

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ПРОГРЕССИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования Российской Федерации
ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРЕССИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Лабораторные работы

Тамбов
Издательство ТГТУ
2003

ББК 22.3я73
УДК 53 (075.8)
П41

Утверждено редакционно-издательским советом университета

Рецензент
Кандидат физико-математических наук, доцент
А.М. Савельев

П41 Теоретические основы прогрессивных технологий: Лаб. работы / Сост.: В.Ф. Попов, В.А. Пручкин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 24 с.

Представлены лабораторные работы по геометрической и волновой оптике, основам термодинамики, строению и свойств твердых тел и жидких растворов.

Предназначены для студентов дневного и заочного отделений специальностей 060400, 160500, 160600.

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2003

Учебное издание

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРОГРЕССИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Лабораторные работы

Составители: **Попов** Владимир Федорович,
Пручкин Владимир Аркадьевич

Редактор В.Н. Митрофанова
Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано к печати 5.12.2003
Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Печать офсетная
Гарнитура Times New Roman. Объем: 1,39 усл. печ. л.; 1,37 уч.-изд. л.
Тираж 200 экз. С. 818

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Цель работы: определение скорости снаряда.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕСЫ, МАЯТНИК С УГЛОМЕРОМ, МЕТАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, СНАРЯД, ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ.

Методические указания

В работе исследуется неупругое взаимодействие снаряда, вылетающего из метательного устройства и маятника. Для этого проводится серия экспериментов, в ходе которых необходимо фиксировать угол отклонения маятника α (рис. 1.1).

Принимаем, что нить абсолютно жесткая и невесомая. Сопротивлением воздуха пренебрегаем. Для нахождения скорости снаряда используем закон сохранения энергии

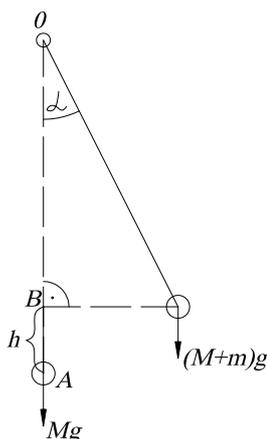
$$\frac{mv^2}{2} = (M + m)gh, \tag{1.1}$$

ГДЕ M – МАССА СНАРЯДА, КГ; M – МАССА МАЯТНИКА, КГ; H – ВЫСОТА ПОДЪЕМА МАЯТНИКА СО СНАРЯДОМ ПОСЛЕ НЕУПРУГОГО УДАРА, М; G – УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ, 9,81М/С².

**ВЫСОТА ПОДЪЕМА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СО
СЛЕДУЮЩИХ**

$$h = AB = AO - OB;$$

$$OB = AO \cos\alpha.$$



**МАЯТНИКА ПОСЛЕ НЕУПРУГОГО
СНАРЯДОМ ОПРЕДЕЛИТСЯ ИЗ
СООТНОШЕНИЙ:**

$$\tag{1.2}$$

$$\tag{1.3}$$

Порядок выполнения работы

- 1 Измерить длину нити от маятника.
- 2 Определить массы
- 3 Провести серию экспериментов по определению угла отклонения маятника.

точки подвеса до места крепления к маятнику снаряда и маятника.

№ п/п	Рис. 1.1 Схема экспериментальной						
α							

- 4 Результаты экспериментов занести в таблицу.
- 5 Используя формулы (1.1 – 1.3), находим скорость снаряда.

Содержание отчета

- 1 Схема экспериментальной установки.
- 2 Таблица с данными эксперимента.
- 3 Расчеты скорости снаряда.

- 1 Законы сохранения.
- 2 Законы динамики.
- 3 Гармоническое колебательное движение и его уравнения.
- 4 Математический и физический маятники.
- 5 Вынужденные колебания. Резонанс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Савельев И. В. Курс физики. М.: Наука. 1989. Т. 1. С. 17 – 111.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОСКОПОВ

Цель работы: изучить устройство и ознакомиться с работой на световых и электронных микроскопах.

Приборы и принадлежности: световые микроскопы на просвет и на отражение, просвечивающий электронный микроскоп, объект-микрометр, окуляр-микрометр, образцы для наблюдения микроструктуры.

Часть 1 Изучение световых микроскопов

Методические указания

Световой микроскоп предназначен для формирования изображения структур, мелкие детали которых нельзя различить невооруженным глазом, и для измерения линейных размеров этих деталей. Для этого видимое изображение должно быть увеличенным, достаточно контрастным и, кроме того, должно обеспечивать правильное воспроизведение характерных особенностей рассматриваемых структур.

По принципу действия микроскопы делятся на просвечивающие и универсальные (рис. 2.1).

В микроскопе на просвет исследуемый объект помещенный на предметный столик микроскопа, освещают световым пучком. Свет частично рассеивается на верхней и нижней поверхностях образца, преломляется и поглощается в его теле. Различие в оптических свойствах отдельных участков объекта обуславливает разную интенсивность прошедших лучей. В результате получается "теневое" изображение объекта.

В микроскопе на отражение исследуемый объект помещают на полированную гладкую поверхность обычно непрозрачного объекта. Очевидно, что в этом случае на полированной гладкой поверхности нельзя различить детали микроструктуры. Поэтому при работе "на отражение" объект специально приготавливают с целью создания микрорельефа, связанного с его внутренним строением.

Одной из важнейших характеристик любой оптической системы, в том числе и микроскопа, является увеличение M . В общем случае его можно определить по формуле

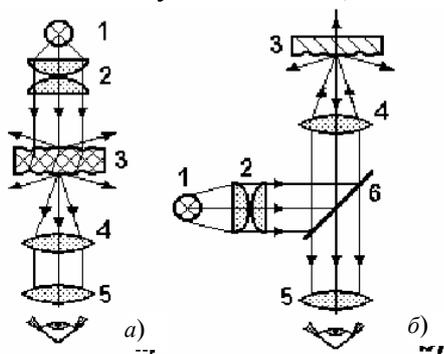


Рис. 2.1 Схема микроскопов на просвет (а) и отражение (б):

- 1 – источник света; 2 – конденсор;
- 3 – объект; 4 – объектив; 5 – окуляр;
- 6 – полупрозрачное зеркало

В результате – изображение объекта. В результате – изображение объекта.

отражение контраст изображения гашения или отражения света на

отражение контраст изображения гашения или отражения света на

$$M = M_{об} M_{ок} = \frac{l_{туб}}{F_{об}} \frac{250}{F_{ок}}, \quad (2.1)$$

где $M_{об}$, $M_{ок}$ – увеличение объектива и окуляра; $l_{туб}$ – оптическая длина тубуса; $F_{об}$ и $F_{ок}$ – фокусные расстояния объектива и окуляра. Если в формировании изображения участвует еще одна линза (промежуточная), в формуле (2.1) появится новый множитель и т.д.

Следует учитывать, что оптическую длину тубуса часто не удастся измерить точно, особенно при фотографировании, и это вносит определенные погрешности в расчет увеличения по формуле (2.1). Для определения истинного масштаба изображения используют специальные тарированные шкалы – объект-микрометры.

Согласно (2.1) как будто имеется возможность неограниченного повышения масштаба увеличения в световом микроскопе. Однако рост масштаба увеличения, начиная с некоторого предельного значения, не позволяет получить четкого контрастного изображения, различить наиболее мелкие детали объекта. Это нельзя объяснить геометрической оптикой. Если же рассматривать распространение света как волновой процесс, то существование такого предела легко объяснимо.

Впервые такой волновой подход использовал ученый-оптик Эрнст Аббе, который ввел понятие разрешающей способности линзы. Ее показателем является разрешаемое расстояние d_p – наименьшее расстояние между двумя точками объекта, при котором они воспринимаются раздельно, не сливаясь в одно пятно. По формуле Аббе

$$d_p = k\lambda/A \approx \lambda/2, \quad (2.2)$$

где $k = 0,6 \dots 0,8$ – постоянная (качество оптики); λ – длина волны излучения, используемого для освещения объекта; A – числовая апертура объекта, $A = n \sin \theta$, где n – коэффициент преломления; θ – апертурный угол, равный половине угла, вершина которого лежит на объекте, а основание опирается на диаметр объектива. Фокусное расстояние (или увеличение) и числовая апертура обычно указаны на объективе. Чем меньше d_p , тем больше (лучше) разрешающая способность. Из выражения (2.2) следует, что имеются только два пути уменьшения разрешаемого расстояния: либо увеличить числовую апертуру, либо уменьшить длину волны используемого света.

В световом микроскопе разрешаемое расстояние обычно не менее 200 мкм, так как наименьшая длина волны видимого света составляет примерно $\lambda = 400$ нм и наибольшая числовая апертура достигает примерно 1,4. В действительности оно оказывается еще большим из-за aberrаций второго порядка (хроматическая и сферическая aberrации, астигматизм, дисторсия и кома). В поисках излучения с меньшей длиной волны необходимо выйти за пределы электромагнитного спектра и вступить в область частиц (электронная микроскопия).

Порядок выполнения работы

1 С помощью преподавателя или лаборанта ознакомиться с устройством отражающего и просвечивающего микроскопов.

Внимание! При работе с микроскопом очки следует снять.

Для настройки микроскопа по зрению оператора следует включить его освещение и, вращая глазную линзу окуляра, получить резкое изображение окулярной шкалы.

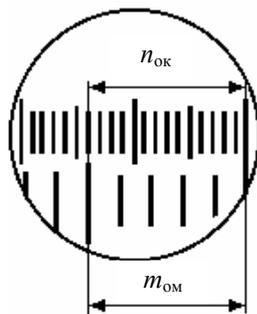


Рис. 2.2 Схема определения

цены деления окуляра микроскопа

Затем рукоятками грубой и тонкой настройки сфокусировать изображение образца, установленного на предметном столе микроскопа.

2 Зарисовать участок образца, указанный преподавателем и измерить линейные размеры одного из его фрагментов с помощью шкалы окуляр-микрометра микроскопа:

– повернуть окуляр вокруг его оптической оси так, чтобы его шкала стала параллельно измеряемому фрагменту;

– подсчитать число делений шкалы, укладываемое на выбранном фрагменте.

3 Определить цену деления шкалы окуляра, пользуясь следующими указаниями:

– объект-микрометр (ОМ) поместить на предметный столик микроскопа вместо объекта и вращением ручек грубой и тонкой настройки получить резкое изображение его шкалы;

– совместить изображение шкалы ОМ с изображением шкалы окуляра (рис. 2.2), что достигается перемещением предметного столика микроскопа и поворотом всего окуляра в его тубусе;

– после совмещения шкал подсчитать число делений ОМ, укладываемых в некоторое число делений шкалы окуляра при полном совпадении крайних выбранных рисок;

– цена деления окулярной шкалы показывает расстояние на объекте, соответствующее минимальному делению окуляра и определяется по формуле

$$x = \frac{m_{\text{ом}} \cdot 0,01}{n_{\text{ок}}}, \quad (2.3)$$

где $m_{\text{ом}}$ и $n_{\text{ок}}$ – число совмещенных делений ОМ и окуляра; 0,01 мм – цена деления ОМ.

Внимание! Микроскоп и объект-микрометр являются точными, дорогостоящими оптическими приборами. При работе с ними запрещается прикасаться к поверхности линз, развинчивать оптику, вращать винты грубой и особенно тонкой наводки рывками, с большим усилием.

4 Рассчитать размеры деталей объекта, умножив полученную длину (в делениях) на цену деления.

Содержание отчета

- 1 Название и цель работы.
- 2 Тип и марка микроскопа, обозначения на объективах и окулярах.
- 3 Порядок определения цены деления окуляра и окуляр-микрометра.
- 4 Рисунок объектов с указанием масштаба.
- 5 Указать цену деления шкалы окуляра и увеличение микроскопа.

Контрольные вопросы

- 1 Характеристики микроскопа: увеличение и разрешающая способность.
- 2 Как определить цену деления шкалы окуляра и лимба барабанчика окуляр-микрометра?
- 3 Типы микроскопов. Формирование изображения в микроскопе на просвет и на отражение.

Список литературы

- 1 Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1987. Т. 2. С. 422 – 424.

Часть 2 Знакомство с устройством и работой электронного микроскопа

Методические указания

Создание электронного микроскопа связано ¹ с созданием в конце XIX в. электроннолучевой трубки (ЭЛТ). В первой осциллографической ЭЛТ, ² изготовленной в 1897 г. К. Ф. Брауном, электронный пучок отклонялся магнитным полем. Отклонение β с помощью электростатического поля осуществил в своих опытах по определению массы Дж. Томсон, пропуская помещенный внутри ЭЛТ. В 1899 применил для фокусировки изолированной проволоки, по Однако лишь в 1926 г. немецкий смотрел движение заряженных катушки и показал, что она электронно-оптических является электронной линзой (магнитных и созданию электронного которых формируются правильные изображения объектов – либо иным образом воздействующих

Для решения большинства рассматривать движение классической механики, так задачах практически не приближении она носит название обусловлено наличием глубокой световых лучей, которая выражаемых частиц в электрических и поведению пучков лучей света в Однако при оценке разрешающей способности электронного микроскопа, привлекаются методы квантовой механики.

В электронных микроскопах широко применяются электрические и магнитные поля, обладающие симметрией вращения относительно оптической оси системы. Аналогом световых линз в них используются электромагниты с полюсами в форме тел вращения или тороидальные катушки с намоткой из изолированной проволоки, по которой пропускается электрический ток (рис. 2.3), величина которого определяет увеличение каждой линзы.

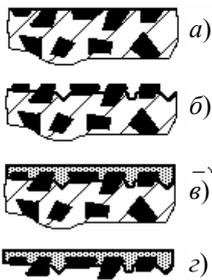
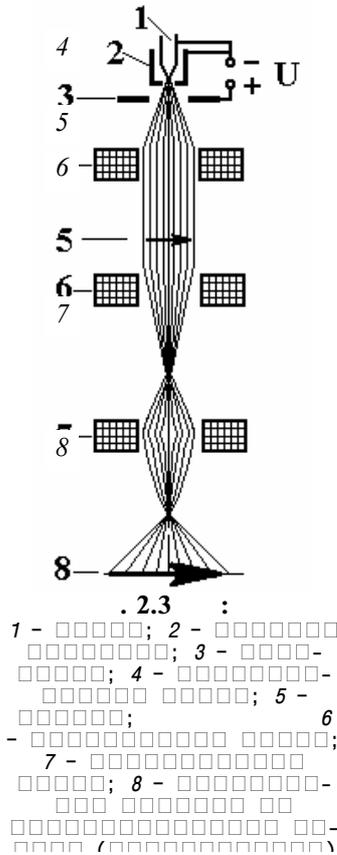


Рис. 2.4 Получение реплики с извлечением второй фазы:
 а – шлиф; б – шлиф после травления; в – напыление углеродной маски; г – растворение



отношения заряда электрона к его пучок через плоский конденсатор, г. немецкий физик И. Э. Вихерт электронного пучка в ЭЛТ катушку из которой протекал электрический ток. ученый Х. Буш теоретически рассчитали в магнитном поле такой пригодна для получения правильных изображений и, следовательно, (ЭЛ). Последующая разработка электростатических) открыла путь к микроскопа и ряда других приборов, в ные электронно-оптические испускающих электроны, либо тем или на электронные пучки.

задач электронной оптики достаточно заряженных частиц в рамках как волновая природа частиц в этих проявляется. В таком пригеометрической оптики, что аналогии с геометрической оптикой ется в том, что поведение пучков зарядмагнитных полях во многом подобно неоднородных оптических средах.

Существенным недостатком просвечивающего электронного микроскопа является сильное поглощение электронного пучка объектом. Поэтому обычно для исследований используют или очень тонкие слои материала ($\approx 0,1$ мкм) или так называемые "реплики" (рис. 2.4). Яркость изображения (она определяется энергией электронов, пролетающих через объект) зависит от ускоряющего напряжения U . Обычно оно составляет сотни, а в самых мощных микроскопах – миллионы Вольт.

Электроны разгоняются в таких полях до очень большой энергии

$$W = eU = 1/2mv^2 \quad (2.4)$$

и скоростей, при которых сказывается их двойственная природа ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона).

Луи де Бройль (1924 г.) показал, что движение электрона или какой-либо другой частицы связано с волновым процессом, длина волны которого

$$\lambda = 2\pi\hbar/mv, \quad (2.5)$$

где $\hbar = 0,659 \cdot 10^{-15}$ эВ · с – постоянная Планка; v – скорость частицы.

Из уравнений (2.4) и (2.5) можно получить зависимость длины электронной волны от ускоряющего напряжения, позволяющую оценить разрешающую способность электронного микроскопа (согласно формуле 2.2)

$$\lambda = \frac{12\,390}{U}, \quad (2.6)$$

где λ – длина волны, Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10}$ м); U – напряжение, В.

Порядок выполнения работы

1 С помощью преподавателя или лаборанта ознакомиться с устройством и работой просвечивающего электронного микроскопа.

2 Нарисовать график зависимости увеличения микроскопа от тока проекционной линзы.

3 Зарисовать структуру объекта с экрана микроскопа. Записать применяемое ускоряющее напряжение и увеличение микроскопа.

4 С помощью формулы (2.6) посчитать длину электронной волны при ускоряющих напряжениях 10 000 – 100 000 В (с шагом 10 000 В) и построить график $\lambda = f(U)$.

Содержание отчета

1 Название и цель работы.

2 Тип и марка микроскопа, ускоряющее напряжение, ток в линзах.

3 График зависимости увеличения микроскопа от тока проекционной линзы. Рисунок объектов с указанием масштаба.

4 График зависимости длины электронной волны от ускоряющего напряжения $\lambda = f(U)$.

Контрольные вопросы

1 Устройство электронного микроскопа.

2 Принцип действия электронного микроскопа.

3 Как влияет величина применяемого ускоряющего напряжения на разрешающую способность электронного микроскопа?

Список литературы

1 Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1979. Т. 3. С. 62 – 65.

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ РЕАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомиться со свойствами и структурой кристаллов. Изучить дефекты в реальных кристаллах и их влияние на свойства материала.

Приборы и принадлежности: оптические микроскопы, монокристаллы и поликристаллы различных материалов, реактивы для выявления дислокаций методом травления в LiF или NaCl, объект-микрометр.

Методические указания

Кристаллом называют бесконечное упорядоченное расположение атомов в пространстве.

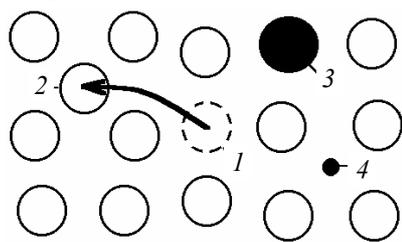


Рис. 3.1 Точечные дефекты в кристаллах:
1 – вакансия; 2 – межузельный атом;
3 – атом замещения; 4 – атом внедрения

Важнейшим свойством всех кристаллических материалов является анизотропия свойств – зависимость свойств материала от направления. Это объясняется тем, что в каждом направлении в кристалле расстояние между атомами или молекулами, а значит и силы взаимодействия между ними будут строго определенными. Это проявляется прежде всего в свойствах кристаллов самоограняться. Другой важнейшей характеристикой является постоянство углов между сходными гранями у монокристаллов одного и того же вещества, где бы их не обнаружили – в природе или изготовили искусственно. Это является следствием важнейшего свойства всех

кристаллических веществ – трансляционной симметрии. Согласно ей любой кристалл можно представить составленным из множества одинаковых кирпичиков – элементарных ячеек.

Реальные кристаллы содержат большое количество нарушений в упорядоченном расположении атомов. По их величине (в сравнении с размером атома) дефекты разделяют на точечные, линейные, плоские (поверхностные) и объемные.

Точечные дефекты (межузельные атомы, вакансии, атомы замещения и внедрения) малы по своим размерам и не видимы даже в самом мощном оптическом микроскопе (рис. 3.1). Однако своим присутствием они искажают кристаллическую решетку, поэтому меняют свойства материала. Управляя количеством точечных дефектов (например, с помощью термической обработки) можно получить необходимый уровень свойств материала.

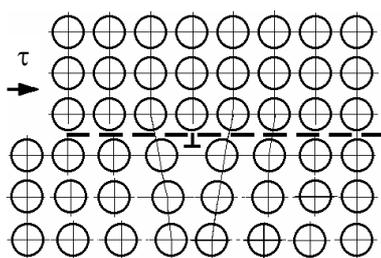


Рис. 3.2 Краевая дислокация в кристалле

Дислокации (линейные несовершенства) также соизмеримы с размерами атома в двух направлениях, но в третьем – могут простираются через весь кристалл. Это важнейший вид дефектов кристаллического строения (рис. 3.2). Он определяет физические и особенно механические свойства металлов и неметаллов. Пластическая деформация в кристаллах происходит за счет движения и размножения дислокаций. Если дислокаций мало или они не могут двигаться (закреплены), материал будет твердым и хрупким.

В случае, если в материале достаточно дислокаций и плоскостей (на рис. 3.2 показана пунктиром), в которых они легко скользят (кристаллы с ГЦК решеткой – Ag, Cu, Ni,

Au, Pt и др.), – он будет пластичным и вязким.

Примерами плоских дефектов являются границы зерен и поверхность кристалла. Их размеры велики в двух направлениях и порядка нескольких межатомных расстояний по толщине.

В поликристаллах при затвердевании образующиеся зародыши ориентированы в пространстве случайно. Поэтому когда кристаллизация заканчивается, кристаллиты (зерна) срастаются случайным образом с образованием дефектов – границ зерен (рис. 3.3). На границах зерен меняется направления кристаллической решетки, одинаковой в соседних зернах. Другой пример – межфазные границы, разделяющие кристаллиты с разной решеткой и даже с различным химическим составом. Границы зерен – слабое место в поликристалле. Здесь легче идет диффузия атомов, некоторые из них (обычно вредные

для свойств материала) могут накапливаться на границах и охрупчивать их, а значит и весь материал.

На поверхности кристалла (даже самого идеального) нарушается его важнейшее свойство – трансляционная симметрия, рвутся межатомные связи, возникает поверхностное натяжение. Поэтому атомы на поверхности очень активны – легко вступают в реакции (поверхность всегда "грязная" – покрыта атомами, адсорбированными из окружающей среды).

Размеры объемных дефектов велики во всех трех направлениях – это поры, трещины и раковины в кристаллах.

Для выявления дислокаций методом травления образец помещают в раствор, который растворяет (травит) его поверхность. При этом скорость растворения материала вблизи точки выхода дислокаций на поверхность больше средней скорости растворения поверхности. Это различие возникает в результате следующих свойств существования поля плоскостей, связанных с концентрацией примесных мест выхода дислокаций на дислокаций: искажения решетки и деформаций; особенности геометрии винтовой дислокации; повышенной атомов на дислокации [1]. Поэтому в поверхность образуются ямки.

На рис. 3.4 видны хаотично расположенные дислокации роста 1. Ямки травления дислокаций деформации выстраиваются по прямым линиям 2 полос скольжения. Извилистые кривые линии малоугловых границ 3 из

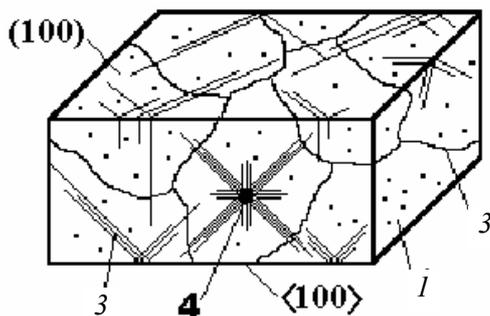


Рис. 3.4 Структура монокристалла после травления

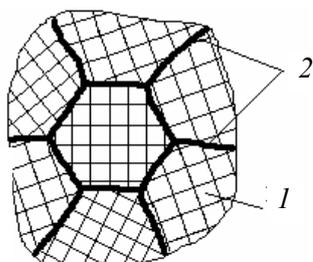


Рис. 3.3 Схема поликристалла: 1 – зерна; 2 – границы зерен

расположенных или слившихся в одну канавку ямок травления разбивают монокристалл на множество субзерен. Такую структуру имеет каждое отдельное зерно реального поликристаллического материала. При травлении поликристалла границы зерен растворяются быстрее, поэтому на поверхности они будут видны в виде темных узких линий (подобно субграницам в монокристалле).

Порядок выполнения работы

1 Отколоть образец от монокристалла LiF или NaCl, пользуясь тем, что эти вещества легко разрушаются по плоскостям спайности $\{100\}$. На свежую поверхность скола нанести иглой два-три легких укола. После этого опустить кристалл в травитель и выдержать там (состав реактива и время травления – по указанию преподавателя). Затем промыть в растворителе и высушить фильтровальной бумагой.

2 Изучить дислокационную структуру кристалла в микроскопе с увеличением $200 - 400\times$.

3 Зарисовать форму фигуры травления дислокации и указать на эскизе направления $\langle 100 \rangle$ и $\langle 110 \rangle$ с учетом того, что ребра (края) монокристалла имеют ориентировку $\langle 100 \rangle$.

4 Определить плотность дислокации роста ρ_d (см^{-2})

$$\rho_d = N / F, \quad (3.1)$$

где N – число выходов дислокаций на площади поверхности F (см^2).

5 Найти дислокационную розетку от укола иглы 4 (рис. 3.4) и определить плотность дислокаций в этой деформированной области и сравнить с ранее определенным значением.

6 Изучить структуру поликристаллического материала.

Содержание отчета

1 Название и цель работы.

2 Тип микроскопа, его характеристика, тип кристалла, состав травителя.

3 Методика определения плотности дислокаций и угла разориентировки субзерен.

4 Рисунки скоплений дислокаций и субграниц.

5 Результаты измерений и вывод о влиянии деформации на плотность дислокаций.

Контрольные вопросы

- 1 Классификация дефектов в кристаллах.
- 2 Что такое дислокация? Чем отличается винтовая дислокация от краевой? Что такое смешанная дислокация?
- 3 Контур и вектор Бюргерса. Какую симметрию кристалла нарушают дислокации?
- 4 Как влияет плотность дислокаций на прочность и пластичность кристаллов?
- 5 Классификация границ зерен.
- 6 Дислокационная модель границы субзерен.
- 7 Поверхность кристалла, ее свойства.

Список литературы

- 1 Пшеничников Ю.П. Выявление тонкой структуры кристаллов. М.: Metallurgy, 1974. С. 60 – 93.
- 2 Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: Высш. шк. 1984. С. 297 – 336.

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Цель работы: получить семейство петель гистерезиса и максимальную петлю на экране осциллографа, вычислить и построить графики зависимостей $B = f(H)$, $\mu = f(H)$.

Приборы и принадлежности: тороид с обмотками, осциллограф, автотрансформатор (ЛАТР), сопротивление, конденсаторы, диодная мостовая схема, вольтметр, ключи.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

НА РИС. 4.1 ИЗОБРАЖЕНЫ СХЕМА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА НА ЭКРАНЕ ОСЦИЛЛОГРАФА (А) И МОСТОВАЯ ДИОДНАЯ СХЕМА (Б) ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ.

ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ТОРОИД. НАМАГНИЧИВАЮЩАЯ ОБМОТКА N1 ПИТАЕТСЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ ОТ ЛАБОРАТОРНОГО ТРАНСФОРМАТОРА (ЛАТР), ВКЛЮЧАЕМОГО В СЕТЬ. ЧТОБЫ ПОЛУЧИТЬ НА ЭКРАНЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ПЕТЛЮ ГИСТЕРЕЗИСА НУЖНО НА ГОРИЗОНТАЛЬНО ОТКЛОНЯЮЩИЕ ПЛАСТИНЫ X ПОДАТЬ НАПРЯЖЕНИЕ U_x , ПРОПОРЦИОНАЛЬНО НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ H В ОБРАЗЦЕ, А НА ВЕРТИКАЛЬНО ОТКЛОНЯЮЩИЕ ПЛАСТИНЫ Y НАПРЯЖЕНИЕ U_y , ПРОПОРЦИОНАЛЬНО МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ B .

Величина напряженности магнитного поля внутри тороида определяется по формуле

$$H = Ni / l = i\omega_1, \quad (4.1)$$

ГДЕ I – ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК В ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКЕ, ЧИСЛО ВИТКОВ КОТОРОЙ РАВНО N ; L – ДЛИНА ТОРОИДА ПО СРЕДНЕЙ ЛИНИИ; ω_1 – ЧИСЛО ВИТКОВ НА ЕДИНИЦУ ДЛИНЫ В ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКЕ.

Напряжение, подаваемое с резистора R_I , на горизонтальные пластины осциллографа, равно

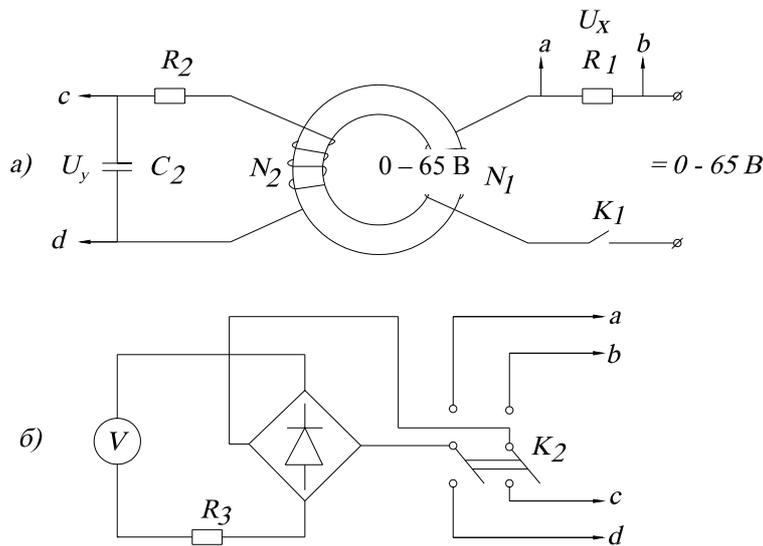


РИС. 4.1 СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

$$U_x = iR_1 = R_1 H / \omega_1. \quad (4.2)$$

ТАКИМ ОБРАЗОМ, $U_x \sim H$.

Во вторичной обмотке тороида N_2 возникает эдс индукции

$$\varepsilon_i = -S\omega_2 dB / dt, \quad (4.3)$$

ГДЕ S – ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ ТОРОИДА; ω_2 – ПЛОТНОСТЬ ВИТКОВ ВО ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКЕ N_2 .

ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ ПОЛУЧИТЬ НАПРЯЖЕНИЕ U_y ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, МЕЖДУ ИНДИКАТОРНОЙ КАТУШКОЙ (N_2) И ОСЦИЛЛОГРАФОМ СТАВЯТ ИНТЕГРИРУЮЩУЮ ЯЧЕЙКУ RC , УДОВЛЕТВОРЯЮЩУЮ УСЛОВИЮ $RC > T$ (T – ПЕРИОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА). ПРИ ЭТОМ НАПРЯЖЕНИЕ, СНИМАЕМОЕ С КОНДЕНСАТОРА C_2 , БУДЕТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Пренебрегая самоиндукцией, запишем закон Ома для вторичной цепи

$$\varepsilon = U_c + iR_2; \quad (4.4)$$

$$U_c = U_y = q/C = 1/C_0 \int (idt). \quad (4.5)$$

Здесь U_c – напряжение на обкладках конденсатора; C – емкость; q – заряд конденсатора.

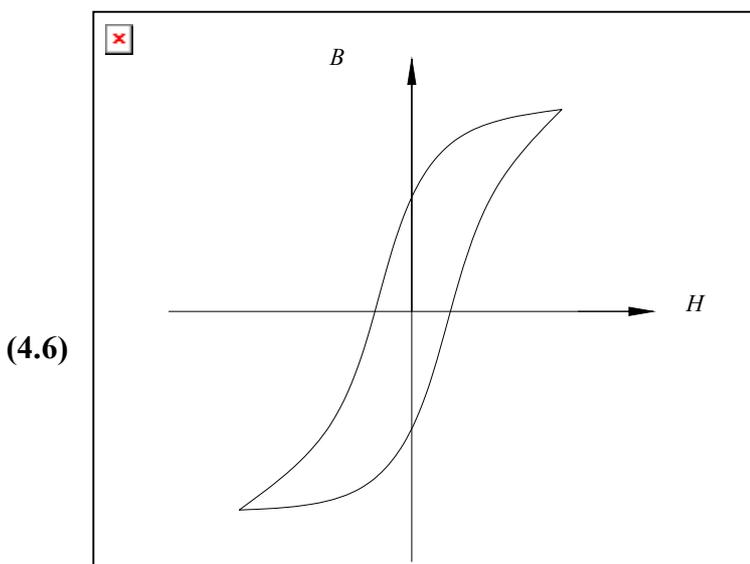
Если R_2 велико, то первым членом в формуле (4.4) можно пренебречь.

Тогда

$$i = \varepsilon / R_2 = -S\omega_2 dB / R_2 dt.$$

Из выражений (4.5) и (4.6) следует, что

$$U_y = -S\omega_2 B / R_2 C. \quad (4.7)$$



(4.6)

Рис. 4.2 Схема петли гистерезиса ферромагнетика

По формулам (4.8) и (4.9) рассчитайте величины H и B для каждого из измеренных U_x и U_y , используя приведенные на установке значения $R1, l, R2, N1, N2, C$ и S . Расчеты занесите в таблицу.

8 По вычисленным величинам постройте график зависимости $B = f_1(H)$.

9 Исходя из формулы $\mu = B/\mu_0 H$, рассчитайте магнитную проницаемость μ для всех значений U_x и U_y . Внесите в таблицу. По полученным данным постройте графическую зависимость $\mu = f_2(H)$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

10 Рассчитайте абсолютные погрешности $\Delta H, \Delta B, \Delta \mu$.

11 Проанализируйте полученные петли гистерезиса и графики и сделайте выводы о намагничивании используемого в работе ферромагнетика.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Объясните различия диа-, пара- и ферромагнетиков, какова природа магнетизма вещества.
- 2 Объясните явление намагничивания ферромагнетика.
- 3 На чем основан метод получения петли гистерезиса?
- 4 Что такое магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость, их физический смысл?
- 5 Магнитомягкие и магнитотвердые ферромагнетики и их применение.

Список литературы

- 1 Савельев И. В. Курс общей физики. М.: Наука, 1979. Т. 2. С. 11 – 54.
- 2 Трофимова Т. И. Курс физики. М.: Высш. шк., 1994. С. 204 – 247.

Лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИИ ПРИ НАГРЕВАНИИ И ПЛАВЛЕНИИ ОЛОВА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРАЩЕНИЯ ЭНТРОПИИ ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ ПЕРВОГО РОДА НА ПРИМЕРЕ ПЛАВЛЕНИЯ ОЛОВА

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: ТИГЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ, ТИГЕЛЬ С ОЛОВОМ, ТЕРМОПАРА, ЛАТУННЫЙ СОСУД С МАСЛОМ, МИЛЛИВОЛЬТМЕТР, ГРАДУИРОВАННЫЙ ГРАФИК ТЕРМОПАРЫ, СЕКУНДОМЕР.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ПЕРВОГО РОДА – ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ, СОПРОВОЖДАЮЩЕЕСЯ ПОГЛОЩЕНИЕМ ИЛИ ВЫДЕЛЕНИЕМ НЕКОТОРОГО КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ И ИЗМЕНЕНИЕМ УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА; ТЕМПЕРАТУРА ПЕРЕХОДА ОСТАЕТСЯ ПОСТОЯННОЙ И ЗАВИСИТ ОТ ПЛАВЛЕНИЯ. В ДАННОЙ РАБОТЕ НЕОБХОДИМО ИЗМЕРИТЬ ТЕМПЕРАТУРУ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА – ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАВЛЕНИЯ ОЛОВА, ЧТО ПОЗВОЛИТ ОПРЕДЕЛИТЬ ПРИРАЩЕНИЕ ЭНТРОПИИ.

Так как для обратимых процессов приращение энтропии

$$dS = \delta Q/T,$$

А ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ СИСТЕМЫ ИЗ СОСТОЯНИЯ А В СОСТОЯНИЕ В

$$\Delta S = \int_b^a \delta Q/T,$$

ТО ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ ПРИ НАГРЕВАНИИ И ПЛАВЛЕНИИ ОЛОВА ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ КАК СУММА ИЗМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИИ ПРИ НАГРЕВАНИИ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ И ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ОЛОВА:

$$\Delta S = \int_{T_k}^{T_{\text{п}}} \frac{\delta Q_1}{T} + \int_1^2 \frac{\delta Q_2}{T} = \int_{T_k}^{T_{\text{п}}} \frac{Cm dT}{T} + \frac{\lambda m}{T_{\text{п}}}$$

ИЛИ

$$\Delta S = Cm \ln \frac{T_{\text{п}}}{T_k} + \frac{\lambda m}{T_{\text{п}}}, \quad (5.1)$$

ГДЕ δQ – БЕСКОНЕЧНО МАЛОЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ T ; δQ_1 И δQ_2 – БЕСКОНЕЧНО МАЛЫЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОЛОВОМ ПРИ НАГРЕВАНИИ И ПРИ ПЛАВЛЕНИИ; T_k – КОМНАТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА; $T_{\text{п}}$ – ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ; λ – УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ; C – УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ; M – МАССА.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Рабочая схема установки показана на рис. 5.1.

В ДАННОЙ РАБОТЕ ТЕМПЕРАТУРА ОЛОВА ИЗМЕРЯЕТСЯ ПРИ ПОМОЩИ МЕДЬ – КОНСТАНТАН. ОДИН СПАЙ ТЕРМОПАРЫ 7 ПОГРУЖАЮТ В ТИГЕЛЬ С ОЛОВОМ 6, КОТОРЫЙ ПОМЕЩАЮТ В ТИГЕЛЬНУЮ ПЕЧЬ 5; ДРУГОЙ СПАЙ 1 – В ЛАТУННЫЙ СОСУД С МАСЛОМ 3, В КОТОРОМ ПРАКТИЧЕСКИ ОХРАНЯЕТСЯ КОМНАТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА. КОНЦЫ ТЕРМОПАРЫ НАХОДЯТСЯ В СТЕКЛЯННЫХ ТРУБОЧКАХ 2, КОТОРЫЕ ВСТАВЛЯЮТ В ДЕРЖАТЕЛИ ИЗ ТЕКСТОЛИТА 4. ТЕРМО-ЭДС, ВОЗНИКАЮЩАЯ В ЦЕПИ ТЕРМОПАРЫ ПРИ НАЛИЧИИ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР В СПАЯХ, ИЗМЕРЯЕТСЯ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОМ.

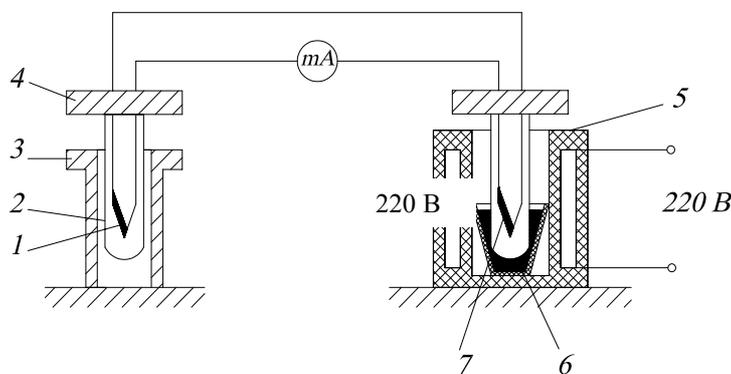


РИС. 5.1 УСТАНОВКА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КРИВОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ СПЛАВОВ
Порядок выполнения работы

- 1 Измерить начальную температуру при помощи комнатного термометра.
- 2 Включить одновременно цепь печи и секундомера, отмечая показания милливольтметра через каждую минуту. Результаты измерений отмечать на графике в координатах "показания милливольтметра – время". Измерения проводить до тех пор, пока термо-эдс не достигнет постоянной величины ($T_{\text{п}}$), а затем начнет увеличиваться.
- 3 Выключить цепь печи и проводить аналогичные измерения при охлаждении олова, отмечая показания милливольтметра на том же графике, что и в п. 2.

4 По двум полученным кривым определить показания милливольтметра, соответствующие участкам кривых, параллельным оси времени, и по среднему значению найти температуру плавления олова, используя градуировочный график.

5 Вычислить приращение энтропии при нагревании и плавлении олова по формуле (5.1); масса олова задана, а удельная теплота плавления и удельная теплоемкость олова находится в соответствующих таблицах.

6 Определить основные источники погрешности при определении приращения энтропии данным методом.

Список литературы

- 1 Кикоин И. К., Кикоин А. К. Молекулярная физика. М., 1963. С. 56 – 82.
- 2 Савельев И. В. Курс общей физики. М., 1973. Т. 1. С. 340 – 356.
- 3 Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курс общей физики. М., 1962. Т. 1. С. 290 – 350.

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ

Цель работы: построить гистограмму распределения порошков по фракциям, используя статистические методы.

Приборы и принадлежности: микроскоп МИМ-4, набор образцов порошков.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПОСТРОЕНИЕ ПОЛНОЙ КРИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКА ПО РАЗМЕРАМ (РИС. 6.1) ТРЕБУЕТ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ, ПОЭТОМУ В ХОДЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПРОИЗВОДИТСЯ ПОСТРОЕНИЕ ГИСТОГРАММ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ.

$\Delta N / N \cdot 100 \%$

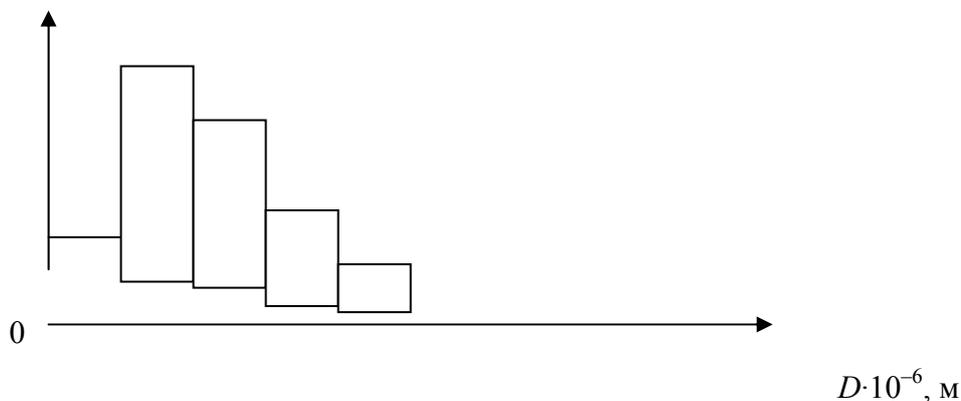


Рис. 6.1 Кривая распределения количества частиц порошка в зависимости от их размера:

N – общее число частиц порошка; ΔN – число частиц определенного размера;
 D – размер частицы

Для этого нам необходимо определить цену деления окуляра микроскопа с помощью объектива-микрометра. Затем определить интервал, в котором находятся минимальное и максимальные значения размеров частиц порошка. После этого определяем число интервалов. Для этого задаемся произвольным числом частиц и принимаем число интервалов как

$$K = \sqrt[3]{N}.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ СТРОИТСЯ ГИСТОГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОШКОВ ПО ФРАКЦИЯМ.

Содержание отчета

- 1 Гистограмма распределения порошков по фракциям.

Контрольные вопросы

- 1 Понятие "вероятность". Статистически независимые величины.
- 2 Теорема об умножении вероятностей.
- 3 Распределение Максвелла.
- 4 Распределение Больцмана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Савельев И.В. Курс физики. М.: Наука. 1989. Т. 1. С. 291 – 294, 311 – 319.