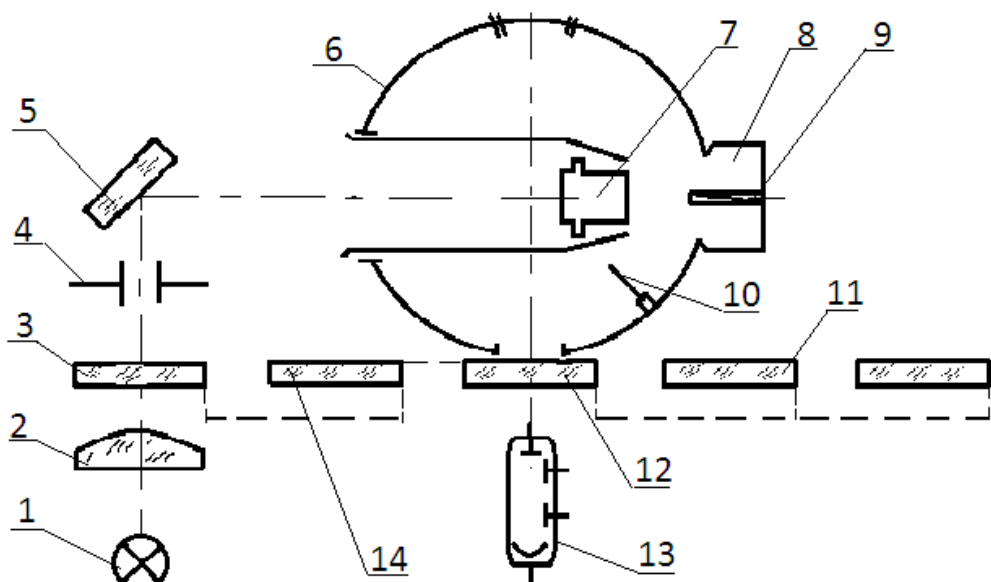


Рис.27- Оптическая схема прибора «Бриллиант-1»

Прибор работает следующим образом. Свет от источника 1 направляется на коллиматорную линзу 2, формируется в параллельный пучок, проходящий через светофильтр 3 или 14, с помощью которых выделяется монохроматическое излучение с длиной волны (550 ± 20) или (392 ± 2) нм. На пути светового потока стоит ограничительная диафрагма 4. Зеркалом 5 световой поток преломляется на микрообъектив 7. Интегрирующий шар 6 снабжен смотровым люком, которым пользуются при юстировке схемы. Часть трубы, находящаяся в шаре, как и внутренняя поверхность шара, снаружи имеет более баритовое покрытие. Световой поток микрообъективом 7 фокусируется на бриллианте, помещенном на держателе 9, окруженном световушкой 8. Перед выходным отверстием шара располагается электронный умножитель 13 типа ФЭУ-27. Для предотвращения попадания на ФЭУ прямых отраженных от бриллианта лучей между выходным отверстием шара и бриллиантом помещена перегородка 10, покрытая баритом. Перед ФЭУ интерференционные светофильтры 11 и 12 с максимумами пропускания (392 ± 2) и (550 ± 20) нм, сблокированные с идентичными по длине волны светофильтрами, вводимыми после линзы 2. Такая двойная монохроматизация потока излучения лампы предотвращает возможность попадания на ФЭУ спектра люминесценции, присущего некоторым бриллиантам. На этом же принципе построены установки для сортировки бриллиантов по цвету.

Дихроизм и дихроскоп.

Цвет может формироваться несколько по-другому, чем мы это рассматривали ранее. Почти во всех двупреломляющих цветных камнях имеется два различно окрашенных луча, которые одновременно достигают нашего глаза, смешиваясь друг с другом. Двупреломление камня означает, что лучи прошедшие через него в каком-либо направлении, разделяются на два, каждый из которых колеблется в плоскости, перпендикулярной другому лучу. Эти лучи не только распространяются с различными скоростями, но, как правило, поглощаются различно. Это явление называется **дихроизмом** (эффект двух цветов) или, в более общем случае, **плеохроизмом** (эффект многих цветов), поскольку некоторые камни могут характеризоваться в различных направлениях тремя разными цветами, хотя в одном направлении видны всего только два цвета.

Описываемый эффект заметить невооруженным глазом обычно невозможно, за исключением сильно дихроичных камней, оттенок которых меняется при их повороте в соответствии с изменяемым направлением света, проходящего через кристалл.

Чтобы наблюдать оба цвета одновременно, применяется небольшой простой прибор, называемый дихроскопом. Он представляет собой трубку с окном на одном конце и линзой на другом, между которыми помещается кусочек кальцита таким образом, чтобы он создавал (вследствие своего сильного двупреломления) два рядом лежащих изображения окна, наблюдаемых через окуляр. Теперь свет двух таких сопряженных изображений окна колеблется в разных плоскостях, причем колебания для одного изображения перпендикулярны колебаниям другого.

Если камень расположить перед окном дихроскопа так, чтобы свет, проходящий через окно, попадал в окно прибора, то через окуляр будут видны два окна, окрашенные в цвета поляризованных лучей, идущих из камня.

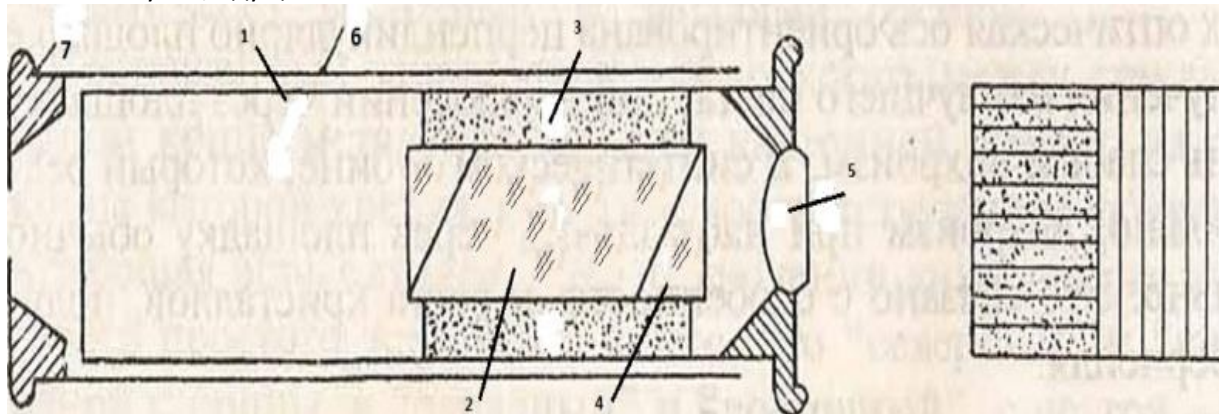


Рис.28- Схема дихроскопа

Металлическая трубка 1 с ромбом оптического кальцита 2 закрепленным с помощью пробковой оправы 3 и окуляром 5. Прикрепленные к кальциту стеклянные призмы-служат для улучшения изображения. Трубка 1 скользит в трубке 6 с прямоугольным окном 7. Справа-изображение окна дихроскопа, как оно видно через окуляр. Обычно это просто два различных по интенсивности оттенка одного и того же цвета. Например, для сапфира, как правило, в окнах видны темно-синий и светло-синий цвета, однако у некоторых камней наблюдается значительная разница в цветах. Например, в уральском александрите при повороте камня перед окном дихроскопа можно видеть пурпурный, зеленый и оранжевый цвета(по 2 одновременно).

Вращение камня - важный фактор при определении дихроизма. Во всех двупреломляющих камнях имеется одно или два направления, известные как оптические оси, вдоль которых никакого дихроизма нет. Это явление общеизвестно, но не все знают, что и в других направлениях дихроизм может не наблюдаться, если направления колебаний двух изображений окна случайно окажутся под углом 45° к лучам, выходящим из камня.

Важно также помнить, что дихроизм свойствен только двупреломляющим камням; у стекол же и у изотропных минералов он отсутствует.

Дихроскоп позволяет отличить рубин от красной шпинели и граната, синюю шпинель от синего турмалина такого же оттенка, сапфир от синей синтетической шпинели и т. д.

Наблюдать дихроизм лучше всего в дневном свете. Окуляр большинства дихроскопов снабжен линзой, позволяющей видеть слегка увеличенные изображения камня в каждом из двух изображений окна. Как правило, только одна или две грани пропускают столько света, чтобы можно было видеть цвет, однако достаточно даже небольшого пятна, чтобы можно было сравнить два оттенка и наблюдать различие в цвете. Камень необходимо рассматривать в различных положениях, чтобы добиться наилучшего эффекта. В правильно ограненных рубинах, в которых оптическая ось ориентирована перпендикулярно площадке камня с целью получения наилучшего цвета, при наблюдении через площадку заметен лишь очень слабый дихроизм. В синтетическом рубине, который редко гранится правильно, дихроизм при наблюдении через площадку обычно заметен очень сильно. Это связано с особенностями роста кристаллов.

Некоторые модели дихроскопов снабжены держателем, предназначенным для фиксации камня и его вращения перед окном прибора, что значительно облегчает наблюдение.

Замечательные эффекты дихроизма можно наблюдать у таких довольно редких камней, как фиолетово-синий иолит, зеленый андалузит, голубой апатит, сфен и бенитоит. К более известным камням, имеющим сильный или явно выраженный дихроизм, относятся рубин, сапфир, александрит, большинство турмалинов, кунцит, аквамарин и голубой циркон. Наиболее эффектные цветовые контрасты дает фиолетово-синяя разновидность цоизита, известная под названием "танзанит". В хорошем кристалле танзанита через дихроскоп можно видеть попарно темно-синий, пурпурно-красный и бледно-зеленый цвета. Эффект, свойственный природному камню, часто ослабляется в результате нагревания его после огранки с целью изменения цвета. В некоторых камнях при их повороте и наблюдении в различных направлениях заметно изменение цвета камня невооруженным глазом.

Дихроскоп дает более интересные сведения, если известны направления колебаний света для каждого изображения окна. Их легко установить экспериментально и отметить раз и навсегда на ободке окуляра. Один из методов определения направления колебаний — наблюдение через дихроскоп света, отраженного от полированной поверхности стола. Такой свет почти полностью поляризован, и его колебания направлены параллельно отражающей плоскости. Более яркое окно дихроскопа соответствует лучам, колеблющимся параллельно поверхности стола, тогда как направление колебаний лучей, идущих из более темного изображения окна, перпендикулярно поверхности стола.

Применение спектрометра при определении драгоценных камней.

Спектрометр — один из трех китов, на котором покоится современная диагностическая геммология. Два других — рефрактометр и микроскоп.

Рефрактометр позволяет определить большинство драгоценных камней, в то время как микроскоп говорит нам об их происхождении. Но рефрактометр неприменим в случае необработанных камней, а также камней, имеющих высокие показатели преломления. Не в каждом камне можно увидеть под микроскопом его характерные особенности. Да и спектрометр, разумеется, имеет свои ограничения. Однако именно его следует применять в тех случаях, когда два других прибора оказываются бесполезными; именно он позволяет очень быстро и тонко определить ряд драгоценных камней. Спектрометр может применяться с одинаковым успехом как в случае необработанных, так и в случае полированных камней с высоким показателем преломления, и камней, показатели преломления которых лежат в пределах шкалы рефрактометра. Нередко с помощью спектрометра удается определить, является ли камень природным или синтетическим, выявить случаи искусственной огранки (например у жадента) или облучение (например у алмаза).

Принцип спектрометрии достигается просто — анализ света, прошедшего через камень или отраженного от его поверхности. Как известно, белый свет представляет собой результат смешения лучей всех цветов радуги: красного, оранжевого, желтого, зеленого, синего и фиолетового. Красный имеет наибольшую длину волны, а фиолетовый — наименьшую. Прежде в качестве единицы измерения длин волн света был принят ангстрем \AA , но в связи с внедрением метрической системы принятой единицей стал нанометр. Нанометр представляет собой одну миллионную долю миллиметра ($1 \text{ нм} = 10 \text{\AA}$). Диапазон видимого света лежит приблизительно в пределах от 700 до 400 нм, а длина волны натриевого света 589,3 нм. За красным краем спектра находятся невидимые так называемые инфракрасные лучи, которые переходят в тепловые волны ещё большей длины; фиолетовый край спектра продолжается в область невидимых ультрафиолетовых лучей (от 400 до 200 нм). Рентгеновские лучи имеют такую же волновую природу, как и световые, и отличаются от последних лишь малой длиной волны порядка 0,1 нм.

Принцип, на котором основана способность спектрометра анализировать свет, раскладывая его на составные части, состоит в следующем: лучи различных цветов (т.е. различных длин волн) при прохождении через призму из стекла или другого прозрачного материала преломляются неодинаково. Так, узкий параллельный пучок белого света, пройдя

через призму, превращается в полосу радужных цветов – видимый спектр. Последний можно получить и другим путём – пропуская свет через решетку из параллельных линий, расположенных очень близко друг от друга и через равные интервалы. Такая решетка называется дифракционной решеткой и используется во многих спектрометрах. Оба типа спектрометра – как с призмой, так и с решеткой – имеют свои преимущества и недостатки. Призменные спектрометры дают более яркий свет, но ширина его цветных зон увеличивается по мере приближения к фиолетовому краю в соответствии с возрастающей дисперсией стекла или другого материала, из которого сделана призма. Прибор с дифракционной решеткой даёт равномерное распределение цветовых областей, однако из-за образования ряда спектров, глаза достигает значительно меньше света от одного наблюдаемого спектра. Поскольку яркость наблюдаемого спектра очень важна, для быстрой диагностики драгоценных камней по их спектру поглощения обычно применяют призменный спектрометр. Такой спектрометр состоит из металлической трубки с регулируемой щелью на одном конце, через которую пропускается анализируемый свет. За щелью расположена линза, которая превращает проходящий через неё пучок света в параллельный. Затем этот пучок проходит через три или пять стеклянных призм, склеенных таким образом, что их вершины поочередно направлены в противоположные стороны. Для изготовления чередующихся призм обычно применяют стекла с различной степенью дисперсии, благодаря чему лучи средней части спектра достигают окуляра спектрометра, практически не отклоняясь. Так устроен спектрометр т.н. «прямого наблюдения». В идеале суммарная дисперсия должна достигать $\approx 10^\circ$, тогда можно будет наблюдать всю видимую часть спектра.

Если спектр направить щелью на электрическую лампу, то будет видна прямоугольная полоска спектральных цветов, на фоне которой можно увидеть ряд тонких темных линий. Эти линии всегда перпендикулярны длине спектра, *они возникают в результате загрязнения щели и обычно исчезают после её чистки*. Темные линии, пересекающие спектр, называются фраунгоферовыми линиями солнечного спектра по имени немецкого физика Фраунгофера, который впервые описал их положение в спектре.

Наиболее интенсивные линии Фраунгофер обозначил буквами А, В, С и т.д., начиная с красного конца – это линии поглощения, точно соответствующие по положению (т.е. по длине волны) ярким линиям, испускаемыми светящимися парами металлов. Например, две линии в желтой части спектра точно соответствуют желтым линиям, испускаемым светящимися парами натрия. Спектр поглощения Солнца возникает вследствие того, что из яркого непрерывного спектра испускаемого светящимися твердыми глубинными частями Солнца, атомы металлов, находящиеся в более холодной газообразной атмосфере, окружающей Солнце, поглощают соответствующие им полосы. Каждый вид атомов в газообразном состоянии поглощает волны света той же длины, какой он испускает в нагретом состоянии. В твердых телах способность атомов к поглощению света заметно падает и полосы поглощения становятся более широкими и размытыми, а их расположение перестает быть столь определенным по сравнению с линиями Фраунгофера. Однако именно тот факт, что полосы поглощения занимают различные положения в спектрах разных минералов, содержащих обуславливающий окраску элемент, очень важен, поскольку позволяет во многих случаях идентифицировать минералы. Существует небольшая группа металлов, в присутствии которых в растворе или твердом материале (стекле или минерале) приводят к поглощению из белого света определенных длин волн, и, как следствие, к окрашиванию содержащих их веществ. С этой точки зрения для драгоценных камней наиболее важен хром, который окрашивает в красный цвет рубин, шпинель и пирон. Ему же обязаны своими насыщенными и яркими зелеными тонами изумруд и жадеит. Железо- самый распространенный краситель- дает менее яркие зеленые оттенки, а также красный, желтый и изредка синий цвета. Зеленый сапфир, хризолит, альмандин и синяя шпинель окрашены железом. Медь создает окраску бирюзы, а так же поделочных камней- малахита и лазурита. Марганец обуславливает особый розовый или оранжевый цвет спессартина и просвечивающих родохрозита и родонита. Никель окрашивает настоящий хризопраз. Общеизвестный в быту синий цвет, который дает кобальт, в природных минералах редок, но он широко распространен в синем стекле и синих синтетических шпинелях. Синий цвет синтетического сапфира связан, несомненно,

с титаном. В природном сапфире на цвет влияет также железо. Роль ванадия, восьмого и последнего из этих переходных элементов- хромофоров, разнообразно и не совсем понятно. В берилле он создает очень приятный зеленый цвет, а в большинстве изумрудов ванадий содержится наряду с хромом, который и один может дать весьма насыщенный зеленый цвет, который считается настоящим “изумрудно-зеленым”. Фиолетовый цвет ювелирного циозита, найденного недавно (1967год) в Танзании, также, как полагают, обусловлен присутствием 0,02 % ванадия. Наконец, несомненно роль ванадия в александритовом эффекте синтетического сапфира, имитирующего александрит. Многие современные спектрометры принадлежат к типу приборов с дифракционной решеткой и представлены целым рядом модификаций – от недорогой модели OPL с фиксированной щелью до моделей с регулируемой шириной щели и выдвигаемым окуляром. Для точного измерения положения отдельных линий, выпускается спектрометр со шкалой длин волн в А , которая при соответствующем освещении видна в окуляре как бы наложенной на спектр. Подобные спектрометры выпускаются в Японии, а также фирмами “Цейс”, “Крюсс” и др. Э. Гюбелин сконструировал настольный прибор, в который входят спектрометр со встроенным освещением и освещаемой шкалой, держатель для камня, диафрагма, фильтры и другие приспособления, облегчающие проведение измерений. Хотя использование этого прибора и облегчает определение полос и линий, уже описанных и внесенных в справочники, но он не позволяет достаточно точно измерить новую или неизвестную линию и полосу, особенно в сжатой красной части спектра. Для такой специальной работы используются приборы типа обратного спектрометра Хартриджа, выпускаемые фирмой “Бек”. В этом приборе полосы поглощения, видимые в соприкасающихся обратных изображениях спектра, совмещают путем вращения градуированного барабана. Спектрометрическая установка “Калтлихт” фирмы “Эйкхорст” снабжена двумя световодами; один из них располагается ниже, а другой выше исследуемого образца, который помещается во вращающуюся подставку. Призмный спектрометр можно передвигать по дуге, в центре которой находится образец, и спектр камня может наблюдаться либо в проходящем, либо в отраженном свете. Спектр фирмы “Цейс” представляет собой призмный инструмент высокого качества. Он имеет освещаемую шкалу длин волн, причем красный край спектра слева от наблюдателя. Недостатком его является то, что яркое изображение шкалы накладывается на спектр и мешает наблюдению слабых линий поглощения. В настоящее время созданы контактные ручные спектрометры, например фирмы OPL, который позволяет эффективно проводить определение камней в любой обстановке. Осветитель, спектрометр и средство для закрепления камня могут легко уместиться в ручной сумке.

Наряду с такими компактными и простыми устройствами выпускаются и значительно более сложные. Дискан, разработанный Американским геммологическим институтом, который обеспечивает изучение образцов в отраженном и проходящем свете, а также имеет окно считывания информации в спектре линий или полос поглощения или испускания.

Спектры поглощения окрашивающих элементов.

Все металлы, ответственные за цвет минералов, относятся к так называемым переходным элементам и занимают последовательные места в периодической таблице элементов : за титаном (атомный номер 22) идут ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель и медь. В некоторых случаях уран и некоторые редкоземельные элементы могут увеличить число полос поглощения, но на цвет практически не влияют.

Рассматривать типы спектра, обусловленного основными переходными элементами, начнем с хрома, как элемента играющего большую роль в окраске драгоценных камней. Именно хром (или окись хрома) дает самые лучшие красные и самые лучшие зеленые цвета в мире минералов. Красный цвет рубина и шпинели, зеленый цвет изумруда, жадеита и демантоида обусловлены присутствием в них хрома, тогда как в александрите хром дает смешанное окрашивание, зеленое при дневном свете и красное при искусственном освещении. Линии поглощения, обусловленные хромом, очень характерны и имеют одни и те же особенности как у красных, так и у зеленых камней. В красной части спектра наблюдаются узкие линии с двумя наиболее интенсивными, которые образуют дублет (две очень близко расположенные линии) в

дальнем конце, и двумя, или более, линиями на оранжевой стороне этой части спектра. Имеется также широкие полосы поглощения в центральной части спектра, т.е. в желто-зеленой области; ее ширина и интенсивность определяют, по существу, оттенок камня. Наблюдается также сильное поглощение в фиолетовой части спектра и нередко узкие линии в синей.

Хром обычно входит в решетку кристалла, замещая небольшое количество алюминия, являющегося основным компонентом камня. В качестве примеров можно привести рубин, изумруд и александрит. Замещенным элементом может быть также магний, например в эпитатите и гавайском хризолите. Цвета, связанные с хромом, богаты и чисты, поскольку полосы и линии поглощения четко очерчены и непоглощенные цвета проходят через камни с максимальной интенсивностью. Цвета, обусловленные железом, хотя и весьма красивы, но не столь насыщены, потому что, помимо поглощения в основных полосах, здесь имеет место и общее поглощение почти во всех частях спектра. Прибегая к аналогии, можно сказать, что полосы хрома подобны городам, которые окружены стенами, не имеют никаких пригородов и окрестности которых чисты и не распаханы, тогда как полосы железа похожи на города, переходящие в пригороды с разбросанными в беспорядке домами.

Железо имеет два типа спектров: один определяется закисным двухвалентным железом, а другой – окисным трехвалентным. Железо, в основном, дает красный и зеленый цвета, однако чернильный цвет синей шпинели также обусловлен им. Полосы железа, только изредка очень редкие, расположены главным образом в зеленой и синей частях спектра. Минералы, окрашенные марганцем, имеют типичный розовый или оранжевый оттенок. Полосы этого элемента лежат в синей части спектра, по самые интенсивные, и часто очень интенсивные, располагаются в фиолетовой, продолжаясь иногда и в невидимой ультрафиолетовой области.

Природные кобальтовые минералы имеют розовый цвет, но ни один из них не пригоден для ювелирных украшений. В стекле и синей синтетической шпинели, которые используются для имитации сапфира, а также в синем синтетическом кварце окраска обусловлена кобальтом, причем его спектры поглощения в этих материалах очень характерны: три интенсивные широкие полосы в желтой, зеленой и сине-зеленой частях спектра.

Другие переходные элементы лишены таких характерных полос поглощения, за исключением меди в бирюзе, которая дает две узкие полосы поглощения в фиолетовой части (обычно видна лишь одна), и ванадия, который дает единственную линию в синей части спектра и используются для окрашивания синтетического корунда под александрит.

Полосы, обусловленные ураном, наблюдаются только у циркона; уран создает очень характерный спектр с многочисленными четкими линиями. Линии урана очень узкие и равномерно распределены по спектру, поэтому он оказывает минимальное влияние на цвет. Наконец, можно упомянуть об узких линиях, обусловленных присутствием двух редкоземельных элементов неодима и празеодима, известных под общим названием дидима, поскольку в природе они всегда встречаются вместе, хотя в лабораториях могут быть получены по отдельности. Присадка дидима к стеклу приводит к сильному поглощению в желтой части спектра и вызывает характерное розовое окрашивание. В природных минералах этих элементов очень мало, и их полосы или линии поглощения настолько слабы, что на цвете не сказывается.

Электроны примесных редкоземельных элементов, участвующих в процессе поглощения, расположены не на наружной оболочке и поэтому подвержены меньшему влиянию окружающего электрического поля в основном кристалле по сравнению с большинством хромофорных элементов. Следы дидима чаще всего встречаются в минералах кальция и определяют появление характерной группы тонких линий в желтой и зеленой частях спектра. Желтый, а иногда и зеленый апатит – единственные природные драгоценные камни, в которых все линии дидима весьма интенсивны, хотя отдельные линии большей интенсивности были определены в данбурите, сфене, везувiane, флюорите, гнеелите, кальците. Интенсивные линии дидима, а также линии от других редкоземельных элементов могут служить прямым доказательством синтетической природы кристалла или признаком стекла.

Для примера рассмотрим спектр алмаза: у большинства алмазов видна узкая полоса поглощения при 415,5 нм в дальней фиолетовой области спектра, причем она, если ее удастся увидеть, полностью определяет алмаз. В капских алмазах эта полоса отличается большой

интенсивностью и может сопровождаться пятью более слабыми полосами при 478,465, 451, 435 и 423 нм в синей и фиолетовой частях спектра. Наиболее заметна полоса при 478 нм. У бурых алмазов присутствуют тонкие линии в сине-зеленой части спектра при 504 нм и более слабые линии при 537 и 498 нм, однако их очень трудно увидеть. Камни со спектром капских алмазов, как правило, дают в ультрафиолетовом свете голубую флюоресценцию, тогда как алмазы коричневых тонов – зеленую.

Удельный вес и методы его определения.

Удельный вес – вес вещества, заключенного в единице его объема – одна из основных характеристик драгоценных камней и металлов. Она отражает химический состав и распределение атомов в структуре материала. Довольно часто пользуются аналогичным показателем – плотностью вещества, которая определяется, как отношение массы к объему.

По плотности все минералы делятся на три группы (г/см^3):

- 1) легкие – до 2,5 (гипс, сера, галит);
- 2) средние – от 2,5 до 4,0 (кварц, алмаз);
- 3) тяжелые – более 4,0 (барит, гематит, самородные металлы)

Удельный вес камня – это характеристика, подходящая для каждой разновидности в узком постоянном интервале и поэтому очень полезная для диагностики камней. Удельный вес можно установить вне зависимости от формы камня и от того прозрачен камень или нет; но при этом камень должен быть вынут из оправы.

Методы определения удельного веса делятся на два вида: одни методы основаны на подборе жидкости такого же или почти такой же плотности, как и камень; в других производятся взвешивания, для чего требуются точные весы.

Определение удельного веса с помощью тяжелых жидкостей.

Мы знаем, что твердое вещество плавает в жидкости, которая плотнее этого вещества, тонет в не плотной жидкости и остается во взвешенном состоянии на любом уровне в жидкости с плотностью, в точности равной плотности этого твердого вещества. Если камень хотя бы немного менее плотный, чем жидкость, он будет подниматься к поверхности; если он чуть-чуть плотнее, он будет конечно, опускаться на дно.

Если нам удастся найти жидкость плотнее исследуемого камня, то камень, помещенный в нее, будет плавать на ее поверхности. Если мы теперь возьмем жидкость менее плотную, чем камень, и способную смешиваться с более тяжелой жидкостью и будем добавлять последнюю по капле и осторожно перемешивать смесь, чтобы сделать ее плотность одинаковой во всем объеме, то в конце концов мы добьемся того, что камень окажется в равновесии с жидкостью и будет плавать на любом уровне. В этом случае плотность камня будет равна плотности жидкости и если мы каким-либо способом узнаем плотность жидкости, то тем самым определим удельный вес камня. Не следует, однако, забывать, что некоторые драгоценные камни, например опал и бирюза, более или менее пористые. Продолжительное погружение таких камней в иммерсионную жидкость нежелательно, тем более что это оказывает вредное воздействие на их внешний вид.

Для определения плотности жидкостей существуют разные приборы и методы, например весы Вестфала, но, помимо неудобств, связанных с такой процедурой, плотность всех жидкостей довольно сильно зависит от температуры. Поэтому лучше всего при выполнении наблюдений измерять не плотность, а показатель преломления. Хотя с температурой меняются обе указанные физические характеристики, их отношение в пределах требуемой точности остается постоянным в диапазоне обычных комнатных температур, а показатель преломления определяется с помощью рефрактометра легко и быстро. В общем случае, когда жидкость представляет собой смесь двух компонентов – тяжелого и легкого, следует составить таблицу или диаграмму, показывающую соотношение между плотностью и показателем преломления.

Если определение удельного веса камня требуется только для его диагностики, то вместо этой процедуры лучше проводить прямое сравнение с кусочками различных веществ, удельный вес которых известен (эти вещества называются индикаторами). Если один из двух кусочков, слегка различающихся по удельному весу, плавает на поверхности однородного столба жидкости, а другой лежит на дне пробирки с этой жидкостью, можно не сомневаться, что жидкость имеет плотность, промежуточную по отношению к значениям удельного веса этих кусочков.

Другой удобный способ проверки плотности жидкости связки с использованием специального прибора ареометра, принцип работы которого основан на том, что уровень, до которого погружается в жидкость легкое тело, прямо зависит от плотности этой жидкости. Ареометры состоят из закрытой стеклянной трубки и отходящего от нее вверх узкого стержня с градуированной шкалой. В трубку помещают груз, вес которого зависит от требуемого интервала плотностей. Инструмент прост в использовании: его опускают в жидкость и делают соответствующий отсчет по шкале.

Есть еще более удобная разновидность этого метода – не пытаться подобрать раствор с таким же удельным весом, как у исследуемого камня, а получить диффузионный столб жидкости, в котором плотность последовательно возрастает с глубиной. Если исследуемый камень плавает в таком столбе на некотором уровне между двумя кусочками с известным удельным весом, то удельный вес камня можно найти путем элементарной интерполяции. Чтобы приготовить такой столб жидкости, надо легкую жидкость осторожно, по капле, добавлять к тяжелой. Наиболее совершенный столб получается при естественной диффузии, но поскольку это довольно длительный процесс, его можно ускорить легким встряхиванием пробирки; образующийся при этом столб жидкости позволяет получить результаты, достаточно точные для определения камней.

Наибольшее распространение получили следующие тяжелые жидкости: раствор Клеричи, который при комнатной температуре хорошо смешивается с водой; йодистый метилен, который разбавляется бензолом и бромформом, который разбавляется спиртом или бензолом. Рассмотрим их более подробно.

Раствор Клеричи.

Это смесь малоната таллия $CH_2(COOLi)_2$ и фармата таллия $HCOOLi$, прозрачная жидкость, совсем слабо окрашенная в коричневый цвет. Ее плотность при обычной комнатной температуре равна $4,25 \text{ г/см}^3$. Этот раствор может смешиваться с водой в любой пропорции, и его легко можно сделать снова концентрированным путем осторожного нагревания под пламенем газовой горелки или на горячем песке. Как все таллиевые соединения, раствор Клеричи ядовит, и пользоваться им надо с разумной осторожностью. Хотя его можно безопасно использовать для всех драгоценных камней, кроме пористых, его нельзя применять ко всем минералам без разбора, потому что он вступает, особенно в горячем виде, в химическую реакцию с некоторыми из них, например с окисями металлов.

Если при исследовании хотят получить именно такую плотность, при которой камень будет находиться во взвешенном состоянии и плавать на любой глубине, то в раствор следует добавлять не чистую воду, а более слабый раствор, чтобы плотность изменялась медленнее. Когда будет получена требуемая плотность, надо с помощью рефрактометра измерить показатель преломления раствора; соответствующее значение плотности можно определить по таблице.

Йодистый метилен. Это CH_2I_2 – жидкость, которая в чистом виде при 16°C имеет плотность $3,324$. Ее можно быстро разбавить бензолом, плотность которого равна $0,88$, или более постепенно бромформом с плотностью $2,88$. В свежем виде йодистый метилен имеет только слабую желтую окраску, но на свету быстро темнеет из-за высвобождения йода, который появляется в коллоидной форме и от которого нельзя избавиться фильтрацией. Поэтому бутылка с жидкостью должна быть закрыта от света; однако жидкость можно легко сделать более прозрачной, встряхивая её с кусочками меди, олова или других веществ, с которыми йод соединяется, образуя йодиды, которые можно удалить фильтрацией. Предлагалась также ртуть, но оказалось, что она не подходит, потому что может частично растворяться в жидкости, а затем осесть на исследуемом камне и потянуть его ко дну пробирки (рисунок 29).

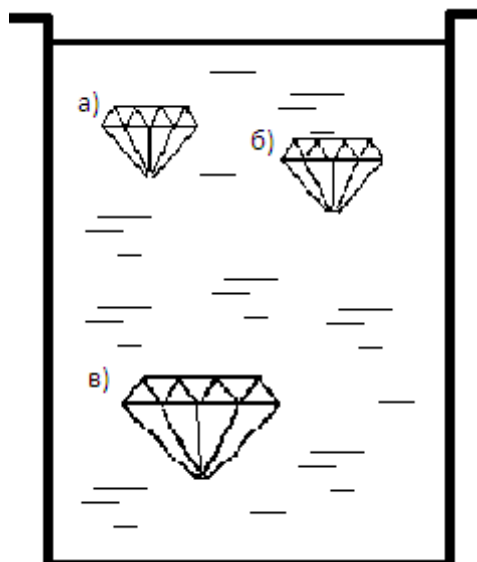


Рис.29- Раствор Клеричи

На рисунке показано, как в диффузионном столбе йодистого метилена и бензола плавает три ограненных камня: кварц (а); берилл (б) и турмалин (в). Хотя берилл имеет только немного больший удельный вес, чем кварц (2,69 и 2,65 соответственно), он плавает явно ниже его. Эти три камня, которые иногда очень походи по оттенку, можно, таким образом, легко различить определением их удельного веса. Плотность йодистого метилена можно увеличить, растворяя в нём йод и йодоформ; насыщенный раствор имеет плотность 3,6 и удерживает на плаву топаз, удельный вес которого 3,55. К сожалению, в этом случае жидкость настолько темная, что почти не пропускает свет, и, кроме того, она очень вязкая. Она может служить для того, чтобы отличить алмаз, имеющий удельный вес 3,52, от бриллиантово- яркого бесцветного циркона (с удельным весом 4,7) с которым его легко можно спутать, если не проводить измерений твердости и двупреломления, когда в цирконе наблюдается при взгляде через табличную грань кажущееся удвоение ребер тыльной части камня. Легко увидеть, плавает ли камень, как это должно быть, если это алмаз, или тонет. Бромформ- это CHBr_3 . Как средство для разделения минералов, входящих в состав песка, впервые предложил Шрёдер Ван-дер-Кольк. при обычной комнатной температуре эта жидкость имеет плотность 2,88 и показатель преломления 1,588. Её можно разбавить спиртом или бензолом, но предпочтительнее первым из-за более подходящей концентрации; если к раствору добавить дистиллированную воду, то спирт соединяется с ней и всплывает на поверхность; более плотный бромформ можно отвести с помощью делительной воронки, а вся избыточная влага выпаривается в эксикаторе.

Кроме рассмотренных рекомендуется ещё ряд других тяжелых жидкостей. Раствор Зонштадта (или раствор Туле) представляет собой насыщенный водный раствор йодистого калия и йодистой ртути с плотностью 3,196 (при комнатной температуре). Раствор Клейна — водный раствор борвольфрамата кадмия с плотностью 3,55. Соль Ретгера — нитрат серебра и таллия, который плавится при температуре 75°C, превращаясь в жидкость с плотностью 4,6. Однако ни одна из указанных жидкостей не применялась широко для работы с драгоценными камнями, и для обычного использования можно рекомендовать только раствор Клеричи и йодистый метилен. Для драгоценных камней с удельным весом ниже 2,9 лучше всего использовать дешевый бромформ.

Определение удельного веса методом непосредственного взвешивания.

Весы, необходимые для реализации этого метода, должны обеспечивать точность до миллиграмма. Для данной цели вполне подходят хорошие аналитические весы. Вместо обычных химических весов можно использовать весы Вестфала или пружинные весы Джоли. В этом случае взвешивание производится быстрее, но менее точно.

При высокоточных физических исследованиях используется приём двойного взвешивания, позволяющий избегать малейших ошибок, которые могут возникнуть из-за несовершенства конструкции весов. Этот метод ещё называется метод Гауса, его идея заключается в следующем. Если взвешиваемый груз Q положить на одну чашу весов и уравновесить его гирями массой P , то между ними будет иметь место соотношение

$$Ql_1 = P_1l_2 \quad (*),$$

где l_1 и l_2 - плечи весов, в общем случае не равные друг другу.

Если теперь взвешиваемый груз и гири поменять местами, то равновесие примет вид $P_2l_1 = Ql_2$ (**).

Разделив равенство (*) почленно на равенство (**) получим

$$\frac{Q}{P_2} = \frac{P_1}{Q},$$

откуда следует, что $Q = \sqrt{P_1 P_2}$ является результатом свободным от погрешности, связанной с неравноплечием весов. Если различие между l_1 и l_2 невелико, то можно воспользоваться приближенным равенством

$$Q = 1/2 (P_1 + P_2)$$

Практически метод двойного взвешивания осуществляют в такой последовательности.

Взвешиваемый груз Q уравновешивают гирями массой P и по шкале определяют положение равновесия L_1 . Затем взвешиваемый груз и гири меняют местами. Из-за разности длин плеч равновесие весов нарушается и для его восстановления на одну из чаш приходится добавить гирьку массой a . При этом определяют новое положение равновесия L_2 . Затем, не снимая груза и гири, определяют цену деления шкалы S . Условие равновесия имеет вид:

$$Q = P + S (L_1 - L_0);$$

$$P + a = Q + S (L_2 - L_0),$$

где L_0 - положение равновесия ненагруженных весов. Исключив из двух равенств значение L_0 , получим формулу, по которой определим искомую массу груза:

$$Q = P + a/2 - S(L_1 - L_2)$$

Измерения по методу двойного взвешивания очень трудоёмки, главным образом из-за необходимости перемещать взвешиваемый груз и гири с одной чаши весов на другую. Несколько более просто реализуется метод замещения, называемый также методом взвешивания на одном плече, или методом Борда. Его используют, например, при поверке рабочих гирь путём их слияния с образцовой. Образцовую гирю массой P , с которой осуществляют сличение, помещают на правую чашу весов и уравновешивают её тарой T , после чего находят положение равновесия весов L_1 . Затем образцовую гирю снимают с чаши весов и замещают её поверяемой. Если равновесие весов нарушается, то его восстанавливают, добавляя образцовую гирю a на ту или иную чашу весов, после чего вновь определяют положение равновесия L_2 . Затем определяют цену деления весов S при данной нагрузке и вычисляют исходную массу по формуле

$$Q = P + a + S(L_1 - L_2)$$

По той же схеме, что и взвешивание по методу замещения, проводится взвешивание по способу Д. И. Менделеева. Различие заключается в том, что тару уравновешивают целым набором гирь. Затем на чашу с гирями кладут взвешиваемый груз и снимают столько гирь набора, сколько необходимо для того, чтобы вновь уравновесить чаши весов. Искомую массу определяют как сумму массы снятых гирь и произведения цены деления на изменение показаний по шкале весов. Преимущество метода Д. И. Менделеева заключается в простоте измерений в том, что

взвешивание производят при постоянной нагрузке на весы, а значит и при постоянной их чувствительности.

В никаких единицах определяется вес, не имеет значения, если только одни и те же единицы используют в качестве единицы веса всё время; такими единицами могут быть грамм, либо карат. Поскольку в обычной своей практике ювелиры используют в качестве единицы веса карат, они естественно, предпочитают именно эту единицу. Интересна история этой единицы. Вначале за единицу массы драгоценного камня принимались семена различных растений, например ячменное зерно. Однако, поскольку масса ячменного зерна зависит от его величины и влажности, часто возникали недоразумения. Позже купцам и ювелирам удалось обнаружить, что сухие косточки плода рожкового дерева цератония (в Древней Греции их называли кератейя (*Keration*)), часто встречающегося в районе Средиземноморья, на Ближнем и дальнем Востоке, абсолютно идентичны по массе. Если сейчас проверить массу отдельных косточек рожкового дерева на современных прецизионных весах, то нашли бы, что они отличаются друг от друга всего на 2...3 мг. Для примитивных весов того времени такая ничтожная погрешность была совершенно неощутимой. Поэтому масса косточек рожкового дерева и была принята за единицу массы сначала для жемчуга, а затем и для других драгоценных камней, включая алмаз. От греческого названия этого дерева и произошла единица массы для драгоценного камня - карат.

Гидростатическое взвешивание.

Принцип этого метода очень прост. Камень, удельный вес которого требуется определить, взвешивается сначала на воздухе, а затем его погружают в воду и взвешивают в воде. Если полученные веса равны соответственно W и W' , то разность $(W - W')$ составит, очевидно, вес воды, вытесненной камнем и имеющей, таким образом, такой же объем, как камень; удельный вес камня, следовательно равен $W/(W - W')$. На практике, для того, чтобы обеспечить точный результат, надо принять некоторые меры предосторожности. Весы, предназначенные для определения удельного веса, снабжают вспомогательной чашкой, которая подвешивается достаточно высоко, чтобы можно было под ней подвесить камень. Вес предмета, используемого для подвески камня, надо конечно, определить и вычесть из веса, полученного для камня как в воздухе, так и в воде.

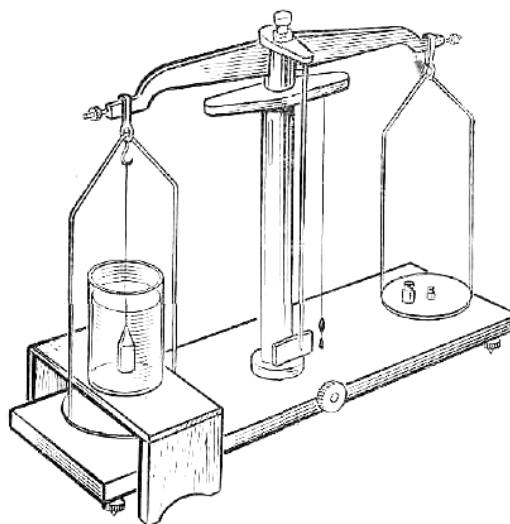


Рис.30-Весы для гидростатического взвешивания

Для подвески часто используется кусочек тонкого шелка, но это не рекомендуется, потому что вода постепенно пропитывает ткань и возникающая при этом ошибка складывается уже в десятых долях, а также величина в случае 1-каратного камня слишком велика. Гораздо лучше использовать петлю из медной проволоки. Следует проследить также за тем, чтобы были удалены все пузырьки воздуха, цепляющиеся за камень или за проволочную петлю: их присутствие ведет к занижению измеряемой величины. Поверхностное натяжение воды, задерживая проволоку, мешает свободным колебаниям весов и затрудняет точное взвешивание,

когда проволока погружается в воду. Эту трудность можно преодолеть, заменив воду другой жидкостью, например талуолом, имеющим гораздо меньшее поверхностное натяжение.

Пикнометрический метод.

Сосуд для определения удельного веса- это просто бутылка с довольно длинным горлышком, на которое нанесена горизонтальная метка. Бутылка закрывается стеклянной притертой пробкой. Усовершенствованная конструкция такой бутылки называется **пикнометром**. Самый лучший сосуд, предназначенный для этой цели, имеет два отверстия. Большее из них используется для заливки воды и опускания камня; оно закрывается пробкой, через которую проходит термометр. Другое отверстие венчает собой очень узкий отросток и закрывается надевающейся на него пробкой; на отросток нанесены деления, позволяющие определить высоту воды в сосуде.

Камень взвешивают, как и в предыдущем методе. Затем взвешивают бутылку , после чего ее наполняют водой до метки и взвешивают снова. Затем в бутылку опускают камень, а лишнюю воду удаляют с помощью фильтровальной бумаги или иным способом до тех пор, пока уровень не станет прежним, и производят новое взвешивание бутылки с ее содержимым.

Из всех методов, которые мы рассмотрим, самый быстрый и наиболее удобный для камней обычного размера является метод тяжелых жидкостей (как его обычно называют), с его помощью можно получать значения удельного веса с точностью до второго десятичного знака, что достаточно для определения камня. Этот метод применим вне зависимости от того, насколько мал камень, и, в сущности, для очень маленьких камней это единственный надежный метод ; для крупных камней он неудобен не только из-за большого количества требуемой жидкости, но и из-за того, что трудно оценить положение центра тяжести камня, когда производится сравнение с помощью индикаторов. Важным может оказаться и отрицательное определение, особенно в случае, если обращается внимание на то, с какой скоростью камень погружается в жидкость; более плотный камень тонет быстрее, но скорость зависит и от формы камня.

Гидростатическое взвешивание осуществимо всегда, если только камень не слишком маленький, но эта операция занимает значительное время. Третий метод предназначен главным образом для порошкообразных веществ и не рекомендуется для граненых камней, разве что для группы мелких крупинок, которые наверняка относятся к одному и тому же виду. Прежде чем закончить с вопросом об удельном весе, рассмотрим соотношение между удельным весом и преломляющей способностью главных драгоценных камней.

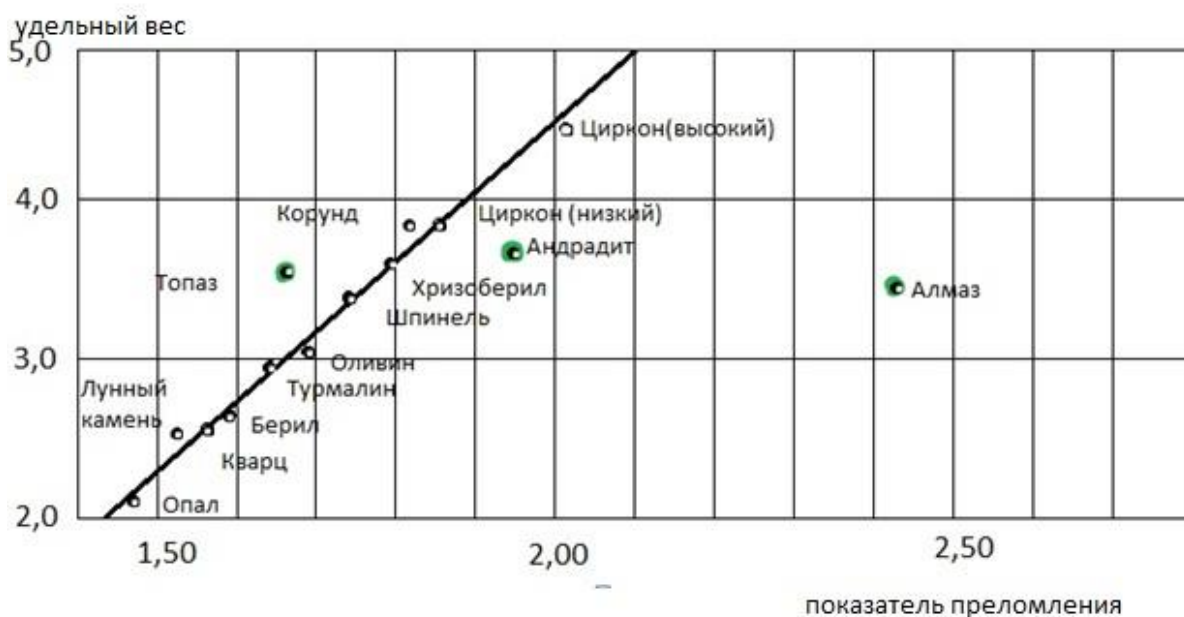


Рис.31- Зависимость показателя преломления от удельного веса

На рисунке показана зависимость между двумя этими константами для главных драгоценных камней. Хорошо видно, что многие точки лежат не на прямой линии или около нее, т.е. для соответствующих камней соотношение между светопреломлением и удельным весом почти постоянное. Существуют три исключения из этой простой зависимости: алмаз, удельный вес которого сравнительно низок для его преломляющей способности; андрадит, для которого данное соотношение отклоняется в ту же сторону, хотя и не так сильно; топаз, удельный вес которого, напротив, выше, чем можно было бы ожидать по его преломляющей способности.

Твердость драгоценных камней и ее оценка. Спайность.

В ювелирном производстве часто требуется производить как оценку твердости ювелирных изделий, так и измерять твердость инструмента, например ограночных и распиловочных дисков, служащего для их обработки. Так как в измерении твердости металлов и минералов есть свои особенности, рассмотрим их последовательно.

РАЗДЕЛ 3

Определение твердости металлов.

Под твердостью металла понимается сопротивление, оказываемое металлом на внедрение в поверхность другого, более твердого тела определенной формы и размера. Числовые значения, полученные при определении твердости разными методами, можно сравнить лишь приблизительно. Поэтому для получения сравнительных результатов при определении твердости применяют стандартные наконечники, которые вдавливаются в испытуемый металл при определенных условиях проведения испытаний. Наиболее применимы стандартные методы определения твердости металла при статической нагрузке, т. е. плавном приложенном давлении.

Метод определения твердости стальным шариком (по Бринелю).

Метод заключается во вдавливании на глубину t стального закаленного шарика определенного диаметра в испытуемый образец под действием заданной нагрузки в течении определенного времени (ГОСТ 9012-85).

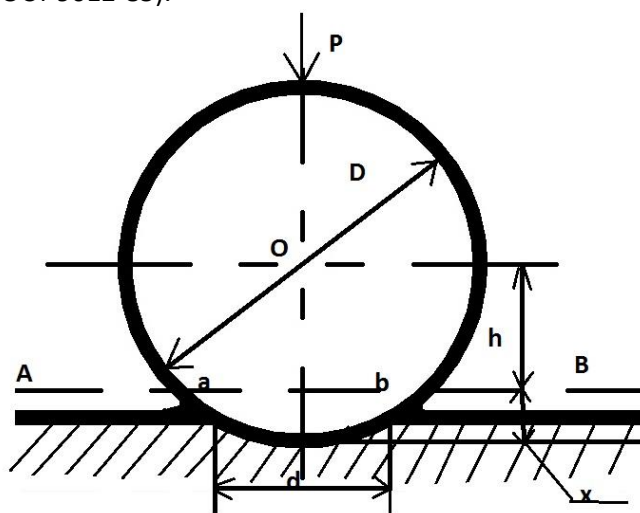


Рис.32-Метод Бринеля

Число твердости НВ при этом методе определяется как среднее давление, выраженное в Н на 1 мм^2 сферической поверхности отпечатка шарика, и вычисляется по формуле.

$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D t}$, где P- сила вдавливания в Н, нормальная к поверхности АВ и установленная в соответствии со стандартом; F- площадь шаровой поверхности аб отпечатка шарика в мм².

Окончательная твердость HB может быть выражена следующей формулой $HB = \frac{2P}{\pi D [D\sqrt{(D^2-d^2)}]}$,

где D диаметр шарика в мм; P- нагрузка на шарик в Н, d- диаметр отпечатка в мм.

На практике пользуются специальными таблицами, где подсчитаны значения HB для отпечатков, имеющих различные диаметры и полученных при нормированных нагрузках, а также шарики различных диаметров. Испытания металлов твердость выше HB 450 этим методом не производятся, так как результаты испытаний сильно искажены.

Метод определения твердости алмазным конусом (по Роквеллу).

Для определения твердости изделий иззакаленной стали или твердых сплавов применяются конусные наконечники, изготовленные из алмаза (ГОСТ 9013-85). Алмазный конус с углом 120° имеет у вершины закругления радиусом $r = 0,2 \pm 0,005$ мм. Определение твердости производится вдавливанием в испытуемый образец алмазного конуса под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок – предварительной в 100 Н и общей в 600 или 1500 Н.

Для определения твердости мягких металлов по методу Роквелла вместо алмазного конуса применяется стальной закаленный шарик \varnothing 1,588 (1/16"). Шарик вдавливается также под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок – предварительной в 100 Н и общей в 1000 Н.

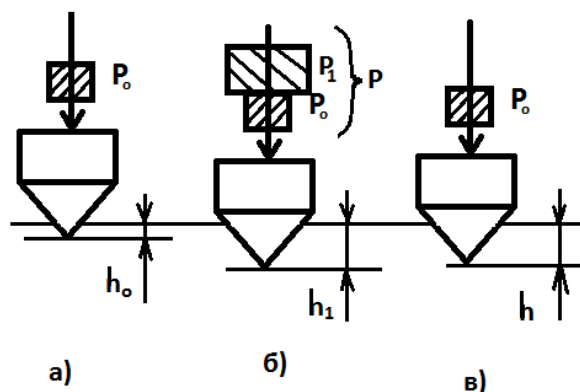


Рис.33- Метод Роквелла

Исследуемый образец сначала получает предварительную нагрузку, равную 100 Н, в результате чего наконечник (конус или шарик) вдавливается в испытуемый материал на незначительную глубину (а). Далее нагрузка увеличивается до величины P, которая равна сумме предварительной P₀ и основной P₁ нагрузок (б). Общая нагрузка 600 Н (шкала А), 1000 Н (шкала В) или 1500 Н (шкала С). Под действием общей нагрузки P наконечник вдавливается на глубину h₁. Затем основная нагрузка P₁ на испытуемый образец снимается, но остается предварительная P₀. Глубина вдавливания h характеризует твердость испытуемого образца.

В зависимости от общей нагрузки P числа твердости по Роквеллу HR выражаются формулами:

При измерении по шкалам А и С

$$HR = 100 - e$$

При измерении по шкале В

$$HR = 130 - e,$$

$$\text{где } e = \frac{h-h_0}{0,002},$$

где h₀ – глубина внедрения наконечника (конуса или шарика) а испытуемый образец под действием предварительной нагрузки P₀;

h – глубина внедрения наконечника (конуса или шарика) в испытуемый образец под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 (h или h_0 в мм);

0,002 – величина (в мм), принятая за единицу осевого перемещения наконечника и условно за единицу твердости.

Циферблат прибора имеет две шкалы: черную – для испытаний с алмазным наконечником и красную – для испытаний с шариковым наконечником.

Метод определения твердости алмазной пирамидой (по Виккерсу).

При измерении твердости металлов по этому методу (ГОСТ 2999-85) в испытуемый образец вдавливаются правильная четырехгранная пирамида стандартного размера, имеющая квадратное основание и угол $136^\circ \pm 30'$ у вершины. Вдавливание производится под действием нагрузки в 50, 100, 200, 300, 500 и 1000 Н. Иногда используют нестандартизованные, незначительно меньшие нагрузки.

Измерив отпечаток алмазной пирамиды по длине диагоналей дважды, определяют число

$$\text{твердости: } HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2},$$

Где P – нагрузка на пирамиду в Н;

d – среднее арифметическое обеих диагоналей отпечатка (в мм);

α – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136° .

Метод применяется для измерения твердости, как мягких, так и твердых методов толщиной до десятых долей мм.

Согласно ГОСТ 2999-85 толщина испытуемого образца должна быть не менее чем в 1,5 раза больше длины диагонали отпечатка для цветных металлов и в 1,2 раза для стальных изделий. На обратной стороне испытуемого образца после измерения твердости не должно быть заметно следов деформации.

Определение микротвердости.

При определении твердости мелких деталей, тонких металлических лент, проволоки, отдельных структурных сплавов, тонких поверхностных слоев, получаемых при азотировании или цианировании, слоев гальванических покрытий и т.п. устанавливается твердость небольших объемов, т.е. микротвердость (ГОСТ 94-50-86).

Для этого в испытуемый образец, установленный под микроскопом (с увеличением до $500\times$), вдавливаются алмазная пирамида с квадратным основанием. Нагрузка при вдавливании может колебаться в пределах 0,005 - 5 Н. Число твердости определяется по той же формуле, что и при испытании твердости алмазной пирамидой по Виккерсу.

Этот метод измерения применяется и при оценке твердости минералов, поэтому мы его рассмотрим ниже более подробно.

Определение твердости драгоценных камней.

Твердость камня – это сопротивление, которое оказывает его поверхность при попытке поцарапать его другим камнем или иным предметом; твердость представляет меру связности атомной структуры вещества. Каждый обладатель алмаза знает, что алмаз легко царапает оконное стекло. Если мы станем пробовать другие драгоценные камни, то обнаружится, что и они царапают стекло, но не так легко, а если продолжать этот эксперимент, мы установим, что топаз

царапает оконное стекло, но на самом топазе оставляет царапины корунд, который в свою очередь поддается всеильному алмазу. Следовательно, существуют значительные различия в способности драгоценных камней противостоять износу, т.е. камни различаются по твердости. Чтобы (узнать) способ выражения этого свойства, минералы Фридрих Моос разработал в начале прошлого века следующую условную шкалу, которая широко применяется до сих пор.

Шкала твердости по Моосу

1.	Тальк	4. Флюорит	7. Кварц
2.	Гипс	5. Апатит	8. Топаз
3.	Кальцит	6. Полевой шпат	9. Корунд 10. Алмаз

Для практических целей полезно запомнить, что ноготь оставляет царапины на гипсе и более мягких веществах и что обычное оконное стекло немного мягче полевого шпата, тогда как стальное лезвие ножа немного тверже полевого шпата приближаясь по твердости к кварцу, и легко царапает стекло. Поскольку различные виды драгоценных камней имеют по меньшей мере такую же твердость, как и кварц, их легко отличить от внешне на них похожих мягких стеклянных изделий с помощью напильника; до того как ввели в употребление рефрактометр, это был практически единственный в ювелирном деле способ проверки граненых камней.

Говоря, что камни имеют твердость 7, мы подразумеваем, что он не царапает кварц, а кварц не царапает его. Номер по шкале твердости указывает только на порядок в распределении по твердости, но не имеет какого-либо количественного значения. Это важно учитывать, так как здесь часто допускают ошибку. Нельзя, например, считать, что алмаз (10) вдвое тверже апатита (5) или что твердость топаза и шпинели (8) составляет 80% твердости алмаза. В действительности интервал между алмазом и корундом гораздо больше, чем между корундом и тальком – самым мягким из минералов. промежуточные степени твердости выражаются в виде дробей. Так, число $8\frac{1}{2}$, относящаяся к хризобериллу, означает, что он царапает топаз примерно так же, как сам царапается корундом. Гранат (пирон) несколько тверже кварца (7) и несколько мягче берилла ($7\frac{1}{2}$), поэтому его твердость обозначается как $7\frac{1}{4}$.

Вследствие особенностей атомной структуры, характерной для всех кристаллических веществ, твердость одного и того же камня может быть различной в разных направлениях. Большим различием твердости в разных направлениях среди других минералов выделяется кианит : твердость измеряется у него от 5 -7, и в одних направлениях образец царапается ножом, а в других нет. Однако для большинства веществ этот интервал настолько мал, что обычными способами обнаружить различие не удается.

Ювелиры установили, что образцы одних и тех же минералов, полученные из разных мест, отличаются друг от друга по сложности процесса огранки и полировки. Так, об алмазах с Калимантана и из Нового Южного Уэльса говорят, что они существенно тверже алмазов из Южной Африки и из других мест и что при их огранке возникают известные трудности. Установлено также, что цейлонские сапфиры тверже, чем рубины, а кашмирские сапфиры - мягче.

Хотя установление твердости мало помогает при определении драгоценного камня, сама эта характеристика очень важна для камня в украшениях, поскольку именно от твердости зависит долговечность его полировки и блеска. Обычная пыль - это в основном мельчайшие частицы кварца, поэтому твердость драгоценного камня должна быть не менее 7.

Испытание на твердость вполне подходит для того, чтобы отличить кварц и более твердые драгоценные камни от их стеклянных имитаций, поскольку последние легко поддаются действию напильника. Особенно полезно такое испытание в случае алмаза, потому что он, будучи гораздо тверже любого другого драгоценного камня, оставляет на стекле царапину значительно более глубокую, чем это можно сделать рубином или сапфиром.

Чтобы определить твердость кристалла алмаза и других драгоценных камней в абсолютном значении применяют метод измерения микротвердости, о котором мы уже говорили. При этом производится вдавливание в исследуемое тело алмазного индентора с

использованием прибора ПМТ, разработанного М.М. Хрущевым и Е.С. Берковичем. О величине твердости судят по величине полученного отпечатка.

Прибор Хрущева-Берковича представляет собой микроскоп, на тубусе которого смонтированы осветитель и корпус установки алмазной пирамиды.

Столик микроскопа микротвердомера может поворачиваться на 180° так, что образец, сначала помещаемый под острие алмазной пирамиды, после поворота переходит в поле зрения объектива, где и измеряется полученный отпечаток.

Применяются три вида инденторов:

- пирамида Виккерса с углом между противоположными гранями 136°;

- пирамида Кнупа с ромбическим основанием и углами при вершине между ребрами 130° и 172°30';

- трехгранная пирамида Берковича с углом при вершине между гранью и высотой 65°.

При пользовании вышеуказанными инденторами твердость рассчитывается по формулам:

$H = 1.854(P/D^2)$ (для индентора Виккерса)

$H = 1.732(P/h^2)$ (для индентора Берковича)

$H = 14,23(P/D^2)$ (для индентора Кнупа), где P - нагрузка H ; d и h – размеры отпечатка

(диагональ, высота), мм.

Для измерения твердости, например алмаза, наиболее целесообразно использовать индентор Кнупа, который позволяет получить четкие отпечатки без трещин в большом диапазоне нагрузок снизить погрешности измерения, связанные с нагружением и замерах отпечатков. Увеличение микротвердомера ПМТ-3 при этом должно быть 1000*, рекомендуемые нагрузки 0,5..2,0 Н.

Спайность.

Спайностью называется способность кристаллов раскалываться или расщепляться под действием приложенных сил по определенным кристаллографическим плоскостям. По степени совершенства различают следующие виды спайности:

- весьма совершенная спайность, когда минерал легко расщепляется на отдельные мельчайшие пластинки, чешуйки или листочки, ограниченные зеркально-гладкими блестящими поверхностями (слюда, тальк, гипс);

- совершенная спайность, когда кристалл раскалывается преимущественно по определенным кристаллографическим плоскостям (плоскостям спайности), этот вид спайности характерен для алмаза;

- несовершенная – спайность выражена слабо, при ударе минерал раскалывается на куски случайной формы с неровными поверхностями. Спайность в этом случае обнаруживается с трудом и проявляется лишь в виде небольших участков ровной поверхности на границе раскола. Несовершенная спайность характерна для кварца, оливина, серы.

- весьма несовершенная – спайность отсутствует. При ударе кристалл раскалывается по неопределенным направлениям и дает неправильные поверхности излома (корунд, золото, платина, магнетит).

В соответствии с симметрией кристаллы могут раскалываться в одной или нескольких плоскостях, причем степень спайности в различных плоскостях может быть различной.

Спайность неразрывно связана с особенностями кристаллической структуры. При расщеплении происходит раскалывание кристалла по определенным плоским сеткам кристаллической решетки. То, что алмаз, например, будет раскалываться по плоским сеткам октаэдра, можно подтвердить и следующим положением. Как известно, каждый атом углерода в кристаллической решетке алмаза соединен прочными связями с четырьмя окружающими его атомами.

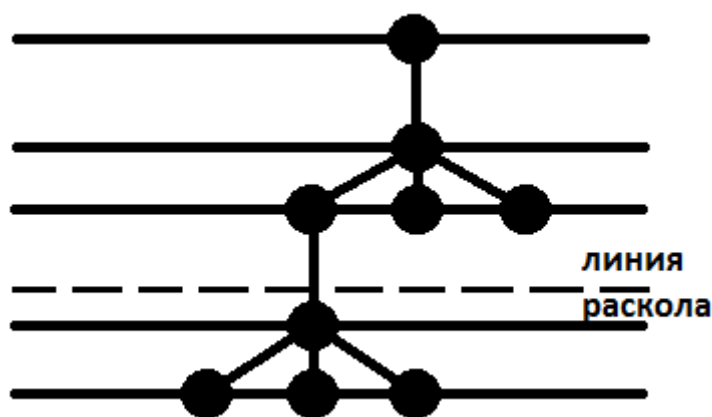


Рис.34- Спайность

Если мы рассмотрим расположение атомов в плоских сетках октаэдра, то станет ясно, что раскол алмаза будет проходить между двумя далеко отстоящими друг от друга плоскими сетками, а не между сближенными.

Совершенная спайность алмаза объясняет его повышенную чувствительность к ударным нагрузкам. В результате скалывания кристаллов по плоскостям спайности алмаза получают мелкие фигуры в виде октаэдров и тетраэдров, иногда появляются мелкие пластинки и столбики.

Однако, чтобы расколоть алмаз, требуются значительные усилия, о чем в сущности можно судить потому, что в давние времена надежным испытанием для выделения самого твердого из драгоценных камней считалось его сопротивление удару молотка. С другой стороны, топаз раскалывается так легко, что если постучать им по твердому предмету, в камне начинают возникать “перья” зарождающихся трещин. Кунцит – прекрасна сиреневая разновидность сподумена – так легко раскалывается по спайности, что при его огранке надо проявлять осторожность. Эвклаз также относится к драгоценным камням, огранка которых очень затруднена сильным развитием спайности.

Драгоценные металлы и сплавы. Методы пробирования.

Драгоценные металлы – это металлы, относящиеся к так называемой благородной группе – золото, серебро, платина и металлы платиновой группы (палладий, придий, рутений, осмий, родий). Название «драгоценные» они получили за высокую стоимость по сравнению с другими металлами, а «благородные» благодаря своей высокой химической стойкости во многих средах и красивому внешнему виду в готовых изделиях. В ювелирной промышленности используются золото, серебро, платина, а также сплавы на основах этих металлов.

Золото (Au) – химический элемент 1 группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 79, атомная масса 196,9665, основная валентность 3, плотность 19320 кг/м³, температура плавления 1336° К, кипения – 3243° К, твердость по Бринеллю в отожженном состоянии НВ 18..20.

Это металл красивого желтого цвета, тяжелый, мягкий, очень пластичный и тягучий, обладает хорошей отражательной способностью. Из одного грамма золота можно вытянуть проволоку длиной в 3,5 км или проковать в пластинку толщиной 0,0001 мм, которая пропускает свет. Такое тонколистовое золото имеет зеленоватый оттенок и носит название сусального, применяется для декоративных украшений.

Хорошо проводит тепло и электричество, химически весьма инертно. Не окисляется на воздухе, устойчиво при воздействии на него влаги, не реагирует со щелочами, солями, кислотами. Растворяется в смеси соляной и азотной кислот («царская водка»), в результате чего образуется золотохлористоводородная кислота $H(AuCl_4)$, а также в ртути, растворах цианистых щелочей, хлорной и бромной воде. Ювелирные украшения и предметы домашнего обихода, выполняемые из золота, известны с древнейших времен. В чистом виде используется очень редко

из-за невысокой твердости и прочности; в основном применяется в виде сплавов с другими металлами. Основная масса золота служит для обеспечения денежной системы и в различных отраслях промышленности. Так за 1980-1984г ежегодно на мировой рынок поступило приблизительно 1439 т золота, в том числе 294 т от скупки у населения лома ювелирных изделий и восстановления использованного в промышленности металла. Так вот промышленность поглощала ежегодно приблизительно 1011т (70%), в том числе ювелирная 795т (55%). На долю тезаврации оставалось в среднем 498т (30%) [Тезаврация – это накопление золота (в слитках и монетах) в качестве сокровища, сюда же относится создание золотого запаса центральными банками и казначействами]. Помимо ювелирного дела крупными потребителями являются электронная промышленность (98т или 7%) и зубопротезное дело (58т или 4%). Остаток промышленного потребления приходится не большое число отраслей, начиная от космической технологии и заканчивая позолоченной посудой.

Серебро (Ag) – химический элемент I группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 47, атомная масса 107,868, валентность I,II, плотность 10500 кг/м³, температура плавления 1233°K, твердость по Бринеллю HB 25.

Это белый металл, пластичный, тягучий и ковкий. Отлично полируется, имеет самую высокую среди металлов отражательную способность (90...99%), электро- и теплопроводность, стойкий химически. В атмосфере воздуха не окисляется. Часто наблюдаемое почернение серебряных предметов – результат образования на их поверхности налета сульфида серебра Ag_2S . Это происходит под влиянием содержащегося в воздухе сероводорода, а также при соприкосновении серебряных предметов с пищевыми продуктами, содержащими соединения серы. Растворяется азотной и подогретой серной концентрированной кислотами, а также цианистыми солями; не растворяется в “ царской водке ”, плавиковой и соляной кислотах.

Применяется для изготовления различных художественных изделий методами чеканки, литья, гравировки; в электротехнической, химической промышленности и др. Используется в качестве защитного и декоративного гальванопокрытия. Серебро – основной компонент при составлении большинства твердых припоев. В чистом виде применяется редко (в основном в сплавах с другими металлами).

Платина (Pt) – химический элемент третьей триады VIII группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 78, атомная масса 195,09, валентность II,IV, плотность 21450 кг/м³, температура плавления 2042°K, кипения-4803°K, твердость по Бринеллю- HB47.

Это серовато-белый блестящий металл, очень стойкий химически, тяжелый, тугоплавкий, пластичный, ковкий, с большой отражательной способностью и низкой тепло- и электропроводностью. Легко поддается прокатке, штамповке. Практически не растворяется в кислотах, за исключением горячей “царской водки”, цианистого калия и расплавленных щелочей.

На воздухе даже при сильном накаливании не окисляется и сохраняет свой первоначальный цвет. В расплавленном виде платина и некоторые другие металлы платиновой группы (Pd, Ru) обладают способностью поглощать в большом количестве водород, в результате чего становятся хрупкими с трещинами на поверхности.

Платина принадлежит к числу наиболее редких элементов земной коры, обладающих высокими физико-химическими показателями. Благодаря этому она широко применяется в различных областях техники (для изготовления коррозионностойких, тугоплавких деталей машин, аппаратуры, лабораторной посуды; нагревательных элементов электрических печей, приборов для измерения температуры (термометры сопротивления, термопары). Большое количество платины используется в ювелирном деле (для платинирования и изготовления дорогих украшений).

Палладий (Pd) – химический элемент второй триады VIII группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 46, атомная масса 106,4, валентность III, плотность 11970 кг/м³, температура плавления 1825°K, кипения-4253°K, твердость по Бринеллю – HB49. Входит в состав группы платиновых металлов, которая включает родий, рутений, иридий, осмий.

Это серовато-белый металл, мягкий и ковкий. По своим химическим и физическим свойствам значительно уступает платине. Растворяется в азотной кислоте и “царской водке”. На

воздухе не окисляется, но при нагревании от 400 до 860°K покрывается светло-фиолетовым окисным слоем. Спиртовой раствор йода оставляет на нем темные пятна.

В природе встречается вместе с другими платиновыми рудами. Чистый палладий идет на изготовление реторт для перегонки плавиковой кислоты, сосудов для разделения изотопов. Сплав с серебром применяют в аппаратуре связи, сплавы с золотом, платиной, родием- в термопарах, сплавы с золотом, серебром, никелем и другими элементами – в ювелирном деле и зубопротезировании. Используют в составе лигатур(металлов, входящих в сплав) белого золота и иногда добавляют в сплавы платины для придания им большей твердости и прочности, применяют как компонент высокотемпературных припоев.

Родий(Rh)– химический элемент второй триады VIII группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 45, атомная масса 102,9055, валентность III, плотность 12420 кг/м³, температура плавления 2233°K, кипения - 4773°K, твердость по Бринеллю – HB139.

Это голубовато-белый металл, твердый, тугоплавкий, имеет высокую отражательную способность, при накаливании пластичный, поддается обработке давлением. Химически очень пассивен, не окисляется на воздухе, в воде, не взаимодействует с кислотами и их смесями. Растворяется в щелочных растворах цианидов. Кислород, сера, фосфор, хлор, фтор на него не действуют.

В природе родий встречается вместе с платиной и другими платиновыми металлами. Применяется для гальванических покрытий серебряных и золотых(белый) изделий, а также в сплавах с платиной(катализаторы, термопары, химическая посуда и др.)

Рутений(Ru)– химический элемент второй триады VIII группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 44, атомная масса 101,07, валентность III,V,VIII, плотность 12200 кг/м³, температура плавления 2523°K, кипения - 5173°K, твердость по Бринеллю – HB220. Это серовато-белый тугоплавкий металл. Обладает высокой твердостью и хрупкостью. Химически очень стоек. Сплавы рутения отличаются твердостью и износоустойчивостью. Из них изготавливают наконечники перьев, лабораторную посуду и др. Особая область использования рутения – точное приборостроение.

Иридий(Ir)– химический элемент третьей триады VIII группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 77, атомная масса 192,22, валентность III,IV,VI, плотность 22400 кг/м³, температура плавления 2683°K, кипения - 5573°K, твердость по Бринеллю – HB164. Это серебристо-белый металл, обладает высокой твердостью и хрупкостью. С трудом поддается обработке (только в раскаленном состоянии – давлением). Не вступает в реакцию со щелочами, кислотами и их смесями. Благодаря коррозионной стойкости и жаростойкости (в сплавах с платиной, родием и др.) служит ценным материалом для химической аппаратуры. Из сплава платины (90%) и иридия (10%) изготовлены эталоны метра и килограмма.

Осмий(Os)– химический элемент третьей триады VIII группы периодической системы элементов Менделеева, атомный номер 76, атомная масса 190,2, валентность IV,VI,VIII, плотность 22500 кг/м³, температура плавления 3323°K, кипения - 5773°K, твердость по Бринеллю – HB400. Это белый с серо-голубым оттенком металл, тугоплавкий, тяжелый, твердый и хрупкий. Не поддается механической обработке. Химически очень стоек: не растворяется в кислотах и “ царской водке”. Благодаря высокой твердости, коррозионной устойчивости и износостойкости осмий и его сплавы используются в различных изнашивающихся деталях точных измерительных приборов, для изготовления перьев в авторучках и др.

Сплавы драгоценных металлов.

Для изготовления ювелирных и других изделий не всегда используют чистые металлы. Это обусловлено их высокой стоимостью, недостаточной твердостью и износостойкостью, поэтому на практике чаще всего употребляют сплавы. Последние образуются путем соединения металлов с металлами или металлов с металлоидами и приобретают свойства, отличающиеся от свойств чистых металлов. Меняя компоненты можно изменять различные свойства металла – твердость, прочность, пластичность, цвет, коррозионную стойкость и др. Наибольшее число сплавов и легирующих компонентов имеет золото, затем серебро, платина и палладий.

Сплавы золота. В качестве легирующих компонентов в состав золотых сплавов входят серебро, медь, палладий, никель, платина, кадмий, цинк.

-**серебро** в составе сплава сохраняет пластичность, мягкость, ковкость, понижает температуру плавления. При содержании его до 65% цвет золота становится зеленоватым, желто-зеленым, желто-белым; свыше 65% - желтый цвет исчезает полностью.

-**медь** повышает твердость золотого сплава, сохраняет ковкость, тягучесть, меняет цвет в сторону красного. При содержании 14,6% меди сплав имеет ярко-красный цвет. Недостаток – малая устойчивость против коррозии на воздухе.

-**палладий** повышает температуру плавления золотого сплава, сохраняет пластичность и ковкость, резко изменяет цвет.

-**никель** сохраняет ковкость, придает твердость, повышает литейные свойства, меняет цвет сплава в бледно-желтый. Большое содержание никеля делает сплав магнитным.

-**платина** резко повышает температуру плавления, увеличивает упругость сплава, изменяет цвет до белого уже при содержании 8,4% платины.

-**кадмий** понижает температуру плавления, сохраняет ковкость, пластичность, мягкость, меняет цвет сплава в зеленоватый.

-**цинк** резко понижает температуру плавления, делает сплав твердым, хрупким, повышает тягучесть, изменяет цвет в сторону белого.

Сплавы серебра. Сплавы серебра, используемые для изготовления ювелирных украшений и бытовых ювелирных изделий, имеют один легирующий компонент – медь. Она повышает твердость сплава, сохраняет пластичность, ковкость, тягучесть. Цвет сплава – ярко-красный.

Сплавы платины. Составляются в двух вариантах: легирующими компонентами являются медь или иридий. 5% меди в платиново-медном сплаве понижают температуру плавления, сохраняя мягкость, тягучесть и пластичность; 5% иридия – повышает температуру плавления, твердость, антикоррозионность, износостойкость. Цвет сплавов характерен для платины. Применяют сплавы платины для изготовления дорогостоящих ювелирных украшений, лабораторной посуды, способной выдержать высокие температуры.

Пробы. Определение проб.

Основная масса драгоценных металлов идет на сплавы. В связи с этим, для определения количестве чистого драгоценного металла в сплаве в Западной Европе и России начали ставить клеймо на изделие, в состав которых входили драгоценные металлы. Клеймо указывало, сколько чистого драгоценного металла содержится в сплаве, из которого изготовлено изделие.

В России первый указ о клеймении серебряных изделий был издан в 1613г. В 1700г появился указ, установивший клейма (пробы) для золотых и серебряных изделий и введший надзор за мастерами и торговцами. Было принято четыре пробы для золота: первая выше червонного; вторая – против червонного; третья и четвертая – ниже червонного. Затем была введена русская золотниковая (цифровая) система пробы, обозначающая количество чистого драгоценного металла в сплаве взлотниковым измерении (1 золотник = 4,25г; 1 фунт = 96 золотников): для золота – 36, 48, 56, 72, 82, 92 и 94-я; для серебра – 72, 76, 84 и 88-я. Например, 82-я золотая проба означала, что на один фунт (т.е. 96 золотников) сплава приходится 82 золотника чистого золота – остальное лигатура.

В 1927г в связи с переходом на метрическую систему единиц в нашей стране золотниковая система проб была заменена метрической (количество чистого драгоценного металла выражается в граммах на 1 кг сплава). В Республике Беларусь в настоящее время узаконены следующие пробы: для золота – 375, 500, 585, 750, 958; для серебра – 800, 875, 916, 985; для платины – 950; для палладия – 500, 850. Например, 750-я золотая проба означает, что 1 кг сплава содержит 750г чистого золота, т.е. 75%.

В некоторых странах (Англия, Швейцария и др.) для определения проб золотых изделий пользуются каратной системой, где исчисление ведется от 24 единиц сплава. Металл высшей чистоты отвечает 24-й пробе.

Пробы каратной системы: 6к, 8к, 10к, 12к, 14к, 18к, 22к. Золотая проба 18к означает, что в 24 единицах сплава содержится 18 единиц чистого золота (приблизительно 750 метрич. пробе).

Определение проб.

Пробы сплавов драгоценных металлов гарантируются государством и устанавливаются в каждой стране законодательным путем. Все изделия из драгоценных сплавов обязательно проходят пробирный контроль, и на них накладываются оттиски пробирных клейм. Занимается этим специально утвержденная Инспекция пробирного надзора Министерства финансов. Проба ставится также на слитках и полуфабрикатах (листах, лентах) из драгоценных металлов. Не подлежат клеймению наградные медали, ордена, монеты, но проба их сплавов строго регламентирована и контролируется. Форма и рисунки пробирных клейм в разных странах различные. Это может быть эмблема страны, города, сочетающаяся с цифрами пробы или с условными цифрами, где каждая соответствует определенной пробе. Высокохудожественные изделия, на которые невозможно наложить клеймо, снабжаются специальной привешенной к ним пломбой.

Анализы изделий и сплавов из драгоценных металлов производят разными способами. Наиболее распространенные:

- На пробирном камне (менее тяжелый);
- Муфельный (более тяжелый);

Пробирование на пробирном камне.

Для проведения пробирного анализа необходимы: пробирные камни, иглы и реактивы.

Пробирный камень – природная разновидность мелкозернистого кремнистого сланца без трещин и инородных включений с хорошо отшлифованной матовой поверхностью. Содержит свыше 70% кремнезема (SiO_2), а также глинистые минералы слюды и др. Цвет темный до черного. Камень должен обладать высокой стойкостью против действия неорганических кислот и их смесей.

Пробирные иглы – латунные полоски длиной около 6 см, к передним концам которых припаяны маленькие полоски из сплава драгоценных металлов с точно известной пробой, наклеенной на латунной части иглы. Вследствие разницы содержания легирующего металла для каждой пробы существует несколько различных по цвету игл.

При определении золотых сплавов применяют иглы 375,500,585,750,958-й проб. Сплав 585-й пробы, самой распространенной и разнообразной по цвету, имеет 15 номеров игл; 375 и 500-й проб- по шесть номеров игл; 750-й – пять; 958-й – три. Для серебряных сплавов существуют иглы из серебряно-медных сплавов различных проб : 800;875 и 916. А также промежуточных – 500;600;650;700 и 750.

Платиновые сплавы определяют иглами трех проб : 950 – узаконенная, 970 и 930 – контрольные. Производство пробирных игл, реактивов для анализа осуществляется только органами пробирного надзора.

Пробирные реактивы – это водные растворы солей, содержащие испытуемые сплавы, растворы кислот и их смесей. Передпробирование изделий пробирный камень очищают древесным углем и водой, смазывают ореховым или костяным маслом, затем насухо протирают. Испытываемым изделием или сплавом на поверхность камня наносится черта (штрих) длиной 15...20 мм и шириной 2...3 мм. Пробирной иглой из того же драгоценного металла, сходного по цвету, параллельно наносится такая же черта. Затем с помощью стеклянной палочки соответствующим реактивом увлажняют следы, оставленные драгоценными металлами, прочеркивая их поперек. Камню дают высохнуть и по пятнам осадка, оставшегося на штрихах, определяют соответствие пробы данного изделия пробирной игле. Если оставленные раствором пятна одинаковы, то проба изделия или сплава соответствует пробе выбранной иглы. След, имеющий более темное пятно, показывает более низкое содержание драгоценного металла. Для пробирования золотых изделий применяют: растворы хлорида золота - 585-я проба; кислотные

реактивы для всех остальных проб. Для пробирования серебряных изделий – растворы двуххромовокислого калия – 600-я проба и выше; азотнокислого серебра – 750,800,875 и 916. Для пробирования изделий из платины: кислотные реактивы, соответствующие реактиву для пробирования золота 958-й пробы; для изделий из сплавов палладия – реактив йодида калия.

Пробирование муфельным способом.

Муфельный способ пробирования основан на химической пассивности к кислороду драгоценных металлов в сплавах. Заключается он в сплавлении испытуемого изделия с металлическим свинцом. Полученный сплав (веркблей) подвергается дальнейшей обработке, купелированию и окислительному процессу, в результате которого происходит отделение драгоценных металлов от недрагоценных. Данный процесс протекает при высокой температуре в пористом огнеупорном сосуде – купели. Последний изготавливают из чистой костяной муки или магнезита с цементом.

Оксиды свинца и легирующих элементов всасываются купелью, а драгоценные металлы остаются на поверхности в виде блестящего металлического королька. Процесс купелирования происходит следующим образом: купели помещают в муфельную печь, разогретую до 1123°K, а затем на раскаленных купелях размещают веркблей. Свинец начинает плавиться, покрываясь тонкой пленкой. Окончание купелирования характеризуется цветением королька (на несколько секунд появляются радужные круги) и бликованием королька (яркий блеск вследствие испускания скрытой теплоты плавления). Затем корольек затвердевает и процесс купелирования заканчивается. Затвердевший корольек, содержащий золото и серебро, помещают в азотную кислоту, которая растворяет серебро и другие легирующие металлы, не воздействуя на золото. Оставшийся осадок просушивают, прокаливают и взвешивают на пробирных весах. Пробу сплава определяют по массе сплавленного осадка.

Использованные источники

1. Г. Смит «Драгоценные камни», Москва, изд. «Мир», 1980
2. Б. Андерсон «Определение драгоценных камней», Москва, изд. «Мир камня», 1996
3. В. И. Епифанов, А.Я. Песина, Л.В. Зыков «Технология обработки алмазов в бриллианты», Москва, изд. «Высшая школа», 1987
4. И.Ф. Шишкин «Теоретическая метрология», Ленинград, 1983
5. С.Ф. Машков, Н.И. Тгорин «Введение в метрологию», Москва, изд. стандартов, 1966
6. Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков «Основы метрологии», Москва, изд. стандартов, 1972
7. Г.А. Шнейдер «Основы художественной обработки металла», Минск, изд. «Вышэйшая школа», 1986