Глава VI

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА  
§19. Квантовая природа света  
и волновые свойства частиц

Работа выхода электронов из некоторых металлов дана в  
таблице 17 приложения.

1. Найти массу **т** фотона: а) красных лучей света  
   (Я = 700 нм); б) рентгеновских лучен (Я = 25 пм); в) гамма-лучей  
   (Я = 1,24 пм).

Решение:

Энергия фотона E-hv — (1), где Л = 6,62-10~34Дж-с —

постоянная Планка, v = — — частота колебания. Здесь

Я

с = 3-108м/с — скорость света. Т. е. уравнение (1) можно  
с

записать £ = /?— — (2). С другой стороны, согласно  
Я

формуле Эйнштейна Е = тс' — (3). Приравнивая (2) и (3),

получаем h— = mc2, откуда . Подставляя числовые

*X сЛ*

данные, получим: а) л/= 3,2 • 10~36 кг; б) т = 8,8-10'32 кг;

в) т = 1,8 • 10'30 кг.

1. Найти энергию **е** , массу **т** и импульс **р** фотона, если  
   соответствующая ему длина волны Я = 1,6 пм.

С **h**

Имеем **E = h—;** ш = — (см. задачу 19.1). Импульс фотоне  
**X сЛ**

**р = тс-~.** Подставляя числовые данные, получим  
Л

**Е** = 1,15-10”13 Дж; **т —** 1,38-10-30кг; **р** = 4,1 • 10'32 кг-м/с.

1. Ртутная дуга имеет мощность **N =** 125 Вт. Какое число  
   фотонов испускается в единицу времени в излучении с длинами  
   волн **Л,** равными: 612,1; 579,1; 546,1; 404,7; 365,5; 253,7нм:  
   Интенсивности этих линии составляют соответственно 2; 4; 4;  
   2,9; 2,5; 4% интенсивности ртутной дуги. Считать, что 80“ у  
   мощности дуги идет на излучение.

Решение:

Энергия излучения ртутной дуги **E = r]Nt,** по условию  
**t =** 1 с. Энергия одного кванта света **Е0** = **hv** = Л— . Пусть

*X*

**I** — интенсивность линии (в процентах), тогда **количество**

**, *IE IijXiX***

квантов можно определить по формуле: **п** = — = •

*Еп*

*he*

Подставляя числовые данные, получим:

ю

**1) п =**

**0,02- 0,8 125-1-6123-10  
6,62-10-34 -3-108**

= **6**,**2-10** 8; **2**) п = **1**.**2**-**10**1'':

3) и = 1,1 • 10'9; 4) **п** = 5,9 • 10'8; 5) **п** = 4,6 • 1018;  
6) **п -** 5,1 -1018.

1. С какой скоростью v должен двигаться электрон, чтобы  
   его кинетическая энергия была равна энергии фотона с длипод  
   волны Я = 520 нм?

Кинетическая энергия электрона **Е** = — (1). Энергия

***Q***

111*V~*

фотона **E-hv = h—** — (2). Приравнивая правые части

***Л***

„ /1 \ /лЧ mv , с 2he

уравнении (I) и (2), получим = Л —, откуда v = **J**

***2 Л* V *тЛ***

Подставляя числовые данные, получим v = 9,2-105 м/с.

1. С какой скоростью v должен двигаться электрон, чтобы  
   его импульс был равен импульсу фотона с длиной волны  
   **Л** = 520 нм?

Решение:

Импульс электрона **ре = mev** — (1). Импульс фотона

**р = —** — (2) (см. задачу 19.2). Приравнивая правые части  
**Л**

***I] }]***

уравнений (1) и (2), получим откуда v = .

***Л Лт„***

Подставляя числовые данные, получим v = 1,4 • 103 м/с.

1. Какую энергию **е** должен иметь фотон, чтобы его масса  
   была равна массе покоя электрона?

Решение:

Энергия фотона **Е** = **тс2**. Подставляя в эту' формулу зна-  
чения массы покоя электрона, получим **Е** = 81-10"15 Дж  
или £ = 510-10'эВ.

1. Импульс, переносимый монохроматтеекпм пучком фо-  
   тонов через площадку 5 = 2см: за время / = 0.5мин, равен

**р =** 3-10° кг-м с. Пай гн для этого пучка энергию £ , падающую  
на елинмиу плошали за **единицу** времени.

Решение:

Энергия и импульс фотона связаны соотношением **Е** = **ре .**За единицу времени па единицу площади будет падать

энергия £, = ~ = 150Дж/(с-\Г).

***St***

• 9.8. При какой температуре **Т** кинетическая энергия моле-  
кулы двухатомного газа будет равна энергии фотона с длиной  
волны Я = 589 нм?

Решение:

Кинетическая энергия молекулы двухатомного ran  
**IV-^-kT.** Кинетическая энергия фотона **s = hv-h^. По**5 **с** 2 **he**

условию **IV = s** или **— кТ-h—,** откуда **Т =** = 9800 К.

2 А 5 **кХ**

1. При высоких энергиях трудно осуществить условия для  
   изменения экспозиционной дозы рентгеновского п гамма-излу-  
   чений в рентгенах, поэтому допускается применение рентгена  
   как единицы дозы для излучений с энергией квантов л •  
   **с** = 3 МэВ. До какой предельной длины волны Я рентгеновском.,  
   излучения можно у потреблять рентген?

Решение:

Энергия квантов определяется соотношением **E-hv**

**-h—.** Отсюда предельная длина волны pair-..:  
**Л**

he 11

Я = — = 0,41-10' ‘ М.

***Е***

1. Найти массу **m** фотона, импульс которого равен гм-  
   пульсу молекулы водорода при температуре / =20°С. Скоро. ■  
   молекулы считать равной средней квадратичной скорости.

Решение:

Импульс фотона **- п^с,** где **ui\** — масса фотона, л  
скорость света в вакууме. Импульс молекулы водиро а  
460

Массу молекулы водорода можно определить из

соотношения **т2** =— — (2), где **/I** — молярная масса

Л'л

водорода, 1VA — число Авогадро. Подставляя (2) в (I),  
**ЬкТр**

***ЗкТ/i***

**. Подставляя**

найдем **m.c = J~r**.— , откуда //г, =

**числовые данные, получим иг, = 2.1 • КГ''2 кг.**

**Л'д**

**рг = vh Vv' , где m**

f=4 [Ш  
Vv = *—*

***»U***

**— масса молекулы водорода,  
средняя квадратичная скорость молекулы**

**водорода. По условию р, = р2 или nt,c = т**

[Jkf

А

***ии***

**-(1).**

1. В работе Л. Г. Столетова «Актино-электрические ис-  
   следования» (1888 г.) впервые были установлены основные зако-  
   ны фотоэффекта. Один из результатов его опытов был сфор-  
   мулирован так: «Разряжающим действием обладают лучи самой  
   высокой преломляемости с длиной волны менее 295 нм». Найти  
   работу выхода **А** электрона из металла, с которым работал  
   А. Г. Столетов.

Решение:

Согласно закону сохранения энергии **hv - А +** ^~-. Ус-

ловие возникновения фотоэффекта: **hv ~ А** или **v~~** —  
**с Нс**

(1). Поскольку' **v** = —, то из (1) получим **А** = — — (2). По  
**Л Л**

условию Я = 295 • 10"9 м, тогда из (2) найдем **А -** 4.2 эВ.

1. Найти длину волны **Л0** света, соответствующую крас-  
   ной границе фотоэффекта, для лития, натрия, калия и цезия.

Решение.

Работ выхода электрона in металла, если его скорое  
v = 0, равна **А = !п>0 =** /?—, где А0 — красная грани:

А,

фоюэффекта. Таким образом, А-. = —- = 5.17 • 10'7 м.

1. Длина волны света, соответствующая красной грана  
   фотоэффекта, для некоторого металла **Л0 =** 275 нм. Найти ми:,  
   мальную эпергшо фотона, вызывающего фотоэффект.

Решение:

Минимальная энергия фотона должна быть равна рас-

***he***

выхода электрона, г. е. **Ет,п=А = — .** Подставляя чнс.;

'Ч)

вые данные, получим = 7.2 • 10'19 Дж пли **Етт** = 4.5 I

1. Длина волны света, соответствующая красной гран--  
   фотоэффекта, .хтя некоторого металла **ль** = 275 нм. Найти раб.  
   выхода **А** электрона из металла, максимальную скорость -  
   электронов, вырываемых из металла светом с длиной во ■■  
   А = 180нм, и максимальную кинетическую энергию i:.  
   электронов.

Решение:

Работа выхода электрона **А =** 7,2-10 10 Дж. Уравног;

**Эйнштейна для фотоэффекта:**

***h v - А +***

***IHV'***

**о**

**(D-**

**mv:** ..

**кинетическая**

***he***

**1.меем ——А -  
А**

**энергия**

**Ек.**

***п***

—--- — максимальная  
таюшето электроиа. Из (Г)

**максимальная скорость электронов**

Подставляя числовые данные, получим v..iv =9-10' м/с.  
Максимальная кинетическая энергия электронов равна

1***2(hc / А- Л)***

V т

»П>2 **, „ 19**

**W =■**

*г шах*

**• = 3.7 ■ 10' Дж.**

1. 1 lafirп частот) г света, вырываюшего нз металла  
   электроны, которые полностью задерживаются разностью потен-  
   циалов **U** = 3 В. Фотоэффект сжимается при частоте света

**v0** = б-!0!4Гц. По йтп работ) выхода **.1** электрона из металла.  
Решение:

Работа выхода электрона **А = h** i'c = **h— =** 2.48 эВ. Со-  
гласно уравнению Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

1 л **ll!V~** г

**nv - А-1**—— . если электроны полностью задерживаются  
разностью потенциалов **U**. то по закону сохранения  
энергии **ell = ■** Тогда **И v = Л~ еU ,** откуда

**v = ——** = 13,2 ■ 10м Гц.  
**h**

1. Найти задерживают) ю разность потенциалов **U** для  
   электронов, вырываемых при освещении калия светом с длиной  
   волны **А** = 330 нм.

Решение:

Имеем **hv = A~eU** (см. задачз 19.15) или **h—-A~ci'** —

/

(1), Работа выхода электрона нз калия

**А = 2 эВ =  
463**

= 3.2-10 19 Дж (см. таблицу

u***J***-Z'i***'-А*** = \льъ.

**17). Из (1) найдем**

1. При фотоэффекте с платиновой поверхности элект-  
   роны полностью задерживаются разностью потенциалов  
   С/=0,8 В. Найти длину волны А применяемого облучения и  
   предельную длину волны Яа, при которой еще возможен фою-  
   эффект.

Решение:

***с he***

Имеем Л— = **А** -г **eU**, откуда Я = = 204 нм. Предель-

Я ' **A + eU** 1

ную длину волны Я0, при которой еще возможен фото-  
эффект, найдем из соотношения **A = hv{j=h — ,** откуда

***К***

Я0 = — = 234 нм.

***А***

1. Фотоны с энергией £- = 4,9эВ вырывают электроны из  
   металла с работой выхода **А =** 4,5 эВ. Найти максимальный  
   импульс **ртм,** передаваемый поверхности металла при вылете  
   каждого электрона.

Решение:

Согласно закону сохранения энергии **с-А +** ~— -=

2

= **А +** , откуда **р — ^2т{с — А)** = 3.4 • 10’23 кг-м/с.

***2т***

1. Найти постоянную Планка //, если известно, чю  
   электроны, вырываемые из металла светом с частотой  
   у, =2,2-10 Тн, полностью задерживаются разностью пог-н-  
   464

шталов С/, = 6,6 В, а вырываемые светом с частотой  
**|/2 =4,6-1015Гц** — разностью потенциалов **U2** = 16,5 В.

Решение:

Имеем **hv]~A + eL\** —(1); **hv2 = A + eU2** —(2). Вычитая  
(1) из (2). получим **h(v2** - к,) - **e(U2** - (/,), откуда  
h = Hi—Ча. = 6,6-10"'4 Джс.

***v*, *- у,***

1. Вакуумный фотоэлемент состоит из центрального ка-  
   тода (вольфрамового шарика) и анода (внутренней поверхности  
   посеребренной изнутри колбы). Контактная разность потенциа-  
   лов между электродами **U0 =** 0,6 В ускоряет вылетающие элект-  
   роны. Фотоэлемент освещается светом с длиной волны  
   А = 230нм. Какую задерживающую разность потенциалов **U**надо приложить между электродами, чтобы фототок упал до  
   нуля? Какую скорость v получат электроны, когда они долетят  
   до анода, если не прикладывать между катодом и анодом раз-  
   ности потенциалов?

Решение:

Согласно закону сохранения энергии **eU = h--A + eU0**

А

(см. задачу 19.15), откуда **U =** ——+ (/0. Подставляя

***е***

числовые данные, получим **U** = 1,5 В. Чтобы фототок упал  
до нуля, задерживающая разность потенциалов должна

удовлетворять условию



= 7,3-105 м/с.

1. Между электродами фотоэлемента предыдущей задачи  
   приложена задерживающая разность потенциалов **U** = 1 В. При  
   какой предельной длине волны Д0 падающего на катод света на-  
   чинается фотоэффект?

***С л he***

Имеем **Ue = h** **А,** откуда = . Подставляя чи-

***Aq eU* + *А***

еловые данные, получим **Aq =** 226 нм.

1. На рисунке показана часть прибора, с которым  
   П. Н. Лебедев производил свои опыты по измерению светово! л  
   давления. Стеклянная крестовина, подвешенная на тонкой mini,  
   заключена в откачанный сосуд п имеет на концах два легких  
   кружка пз платиновой фольги. Один кружок зачернен, другой  
   оставлен блестящим. Направляя свез на один пз кружков п изме-  
   ряя угол поворота нити (для зеркального отсчета служит зер-  
   кальце 5), можно определить световое давление. Найти свето-  
   вое давление **Р** ц световую энергию **Е**, падающую от дуговой  
   лампы в единицу времени на единицу площади кружков. При  
   освещении блестящего кружка отклонение зайчика а = 76 мм по  
   шкале, удаленной от зеркальца на расстояние А = **1200** мм.  
   Диаметр кружков **d** = **5** мм. Расстояние от центра кружка до осп  
   вращения / = 9,2мм. Коэффициент отражения света от блестя-  
   щего кружка **р-** 0,5. Постоянная момента кручения **нити**

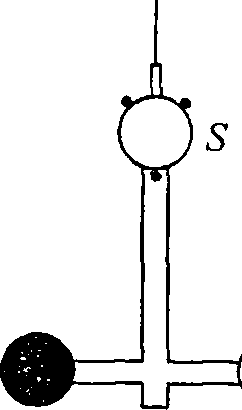
(М = ка) **£ =** 2,2• 10**"11** Н-м/рад.

Решение:

***F***

Имеем **Р-** (1), где **F-**

**сила све-**



***S***

тового давления на кружок площадью  
„ тт \_ **М ка**

**S**. Но **F** = — = — — (2**),** где **М** —

момент кручения нити, /— расстояние  
от центра кружка до оси вращения, **а** - -  
угол поворота кружка. Зная, что и,-:;повороте зеркальца па угол <•  
отраженный луч повернется на угол **2с** .

найдем: **tg2a-—.** Для малых углов **tg2a** « 2« = —

***Ъ b***

**От-**

***(j***

сюда **а** = (3). Решая совместно уравнения (**1**) — (3),

***2 b***

***ка***

получим **Р =** = 3,85 • 10**'6** Па. Световая

**энергия**

**2 *IbS***

£=-^-= = 770 Дж/(с-м2).

1 4-/7

1. **В** одном из опытов П. Н. Лебедева при падении света  
   на зачерненный кружок (р = 0) угол поворота нити был равен

а = 10'. Найти световое давление/1 и мощность N падающего  
света. Данные прибора взять из условия задачи 19.22.

Решение:

Имеем **р = ~ = J~~T (см- заДачУ** 19.22). Подставляя  
числовые данные, получим **р =** 3,6-10**-7** Н/м\ С другой сто-

роны, световое давление **р** =— (l + **р).** По условию коэф-

***с***

фициент отражения света **р-** **0**, тогда **р**-— — (**1**), где

***с***

**£** — количество энергии, падающей на единицу поверх-  
ности в единицу времени. Тогда мощность **N** света,  
падающего на площадь 5 кружка, найдем из соотношения  
**N = E-S.** Из (1) имеем **Е = рс,** кроме того,

л, **nd2** .. **рс-ядг** \_

**S** = , отсюда **N =** = 2,1 • 10 ' Вт.

4 4

1. В одном из опытов П. Н. Лебедева мощность пада-  
   ющего на кружки монохроматического света (Я = 560нм) была  
   равна **N =** 8,33 мВт. Найти число фотонов **I**, падающих в едини-  
   цу времени на единицу площади кружков, и импульс силы **FAr,**сообщенный единице площади кружков за единицу времени, для

значений **р**, равных: 0; 0,5; 1. Данные прибора взять из условия  
задачи 19.22.

Решение:

Найдем концентрацию фотонов в пучке света, падающем

на кружок, из соотношения » = — — (**1**), где **со** — объем-

***s***

ная плотность энергии, **е** — энергия одного фотона.  
„ **Е N , с**

Поскольку **со-** — = —, а £■ = «—, то выражение (П  
**с Sc Л**

**примет вид п ■**

***NX***

***nd'***

**, ■ (2). Площадь кружка S = -**

***Sc1 И* 4**

= 19,6 • 10**6** м2. Число 7 фотонов, падающих за единицу вре-

, -V

мени на единицу площади, найдем из соотношения 7 = —,

где **N** — число фотонов, падающих за время **t** на поверх-

***ncSt***

**ность площадью S. Но N - ricSt, следовательно, I = -**

***St  
-пс. С* учетом (2) получим 7=—- = 1,2-1021 с-,\*м-2. Им-**

***Sch***

пульс силы **FAt** , сообщенный единице площади кружков  
за единицу времени, будет численно равен световому дав-

***N, \***

лению **р**, т. е. **FAr-p** =—(J + /4- Подставляя числовые

***Sc***

данные, получим: а) 7г,Дг = 1,4-10'**6**Н-с/м2; б) F2Ar = **2**.!**3**x  
х **1**0**-6** Н с/м2; в) **F3Ат =** 2,84 • 10**'6** Н с/м2.

1. Русский астроном Ф. А. Бредихин объясни форму  
   кометных хвостов световым давлением солнечных лучей. Найти  
   световое давление **Р** солнечных лучей на абсолютно черное те-  
   ло, помешенное на таком же расстоянии от Солнца, как и Земля.  
   Какую массу **m** должна иметь частица в кометном хвосте, поме-  
   шенная на этом расстоянии, чтобы сила светового давления на  
   нее уравновешивалась силой притяжения частицы Солнцем?

Плошадь частицы, отражающую все падающие на нес лучи,  
считать равной **S =** 0,5 • 10**"12** м". Солнечная постоянная  
**К** = 1,37 кВт/м2.

Решение:

£

Световое давление **Р =** — (l + **р).** В условиях данной задачи

***с***

**Е = К ; р =** 0. Тогда **Р = — =** 4,6-10'° Па. Сила светового

***с***

давления **F{ - PS**, сила притяжения частицы Солнцем

**F2** sG^y, где **М** — масса Солнца. По условию **= F2>R~**

DC *ПтМ PSR2 П*

T. e. **PS = G**——, откуда масса частицы »> = **\_** — . Под-

**R2 ’**

***GM***

ставляя числовые данные, получим **т** = 3,9 • 10**"16** кг.

1. Найти **световое** давление **Р** на стенки электрической  
   100-ваттной лампы. Колба лампы представляет собой сфери-  
   ческий сосуд радиу сом **г** = 5 см. Стенки лампы отражают 4% и  
   пропускают **6**% падающего на них света. Считать, что вся  
   потребляемая мощность идет на излучение.

Решение:

***£***

По определению светового давления **Р =** — (l + /?) — (1),

***с***

***N***

где **Е** = — — (2) — энергия, падающая на единицу по-  
**S**

верхности за единицу времени, **N** — мощность лампы,  
**S = 4л**7-2 — (3) — площадь поверхности колбы, р—  
коэффициент отражения света. Подставляя (3) в (2), полу-  
**N**

чаем **Е =** г — (4), затем, подставляя (4) в (1). оконча-

4яг'

тельно находим **Р** = **—-—=** 11.03 мкПа.

**4 *кг с***

1. На поверхность площадью **S** = 0,01 **м2 в** единиц) време-  
   ни падает световая энергия **Е** = 1,05 Дж/с. найти световое пе-  
   ние **Р** **в** случаях, когда поверхность полностью отражает **и пол-**ностью поглощает падающие на нее лучи.

Решение:

Полностью поглощает лучи черная поверхность, а пол-  
ностью отражает — зеркальная. При падении на чернмо  
поверхность фотон с энергией **Е0** поглощается, передавая

£

поверхности импульс —. За время **At** поверхность п.ю-

***с***

щадью **S** поглотит излучение с энергией **Е** = **ISAt** — (**1**),

содержащее — фотонов. Переданный поверхности нм-

***Ео***

***Е Еп ISAt***

пульс - = ; с другой стороны, он равен

***Е0 с с***

**FAt = PxSAt**. Отсюда **Pt - —**. Из (1) найдем, учитывая, что

***с***

***Е Е***

по условию **Д?** = 1с. / = —, тогда = — = 0,35**-10" Па,**

***S Sc***

При отражении от зеркальной поверхности фотоны **изме-**няют свой импульс на противоположный. При этом клж-

дыи фотон передает поверхности импульс ; **таким**

***с***

образом, давление света на зеркальную поверхность **вдвое**

***£*** *.*

больше, чем на черную. Т. е. **Р2** = 2— = 0,7-10 Па.

1. Монохроматический пучок света (Я = 490нм), гддя  
   по нормали к поверхности, производит световое даг>.мне  
   **р -** 4.9 мкПа. Какое число фотонов **I** падает в единиц**)1** врс - ни  
   на единицу площади этой поверхности? Коэффициент сра-  
   жения света **/7** = 0,25.

Воспользуемся формулой из задачи 19.24, выражающей  
число фотонов, падающих в единицу времени на площадь

с. Г **NA** о **N**

**о . 1** = —-. одесь — — мощность света, падающего на  
**Sen S**

***N* \_ *Рс ,***

единицу площади, причем — **= Е-** (см. задачу

***S* 1 *+ р***

**19.23). Отсюда 1 =**

***РЛ***

***h{l + p)***

**= 2,9-10V4f2.**

1. Рентгеновские лу'чи с длиной волны **Л0** **=** 70,8 пм испы-  
   тывают комптоновское рассеяние иа парафине. Найти длину  
   волны Я рентгеновских лучен, рассеянных в направлениях:

**а) ; б) *<р = п .***

**Решение:**

Изменение длины волны рентгеновских лучей при  
комптоновском рассеянии определяется формулой

**АЛ =** (l - **cos (р),** где **(р** —угол рассеяния, **т** — масса

***тс***

**электрона. Отсюда *Л = А1) + АЛ=Л0+ —* (l *- cos <р).* Под-**

***тс***

ставляя числовые данные, получим: а) **Л** = 73,22-Ю'**12**м;

б) Л = 75,6-КГ**12** м.

1. Какова была длина волны Я**0** рентгеновского излу-  
   чения, если при комптоновском рассеянии этого излучения гра-  
   фитом под углом **<р =** 60° длина волны рассеянного излучения  
   оказалась равной Я = 25,4 пм?

Имеем Я = Я^ + — (l **-cos<p)** (см. задачу 19.29), отсюда

Л> — **А** **(1** **-cos<p).** Подставляя числовые данные, по.т\-  
**тс**

***тс***

чим ЯС] = 24,2-10“12 м.

1. Рентгеновские лучи с длиной волны Я0 =20пм нспы-  
   тывают комптоновское рассеяние под углом (р = 90°. Найп<  
   изменение АЛ длины волны рентгеновских лучей при рас-  
   сеянии, а также энергию We и импульс электрона отдачи.

Решение:

Кинетическая энергия электрона равна энергии, погс-

„ , ***he he hcAA*** „

ряннои фотоном: **lr, =** = —; г. Под-

я0 Я0+ЛЯ я0(я0+дя)

ставляя числовые данные, получим We = 10,56' l(Tlf Дж =  
= 6,6-10**3**эВ. Импульс и кинетическая энергия электрона

связаны соотношением W **-** , откуда р = **-JlmH =**

***2т***

= 4,4-10**'23** кг м/с.

1. При комптоновском рассеянии энергия падаю шо о  
   фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и

электроном отдачи. Угол рассеяния <р = . Найти энергию (Г и

импульс р рассеянного фотона.

**Решение:**

Энергия падающего фотона **JVa** =—. Энергия рассеянного

Л>

фотона W -———. Кинетическая энергия электрона ог-

Aq + дя

ДЯ = — (l - **cos** ©) = — . Окончательно имеем **W = ,**

***тс тс 2***

т. е. энергия рассеянного фотона равна половине энергии  
покоя электрона. Подставляя числовые данные, получим

**W** = 41 -КГ**15**Дж= 0.26• **1**0**6**эВ. Импульс фотона **р- — ~**

***с***

**дачи We -**

***he***

***he***

**т. e.**

**Лд Я^ + ДЯ Яф(Яф +** дя)  
**/?сДЯ he п he**

hcAA ГГ гг/ \*0

**—. По условию WL, = -j-.**

**Л^Ло + ДЯ) 2Я0**

**Отсюда**

Я^ + дя

***he***

***= w = — ,* где  
2ДЯ**

= 13,7 -ИГ**23** кг м/с

1. Энергия рентгеновских лучей **е** = 0,6 МэВ. Найти энер-  
   гию **We** электрона отдачи, если длина волны рентгеновских лу-  
   чей после комптоновского рассеяния изменилась на **20**%.

Решение:

Кинетическая энергия электрона отдачи **Wc** = — **ксА^**—

я0(Л + ДЯ)

***he***

(см. задачу 19.31). Энергия рентгеновских лучей **а -** —,

Л

**т. е. можно записать, что l-V = s**

**ДЯ**

**Яц н- ДЯ**

**— (1). По усло-**

вию ДЯ = 0,2Яо; Я0+ДЯ = 1,2Я0, тогда из (1) получим  
1F = 0,17\* = 0,1 МэВ.

1. Найти длину волны де Бройля Я для электронов, про-  
   шедших разность потенциалов СУ, = 1 В и (Л = 100 В.

Решение:

Пучок элементарных частиц обладает свойством плоской  
волны, распространяющейся в направлении перемещения  
этих частиц. Длина волны Я, соответствующая этому пуч-

***т***

**,** где v— скорость частиц, т— масса час.

***h***



**W** — их кинетическая энергия. Если скорость v час  
соизмерима со скоростью света **с**, то эта формула i  
, Л **Г** ГГ **h**

нимает вид /- = д**/1** - **р** = , где **(i ■**

**"V *^2lVin0+W2/сг***

/н**0** — масса покоя частицы. Пройдя разность потенция  
**U**, электрон приобретает кинетическую энергию, при .  
**w\'2 (2eU~**

**eU = -** . Отсюда v = (3). При **О]** = **1** В пол\

2 V т

v, = 6 -10**5** м/с, при **U2 =** ! 00 В получим v**2** = 6 • 10**6** м с  
первом случае для нахождения длины волны де Бр.  
можно применить уравнение (**1**), во втором случае л\-  
использовать уравнение (**2**). Подставляя числовые дан

получим /.[ = **1**,**22**-**10’9** м; А = **0**,**122**-**10"9** м.

1. Решить предыдущую задачу для пучка протонов.  
   Решение:

Найдем скорость протонов, прошедших разность гю  
циалов **U\** и **U2.** По формуле (3) из предыдущей за/.

получим V[ = 1.38 • 10**4** м/с; v, = i.38• К**)5** м/с. Следоватсл-

в обоих случаях можно использовать формулу /. -

Подставляя числовые данные, получим Я, =29-10  
Я, = 2,9 • 10",: м.

1. Найти длину волны де Бройля Л для: а) эле: г

движущегося со скоростью v = 10:’m'c; б) атома водоро .л.  
жущегося со средней квадратичной скоростью при темнее.

**Т** = 300К; в) шарика массой /// = 1 г. движущегося со скоростью  
**V** = **1** см/с.

Решение:

Длина волны де Бройля определяется соотношением  
Л = — — (1) для **v«c** или соотношением

777V

А = — y/l**-/?2** — (**2**) Для  
**mQv**

скоростей v , соизмеримых со

**скоростью света с . а) Воспользовавшись уравнением (2),  
найдем Л = 730'10“12 м. б) Скорость атома водорода**

FT ,

Vv = =27.0 м/с, т. е.

V **М**

дем **Л** = — = = 145 • КГ**1**

777V /Л’

**v«c.** ТТо формуле (1) най-  
м. в) ПОСКОЛЬКУ скорость

шарика v«c, то по формуле (**1**) найдем **Л** = 6.6-10 **29** м,  
т. е. волновые свойства шарика обнаружить невозможно.

1. Найти **длину** волны **дс** Бройля **Л** для электрона, име-  
   **ющего** кинетическую энергию: а) **И-] =** **10** кэВ; б) **Wz** = **1** МэВ.

Решепне:

Имеем **Л- , ^** (см. задачу 19.34). Под-

jllVi»,, + W- /с*2*

ставляя числовые данные, получим: а) **Л =** 12,3 ■ 10**"12** м;  
б) **Л** = 0,87 • КГ1' м.

1. Заряженная частица, ускоренная разностью потенци-  
   **алов** (У = 200 В. имеет длину волны дс Бройля 7. = 2.02 мм.  
   Найти массу **m** частицы, если се заряд численно равен заряду  
   электрона.

Решение:

Длина волны де Бройля определяется соотношенп

**Л** = , **^ -** — (1), где **IV =-** eU— (2) — онер:

***■j2JVm()+lV2 /с-***

частнцы, т0— масса покоя частицы. Ил (2) пай.

**1у** -

И'= 3,2 • 10**'1** Дж. Поскольку IF «с. величиной -Ц-

с"

уравнении (**1**) можно пренебречь и оно примел в

// **/V** , **,** Л-:-

л = **-**■**/—** = . откуда **т** = г- = 1,67 • 10 кг.

**V2 *Ww* ' *2JVA-***

1. Составить таблицу значений длин волн де Бройла  
   для э;**1**ектрона. движущегося со скоростью v, равной: 21  
   2.2-108; 2.4-108: 2.6- 10s; 2.8- 108м.'с.

Решение:

Воспользовавшись формулой для нахождения д.п:

волны де Бройля **Л = ——Jl** -—г . составим таблицу.

**m0v** V с"

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **г. 10к м'с** | **2,0** | **2.2** | **2,4** | **2,6** |  |
| **А. нм** | **2.7** | **2.25** | **1.82** | **1.39** | **0.92** |

1. а-частица .движется по окружности радпу-  
   /• = 8.3 мм в однородном магнитном поле, напряженность :рого Я=18.9кЛ.'м. Найти длину волны де Бройля 7.  
   **а** -частицы.

Решение:

На **с/,** -частицу, движущеюся в однородном мамин  
поле, действует uua Лоренца **F1=ijv!i** — (I), ког. ••  
является центростремительной силон и сообщаем час..

нормальное ускорение **ап** = — — (2). По второму закону

***г***

Ньютона **jF,, — (4**). Приравнивая правые части

■>

уравнений (!) и (4). получаем **qvB =**——, откуда скорость

***г***

***аВг***

а-частицы v = - (5). Магнитная **индукция** связана с

***in***

напряженностью магнитного поля соотношением  
**B = /jju0H** — (6), причем для воздуха магнитная

проницаемость // = 1 . Подставляя (6) в (5), получаем

v = -^—- — (7). Длина волны де Бройля Я =— — (8).

***т inv***

Подставляя (7) в (8). окончательно находим

Л = —-— = 13,11 пм.  
**q/j0Hr**

1. Найти длину' волны де Бройля Я для атома водорода,  
   движущегося при температуре **Т** = 293 К с наиболее вероятной  
   скоростью.

Решение:

Наиболее вероятная скорость движения атома водорода

**1*2кТ***

vB=J — (1), где **к =** 1,38- 1(Г2’Дж/К — постоянная

V от

Больцмана. Длина волны де Бройля Д = **——** — (2). Под-

ЯП’В

ставляя (1) в (2), получаем Я = **. —** = 180 пм.

***у!2кТ/т***