***§ 20. Атом Бора. Рентгеновские лучи***

В этом разделе используются данные таблиц 3 и 19 из пол-  
ложепия. В задачах 20.5, 20.33 дан авторский вариант решения

20Л. Найти радиусы rk трех первых боровских электронных  
орбит в атоме водорода и скорости v\* электрона на них.

Решение:

На электрон, движущийся в атоме водорода по **к** -й боров-

**\_ *е'***

скои ороитс, действует кулоновская сила **F =** — —

4даь/;-

(1), где **е**— заряд электрона. Эта сила является центро-  
стремительной и сообщает электрону нормальное

ускорение **ап** =— — (**2**), где vA.— скорость электрона па  
гк

**к**-й орбите. По второму закону Ньютона **F = ma**n— <3)-

2 2

Подставляя (I) и (2) в (3), получим **j =** —-, откуда

**4ж£о *гк гк***

**е2**

**гк** = — (4). Согласно первому постулаты Ьора

4л\*о **mvl**

движение электрона вокруг ядра возможно только по  
определенным орбитам, радиусы которых удовлетворяют

соотношению **mvkrk =к—** — (5). Решая совместно \пав-

**2** я

2 .2 т 2

нения (4) и (5), найдем **vk** = — и **гк** = ———. По рс-

***2s0kh тпе"***

зультатам вычислений составим таблицу.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **к** | **1** | **О** |  |
| V, **10° м с** | **2.18** | **1,08** | **0.7 5** |
| **г, 10 \*" м** | **52.9** | **211.6** | **•Гб.1** |

Решение:

Скорость движения электрона по **к** -й орбите v\* =

***2£q kh***

(1) (см. задачу 20.1). Кинетическая энергия электрона на

2

**к-й** орбите **WK(k) -** (2). Подставляя (1) в (2), полу-

***те\****

чим **WKrk \ =—■** По условию **к** = 1. Подставляя число-  
8 **c^lrk'**

вые данные, получим = 21,78 -**1**0**”19** Дж = 13,6 эВ. По-  
тенциальная энергия электрона =-21FK(,) =-27,2эВ.  
Полная энергия электрона **JVX** = **fVK^** + fFn(1) = —13,6 эВ.

1. Найти кинетическую энергию **IFK** электрона, находя-  
   щегося на **к**-й орбите атома водорода, для **к** = **1**,**2**, 3 п ос .

Решение:

Кинетическая энергия электрона на **к** -й орбите **WK^ = —~**

(см. задачу 20.2). Если **к** = 1, то **IV^** = 13,6 эВ. Если **к = 2,**То Жк(1) = 3,4 эВ. Если **к = Ъ,** то = 1,51 эВ. Если **к = <а,**

то ^(.) = **0**.

1. Найти период **Т** обращения электрона на первой боров-  
   екой орбите атома водорода и его у гловую скорость **со .**

Решение:

Радиус **к** -й боровскоп орбиты электрона в атоме водорода  
и скорость движения электрона по **к** -й орбите соответ-

***,2,2* •>**

***cnk h* ... *е~***

ственно равны **гк** = ——г (**1**) и **vk** (**2**) (см.

***яте 2i0kh***

задачу 20.1). Период обращения электрона **Тк -**

***2я1\.***

**(3). Подставляя (1) и (2) в (3), получим Тк =**

**4en2\*V**

**к 4**

***ms***

**— (4).**

Для **к =** 1 найдем **Тх** = 1,52-10~16с. Угловая скорость

движения электрона по **к**-й орбите **о)к** =— — (5).

***Тк***

Подставляя (4) в (5), получим **а>к** - ■ **m'ie. ,** . Для А'= **1**

**2^Аг3//3**

найдем лт, — 4,13 • 10**16** рад/с.

1. Найти наименьшую **Л„„„** и наибольшую **ЛШК** длины  
   волн спектральных линий водорода в видимой области спектра.

Решение:

Длины волн спектральных линий водорода всех серий оп-

**„ 1**

**1**

**1**

**ределяются формулой — = — -**

***Л \k~ п~ J***

-О)-

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **к** | // | Серия | Область |
| **1** | 2.3.4 ... | Лаймана | Ультрафиолетовая |
| **2** | 3.4.5 ... | Бальмера | видимая |
| 3 | 4.5,6 ... | Пашена | инфракрасная |
| 4 | 5.6,7 ... | Бреккета | инфракрасная |
| 5 | 6.7.8 ... | Пф\ ила | инфракрасная |

Таким образом, видимая область спектра соответствует  
значениям **к-2** и **н~3,** 4. 5 ... Очевидно, наименьшая

длина волны спектральных линий этой серии будет при

т /!\ 1 **R** , 4

/? = оо. Тогда из (I) имеем = — или **?.** = — = 36^нм

**?.**  4 **R**

(с точностью до грегьей значащей цифры). Наибольшая  
длина волны соответствует // = 3, при лом 1(> = 656 им.

1. Найти наибольшую длину волны в ультрафио-

летовой области спектра водорода. Какую наименьшую скорость  
**vnm** должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов  
-водорода ударами электронов появилась эта линия?

Решение:

**Длины волн спектральных линий водорода всех серий**

Г**I**

**1**

**определяются формулой — - Щ— — (1). В ультра**

***л* i, *к1 п~ j***

фиолетовой области **к -** 1 , **п -** 2. 3, 4 ... — серия Лаймана.  
Наибольшая длина волны соответствует **п** = **2** , тогда из (1)

**имеем**

**1**

**3 R**

**или л„**

**где R = 1,1-10' м**

**по-**

стоянная Ридберга. Подставляя числовые данные, получим  
**Ятах** =121 нм. С другой стороны, из соотношения де Брой-

h I **v'.n**

**-(3).**

**/;/1 V с**

**Приравнивая правые части соотношений (2) и (3). получим  
4 к ' ~**

**ля для релятивистских чаешц f**

**ЗЯ *mvn***

**I-**

**откуда наименьшая скорость, неоо-**

ходимая для появления данной спектральной линии, равна  
**jRhc** \_ = **1**.**88**-**10**" м/с.

V . =

***мм***

***\\6nrcr***

+ 9 **R4r**

Решение:

Потенциал ионизации **L\** атома определяется соо;но-  
шением **cU, =** Д , где Д — работа по удалению электрона  
с нормальной орбиты па бесконечность. Для атома водо-  
рода Д **= hv = liRc**(Д Ipl. При **к** = 1 и **п** = со имеем

**U‘ *и')***

**....** т. Д ,. , ...

Д = Мо. потенциал ионизации **V, =** —- = = 13,6 В.

***е с***

1. На(1ти первый потенциал возбуждения **L\** атома ы. ;о-  
   рода.

Решение:

Первый потенциал возбуждения атома водорода опре-  
деляется из закона сохранения энергии fFn(lj = /Рк(,( -

где В-Дц **= eU**i— (2) — потенциальная энергия электрона.

**необходимая для возбуждения. WK(k}**

***теА***

8 ellrk2

**— (3) i c.m.**

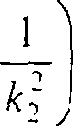
задачу **20**.**2**) — кинетическая энергия электрона на по -й  
орбите. Подставляя (2) и (3) в (**1**), получим

***те1'***

**8д/г**

1

***к\***



**откуда, учитывая, что к, - > и**

**~ „ .. 3 we'**

***к.***

**10.2 В.**

= **2**, найдем L , = —-

32£-q/г

1. Какую наименьшую энергию **Wmn** (в электронно •: V  
   должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов нл ю-  
   рода ударами этих электронов появились все линии всех серий  
   спектра водорода? Какую наименьшую скорость vm„, должны  
   иметь эти электроны?

Решение:

Все линии всех серий спектра водорода появятся при ио-  
низации атома водорода. Следовательно, наименьшая

**2**

энергия **Wmm =eV,** =— С). Поскольку И-',,.,. = 13.6эВ

**(см V задач\ 20.71 то из (П напд!**

**-Г**

**\ *in***

= **2**.**2**П**0**й м/с.

1. В каких пределах должна лежать энергия бомбар-  
   дирующих электронов, чтобы при возбуждении атома водорода  
   ударами этих электронов спектр водорода имел только одну  
   спектральную линию?

Решение:

Энергия, необходимая для перевода атома в первое воз-  
бужденное состояние, 1С,=10.2эВ (см. задачу 20.8).  
Энергия, необходимая для перевода атома во второе воз-  
бужденное состояние (fr = l, и = 3), И7,=12.1эВ. Таким

образом, спектр водорода будет иметь только одну спект-  
ральную линию, если энергия бомбардирующих электро-  
нов лежит в интервале 10.2 < **W <** 12,1 эВ.

1. Какую наименьшую энергию /Г„„„ (в электронвольтах)  
   должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водо-  
   рода ударами этих электронов спектр водорода имел три спект-  
   ральные липни? Найти длины волн Я этих линий.

Решение:

Длины волн спектральных линий водорода для всех серий

**определяются формулой j = R**

**J 1\_**

***к2 п2***

**— (1). Для серий**

Лаймона первые две липни будут иметь следующие длины  
волн: 1) Если **к —** 1 и **п —** 2, то Я, = 121 нм. 2) Если **к** = 1 и  
« = 3, то **Л2** =102.6нм. Кроме того, первая линия в серии

483

Бальмера при **к- 2** и **и = 3** суде! иметь длину **ыо,иы**= 656.3 им. Наименьшая энергия бомбардиру к'ь-;и\  
электронов, необходимая для возникновения лани:  
спектральных линии. **1C. .** по закону сохранения Э!**1**ерл;н  
будет равна энергии, необходимой для перевода атома щ  
основного во второе возбужденное состояние. : е.  
= \*2.03 эВ.

1. В каких пределах должны лежать длины воли **А** моно-  
   хроматического света, чтобы при возбуждении атома водоро.л  
   квантами этого света наблюдались три спектральные линии?

Решение:

Для наблюдения грех спектральных линий необходимо,  
чтобы мог осуществляться переход электронов в атоме  
водорода с первого электрического уровня на третий В  
этом слу чае будут наблюдаться две линии серии Лаймана  
и одна линия серин Бальмера. Формула, позволяющая  
найти длины волн, соответствующие линиям водородною

**1** **J** **1** И ,

спектра, имел вид — **-** R — - , где к и п — помора

***л -,к~*** /Г***)***

орбит, **R~-** 1.097 -10'м**"1** — постоянная Ридберга. 1оыа

, э \*>

\*"/Г 1Т „ ,

г-. Для минимальной длины волны **к-** I и

***R[>r-k?)***

9

**п-3.** следоваю'лыю. **Л** .. = — = 102.6им. Дтя максима. п>-

" **8** **R**

О

пой длины волны **к -** **1** и **п** = **3** . следовательно, Я = — - -

**8** л

= 102.6нм. **Для** максимальной длины волны **к- \** и и - 2.

4

следовательно. **Я„.=** — =121.5 нм. Таким ооразом-  
" 3 **R**

! **02.6** < Д <121,5 им.

1. На сколько изменилась кинетическая энергия электро-  
   на в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной  
   волны **Л** = 486 нм?

Решение:

Согласно второму постулату Бора частот излучения, со-  
ответствующая переходу электрона с одной орбиты па

другую, определяется формулой **/п'- АН'** или к = —

//

(1). С другой стороны, н = — — (2), где **c =** 3'10sm/c —

***Л***

скорость света, **Л** —длина волны излученного атомом фо-  
тона. Приравнивая правые части уравнений (1) и (**2**). полу-  
да с

чаем = —, откуда изменение кинетической энергии

***h Л***

***ch***

электрона **AJV** = — = 2,55 эВ.

1. В каких пределах должны лежать длины воли **Л** моно-  
   хромапгческого света, чтобы при возбуждении атомов водорода  
   квантами этого света радиус орбиты **гк** электрона у величился в  
   9 раз?

Решение:

Радиусы орбит, по которым возможно движение электро-  
нов в атоме водорода, согласно первому постулату Бора

удовлетворяют соотношению **щгкгк=к —** — (**1**). где

2/Т

**т** — масса электрона, **vf.** — ею скорость на **к** -й орбите.  
**гк** — радиус этой орбиты, **И** = 6.62 ■ КГ**''4** Дж е — посто-  
янная Планка. На электроны действует кулоновская сила

**FK**  —(2). которая является центростремительной

***Ш0гк:***

**„ *vk~***

и сооошает электронам нормальное ускорение **а„** =— \_

1. . По второму закону Ньютона **FK = та,,** — (**4**).

***1 2***

***а" у!***

Подставляя (2) и (3) в (4), получаем **- = т—** •— i >)

4 *гк*

где **е** = **1**.**6**-**10'19** Кл — элементарный зарод,

**с()** = 8,85• 10-|**2**Ф/м. Решая совместно уравнения **(1) и** i5)t

^ 2 2 ^

находим **гк** =——— — (б). По условию — = 9, тогда из  
**тпт~ ' >\**

формчлы (**6**) след>ет, что — = 3. Поскольку **п = 3к.** то ие-

***к***

реход электронов осуществляется между первым и т рет ь-  
им энергетическими уровнями, тогда (см. задачу **20**.**12**)  
длины воли 102,6 < **Я** < 121,5 нм.

1. На дифракционную решетку нормально падает ns ;:ок  
   света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом.  
   Постоянная решетки **d** = 5 мкм. Какому переходу электрона со-  
   ответствует спектральная линия, наблюдаемая при помощи ж>й  
   решетки в спектре пятого порядка под углом = 41° ?

Решение:

Согласно условию главных максимумов для дифрак-  
ционной решетки **dsincp = k/.** — (1). В нашем сл> лае

**к- 5. тогда из формулы (1) имеем**

***d sm (р***

***к***

**- *{-)■***

Изменение кинетической энергии электрона при псрех.'ле  
с одной орбиты на другую (см. задачу 20.13) определмо.ся  
**ch**

соотношением A**W =** (3). Подставляя (2) в (3). по. л-

Я

***chk***

чаем A**W** = = 1,89эВ. Подбором находим, что inxofi

***d sin (р***

переход возможен с **п** = 3 на **к** = **2** в серии Бальмера.

1. Найти длину волны де Бройля **А** для электрона,  
   движущегося по первой боровской орбите атома водорода.

Решение:

Длина волны де Бройля для электрона (см. -задачу 20.6)

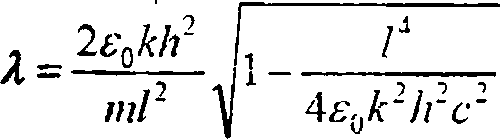
определяется соотношением А - **——•** Jl **--Ц- --- (I). где**

;п\\ V с

**vk=** — (**2**) (см. задачу **20**.**1**) — скорость электрона

**2 *c0kh***

на й;-й орбите. Подставляя (2) в (1). полvчаем



1. Найти радиус **>\** первой боровской электронной орби-  
   ты для однократно ионизированного гелия н скорость v, элект-  
   рона на ней.

Решение:

В однократно ионизированном гелии на электрон, дви-  
жущийся по первой боровской орбите, будет действовать

Ze2

сила Кулона **FK** = — (1), где Z — порядковый

4^о'Г

номер элемента в таблице Менделеева, е = 1,6-10**~19** Кл —  
заряд электрона, /•, — радиус первой боровской орбиты.  
Эта сила является центростремительной и сообщает элект-  
рону нормальное ускорение **а„** = — (**2**). где г, — ско-

рость электрона **на** первой боровской орбите. По второму  
закону Ньютона **FK - та,,** — (3). Подставляя (1) и (2) в (3),

v **2** **2**

Ze mv, **...**

получаем ~ =—- — (4). Согласно первому посту -

**4 лЖо'Г '1**

лату Бора движение электрона вокруг ядра возможно

**, *h .***

удовлетворяют соотношению **пп\гк-к** —, где **к** — **ч\>-**

**2**/Т

jj

мер орбиты. В нашем случае **к** = I. поэтому /ту-, = — —

**^ *~г***

1. , где /г — 6.62-10-'4 Дж-с — постоянная Планка. Роимая  
   совместно уравнения (4) и (5), находим радиус первой  
   боровской орбиты /•, и скорость электрона на ней, которые

***Ъ~ Zc~***

соответственно равны г, =—5—- = 26,47 пм и **1**’,=—-—^

***mnZe~ 2к к***

= 4.37-Ю**6** м/с.

20Л8. Найти первый потенциал возбуждения **U**,: а) одно-  
кратно ионизированного гелия: б) двукратно ионизированною  
лития.

Решение;

Согласно второму постулату Ьора частота излучения, со-  
ответствующая переходу электрона с одной орбиты на  
другую, определяется формулой **hv = IV, - Wk** — (1), где **к**и **п** — номера орбит, причем **п** > **к .** В нашем случае // = 2  
и **к -**1. В водородоподобных ионах частоты определяются

из соотношения **v = RcZ:\** Д- --Д |. где **R =** 1,097 -10 м : —

**\к-** /г;

постоянная Ридберга. Подставляя значения **к** и п для

1. ***JR.eZ ~***

нашего случая, получаем **v**  (**2**). Подставляя (2)

4

т п **7-1**

в (**1**), получаем —- = **IV„** - **Wk** — (3). Для возбуж-

4

дения Бодородоподобных ионов электроны должны обла-  
дать энергией **W -eU{,** тогда по закону' сохранения энер-  
гии **eUl = W„ -Wk** — (4). Приравнивая левые части ураз-  
488

потенциал возбуждения водородоподобного иона  
„ 3**RcZ2!,** ч \_

**нений (3) и (4). получаем eLr,**

***lRcZ:h***

4

**. откуда первый**

с/, = . а) Для однократно ионизированного гелия

4е

**Z** = 2, поэтому {/, **-** 40,8 В. о) Для двукратно ионизирован-  
ного лития **Z** -3 . поэтому **U,** =9!,**8**В.

1. Найти потенциал ионизации **V**,: а) однократно ионизи-  
   рованного гелия: б) двукратно ионизированного лития.

Решение:

Потенциал ионизации водородоподобного иона **U,** опреде-  
ляется уравнением **еЬ\ = А,** — (1), где **At** — работа уда-  
ления электрона с нормальной орбиты в бесконечность.  
Для водородоподобных ионов **A,=hv** — (**2**). где

***v = RcZ2***

***\к2***

**\_1**

***п***

**— (3). Подставляя (3) в (2), получаем**

***(***

**A, ~hRcZ‘** —г — (4), При **к -** 1 и **п** = сс формула (4)

***X " J***

примет вид **А,** = **hRcZ1** — (5). Подставляя (5) в (**1**), получа-

***hRcZ2***

**ем ellj = hRcZ2, откуда потенциал ионизации U,**

***е***

а) Для однократно ионизированного гелия **2 = 2.** поэтому  
{/, =54,5 В. б) Для двукратно ионизированного лития  
2 = 3, поэтому **U, =** 122,8 В.

1. Найти длину волны **Я** фотона, соответствующею пе-  
   реходу электрона со второй боровской орбиты па первою в  
   однократно ионизированном атоме гелия.

Решение:

Частота излучения фотона водородоподобным ионом (ем.  
задачу 20.18) при переходе электрона со второй борове о, нй

1. 3RcZ2

ороиты на первую равна **v =** — (1). С другой ед>-

**роны. »' = j ■— (2). где Л —длина волны фотона. Прир.-л-**

**нивая правые части уравнений (!) и (2), получаем  
£ 2 RcZ- 1 3 RZ2**

***Л***

***4***

**ил** и — = ■

***Л***

**откуда длина волны**

- . Для однократно ионизированного гелия Z

***3RZ-***

**поэтому / = 30.4 нм.**

1. Решить предыдущую задачу для двукратно ионизиро-  
   ванного атома лития.

Решение:

Длина волны фотона, соответствующего переходу **электро-**на со второй боровской орбиты на первую (см. задачу  
4

**20**.**20**). равна **Л=** г- Для двукратно ионизированного

**3 *RZ"***

лития Z = 3. поэтому **Л** = 13.5 им.

1. **D** -линия натрия излучается в результате такого пере-  
   хода с одной орбиты атома на другую, при котором энешня

атома уменьшается на Л/Г = 3,37-10“19 Дж. Найти длину' по пы  
**a D** -линии натрия.

Решение:

Изменение кинетической энергии электрона при переходе  
с одной орбиты атома на другую (см. задачу 20.13) равно

**bffl-** —, откуда длина волны  
**Л**

Л = — = 589 нм.

**D -линии натрия**

Д **W**

1. На рисунке изображена схема прибора для определе-  
   **ния** резонансного потенциала натрия. Трубка содержит пары  
   натрия. Электроды **G п А** имеют одинаковый потенциал. При  
   какой наименьшей ускоряющей разности потенциалов **V** между  
   катодом **К** п сеткой **G** наблюдается спектральная **линия с**длиной волны **Л -** 589 нм?

Решение:

По закону сохранения энергии потенциальная энергия  
электрического поля между катодом и анодом **W„ - eU** —  
(**1**) идет на изменение кинетической энергии электронов  
Лри переходе с одной орбиты па другую, которое (ем

***ch***

задачу 20.13) равно **AW** = (2). т. е. **W -AIV** — (3).

***А***

Подставляя (**1**) и (**2**) в (3). получаем **eU** = —. откуда уско-

***ch***

ряющая разность потенциалов **U =** — = 2.1 В.

***еЛ***

1. Электрой, пройдя разность потенциалов С/= 4.9 В,  
   сталкивается с атомом ртути и переводит его в первое возбуж-  
   денное состояние. Какую длину волны А имеет фотон, соответ-  
   ствующий переходу атома ртути в нормальное состояние?

Решение:

Ускоряющая разность потенциалов (см. задачу 20.23)  
**ch**

равна **U =** —. Отсюда длина волны фотона, соогвет-  
**еЛ**

ствующего переходу атома ртути в нормальное состоят-е.

***ch***

/. = = 5jj нм.

1. На рисунке изображена установка для наблюдения , i-  
   фракшш рентгеновских лучен. При вращении кристалла Г  
   ко тот луч будет отражаться на фотографическую пластик\*. /;.  
   .мина волны которого удовлетворяет уравнению Ву.тьу  
   Ьрзпа. При каком наименьшем угле о между мощно-, ,о  
   кристалла и пучком рентгеновских лучеП были отражены г. л-  
   Iеновские лучи с алnnoii волны /. =20пм? Постоянная реи.т.м!  
   кристалла с/ = 303 пм.

***eU***

Решение:

Наименьший угол соответствует спектру первого поря нм.

**т. с. / = 2*ds'mo.* откеда *sinq> - — -* 0.033 : *(р ■***

***2d***

1. Найти постоянную решетки **cl** каменной соли, т'.я  
   молярну ю массу // = 0.058 кг моль каменной соли и ее плот;-, i ь

/Л = 2.2 • 10 кт Чг. Кристаллы каменной соли облалают простой  
кубической сIру кту рой.

Решение:

Молярный объем каменном соли Г . Количество и- .же

***Р***

в молярном объеме равно 2ДЧ . Обьем. приходящийся mi  
,**. и**

о шн поп. I, -—: . отсюда расстояние между H.oiu.'oi.

п hi постоянная решетки, **d** = iff] - **•**———=281-И) ' м

**4** рР\л

20.2". При экспериментальном определении посю'пт-.'й  
Планка w при помощи рентгеновских лучей кристалл ус;.;--1'

вливается пол некоторым углом **о.** а разность потенциалов Б' ,  
приложенная к электродам рентгеновской трубки. > велнчпвлется  
до тех пор, пока не появится линия, соответствующая атоме  
углу. Найти постоянную Планка **h** из следующих данных-, крис-  
талл каменной соли усыновлен пол умом разность

потенциалов, при ко юрой впервые появилась линия, еомтвет-  
ствуюшая этому углу. (/ = 9 1 кВ: постоянная решетки кристалла  
rf = 281 им.

Решение:

При увеличении разности потенциалов Г. приложенной к  
электродам ренттеповской трубки, появляемся спск: ра.ть-  
ная линия в спектре первого порядка, длина волны ко юрой

Я удовлетворяет уравнению **cL' = hv = ~-** — (1). Но по

Я

формуле Вульфа — Брэгга Я = 2**d simp** — (2). Из (\) и (2)

, **cL'A cl.’-2d** . ,,..-.4 т.

находим **п**  **ми ip** = 6,6 10 Д>к с.

20.28. К электродам рентгеновской трубки приложена раз-  
ность потенциалов **U** = 60 кВ. Наименьшая длина водны рент-  
геновских лучен, получаемых от этой трубки. Я =20.6 им. Найти  
из этих данных постоянную **h** Планка.

Решение:

Частота i'0= —— — (I). соответствх тощая коротко-

го

волновой границе сплошного ретгенопского encKipa. где  
Я„„„ — наименьшая длина волны рентгеновских лучей,  
получаемых от тгой трубки, может быть найдена из  
соотношения **1п'0-сС** — (2). Подставляя (1) в (2),

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **получаем** | **he**  **= си . откола**  Д„-,„ | **постоянная** | **! Бланка** |
| **Ь-еи\*** | - 6.62 **-**10**"'1** Дж-с. |  |  |

с

1. Найти хишу волны , определяющие) ког-с :;.о-  
   волновую фаницу непрерывного рентгеновского спектр;;. ; ,яслучаев, когда к рентгеновской трубке приложена р.,;; \_.г

потенциалов **L** . равная; 30. 40. 50 кВ.

Решение:

Частот г, — (I). соответствующая короткопол- м.  
/.

i ранние сплошною ренм сновекого спеюра (с.м п20.28). может оыть найдена **т** соотношения **h\\** - ;

(2) Подставляя (1) в (2), полтчас.м **— = eL\** отк\да щ s

волны, определяющая коротковолновую границу щ;-

, **he** \_ ,.

(пивного рентгеновского спектра. / = . Если **L** , - .V ,.В.

***е I;***

то = 43.1 п.м. Если LE = **40kB,** то Л,=31пм. 'гели  
(\ -50 кВ. то = 24,8 пм.

1. Найти длину волны **Л** , определяющую короткою шо-  
   вую границу непрерывного рентгеновского спектра, если и ст-  
   но. что уменьшение приложенного к рентгеновской трубч. на\*  
   пряжения на **\U =** 23 кВ увеличивает искомую длину во . в  
   2 раза.

Решение:

Длина волны, определяющая коротковолновую грчщцу  
непрерывного рентгеновскою спектра (см. задачу 2“ 29).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| - **Ilc**  **равна** /. = **—: —** (i). **eL** | **По условию** | **2**/. | **he**  **е(и -AL')** |  |
| **Разделив (2) на** ( | **1**), **получаем** |  | **V** , | -• • U |
| **L** | **J-AU** |  |
| ( -**2**АГ — (3). | **Подставляя** | **О)** | **в (1), пол;** | ■ .ДМ |
| / - **1К - 21** **им. 2eSU** |  |  |  |  |

1. Длина волны гамма-излучения радия **Л =** **1.6** г.м. Какую  
   разность потенциалов **U** надо приложить к рентгеновской  
   трубке, чтобы получить рентгеновские лучи с этой длиной  
   волны?

Решение:

Длина волны гамма-излучения радия (ем, зада**1he**

**iy 20.29)  
колору ю  
трубке.**

равна я = . Отсюда разносib пшенциалов,

***eU***

необходимо приложить к рентгеновской

**U** = — = 775 кВ.  
**еЛ**

1. Какую наименьшую разность потенциалов **U** нало  
   приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить все линии  
   /(-серии, если в качестве материала антикатода взять: а) медь:

б) серебро; в) вольфрам: г) платину?

Решение:

Все линии /(-серии (а также линии остальных серин)  
появятся одновременно, как только будет удалей электрон  
с /(-орбиты атома. Для этого надо приложить разность по-  
тенциалов **U**. удовлетворяющую соотношению **eU = hv =  
he**

= —, где я — длина волны, соответствующая переходу

***Л***

бесконечно удаленного электрона на /(-орбиту, т. е. длина  
волны, определяющая границу /(-серии. Для нашего слу чал  
длина волны **Л** равна (см. таблицу 19): а) 138пм; б) 48,4пм:

в) 17,8пм; г) 15,8пм. Искомая разность потенциалов

найдется по формуле **U =** —. Подога: ляя числовые

***еА***

данные, получим следующие значения .Па разности  
потенциалов **U :** а) 9 кВ: б) 25,3 кВ; в) 69 кВ; г **1** 79 кВ.

1. Считая, что формула Мозли с достаточной степенью  
   точности дает связь между длиной волны **Л** характеристических

рентгеновских лучей и порядковым номером элемента Z . ,!;торого сделан антикатод. naiiTM наибольшею длину во.i;;. -  
линий А’-серпп реи поповских лучен, даваемых трубкой с а;,  
толом иг а) железа: б) меди: в) молибдена: г! .„ч.\

Д) галла кг е) вотьфрама; ж) плагины. Для А-серии посч.; \_  
экранирования **h** =I.

Решение:

Имеем — - R[Z **-к**)‘j Дг-—г| — (1). Наибольшая л ■ !Д

водны **К** -серии соответствует линии **Ка** . При этом в р.  
муле (1) .мы должны положить Ь **=** I. **k-** 1. **п-2.** Ро ля  
уравнение (1) относительно /. и подставляя числовые . :,н-  
пые. получим значения , равные: а) 194 им; б) 15;Мч;  
в) 72пм: I.) 57.4п.м; д) 23.4пм: **е)** 22.8пм; ж) 20,5пм. ,хс-  
перимснтально найденные значения длин воли **А** ,ы. дц  
Аф следующие: а) 194пм: б) 154пм; в) 71.2пм; г) 56**.'him;**

д) 22г:м; с) 2] ,4п.м: ж) 19пм.

1. Ha/irn посгояниую экранирования **b** для /. -ни  
   рентгеновских лучен, если известно, что при переходе эле к - -на  
   м атоме вольфрама с **М -** на /.-слой попускаются ренпен-.'.- ие  
   лучи с длиной волны /. -• !43 пм.

Решение:

Ilcpcxoj электрона с **М-** па I-е лом соответствует ю-

миям **к -** 2 и **и** - 3 Порядковый помер вольфрама г. . вт-  
не Менделеева / - 74. Из формулы Мозли ю - ем

-=**—**— . Подставляя числовые дао >е.

\/-/\|! /. — ! /Г!

но.!\ чим л - 5.5 .

2У.35. При персчо тс элсктротта в аю.ме с /. - на **К ■■** 11

испускаются рентгеновские лучи С Длиной ВОЛНЫ А - М! '• 'л!Какой это аюм? Для -серим not ючнпая экранирования " ■

496

Решение:

Длина волны рентгеновских характеристических .ч> чей  
может быть найдена по формуле Мозли **~-R[Z.-b**)"х

**1 *])***

— г I — (**1**). где / — порядковый номер элемента,

***\к~ и'j***

**b** — постоянная экранирования. При этом для А'-серии

***кп***

**к = 1 и п = 2. Из форму лы (1) находим Z**

+ **6** = 40. По таблице Менделеева находим, что элемент с  
порядковым номером Z = 40 —цирконий.

1. Возду х в некотором объеме **V** обличается рент-  
   геновскими лучами. Экспозиционная доза излучения D, = 4,5 Р.  
   **Какая** доля атомов, находящихся в данном объеме, будет **иони-  
   зирована** этим излучением?

Решение:

По определению экспозиционной дозы излучения  
гч ДС>

и, = — (I). где АО **- \ .ге** — (2) — суммарный э.тскт-

***Ат***

рический заряд всех ионов одного знака, созданных  
электронами, освобожденными в облученном воздухе при  
условии полного использования ионизирующей спосо-

\ •

бности электронов. **Ат = --—и** — (3) — масса воздуха.

Подставляя (**2**) и (3) в (**1**). получаем **D, =**

-V ■'>

— . откмда

**А и**

**У**. **jiD** ,

**-7- 1. воз-**

**А -V.0**

**азотом с моляр-**

доля атомов, ионизированных излучением,  
дух в первом приближении можно считать

ной массой **/и ~** 0,028 кг/моль. Подставляя числовые дан-  
ные. получим = 3,42 • 10’10.

А'

1. Рентгеновская трубка создает на некотором рассюянлн  
   мощность экспозиционной дозы Р2 **=** 2,58-10'5 А/кг. Какое число  
   Дг пар ионов в единицу времени создает эга трубка на единицу  
   массы воздуха при данном расстоянии?

Решение:

По определению мощности экспозиционной деды

излучения **Р.** =— — (1), где **D..** — (2) — эксно-

**э *At Ат***

зиционная доза излучения, **At** — интервал времени, за ко-  
торое получена эта доза, **Ат** — масса ионизированного  
вещества, A**Q~Ne** — (3) — суммарный электрический  
заряд всех ионов одного знака. Подставляя (2) и (3) в **{**1),

Ne *Р* \(Ч

полу чаем **Р2** = , откуда число пар ионов **N =** ——- .

***At Ат с***

По условию А/ = 1с и Am = 1кг, тогда, подставляя зна-  
чения, находим **N** = !,61 •! О14 с"1 -кг'1.

1. Воздух, находящийся при нормальных условиях в  
   ионизационной камере объемом К = б ему облучается ренгге-  
   новскими лучами. Мощность экспозиционной дозы рент..ве-  
   ских лучей **Р2** =0.48мР/ч. Найти ионизационный ток насыщения

А-

Решение:

По определению мощности экспозиционной дозы те-  
чения **Ръ - —L** — (1), где Z), = — (2) — экс! io-

***At Ат***

зиционная доза излучения, **At** — интервал времепк. за  
которое получена эта доза. Подставляя (2) в (1). полу-  
498

1. . Ионизационный ток насыщения

\_Д0

П АО  
чаем Р, = —=—

***Am\t***

**/„ =**

A **t**ионов одного знака ДО = /НД/ — (4). Подставляя (4) в (3),

получаем **Ру = Ги~щ** откуда ионизационный ток насыщения  
Д;//

/н **= РуАт** — (5). Из уравнения Менделеева — Клапейрона  
**.. Ат** \_\_

**ру** = **КТ,** учитывая, что молярная масса воздуха

***Р***

**р = 0,029 кг/моль, получаем Ат =**

***рУи***

ИГ

**(6). Подставляя**

/с\ *г PyPVP*

(о) в (5), окончательно находим /н = ——— или

***RT***

**.** 0,48 10'3 -1.013-105 - 6 1 0-6 - 29-КГ3 |Л.Р А.

3,6-10'-8,31-273

1. Найти для алюминия толщину л,/2 слоя половинного  
   ослабления для рентгеновских лучей некоторой длины волны.  
   Массовый коэффициент поглощения алюминия для этой длины  
   волны **рк** =5,3м:/кг.

Решение:

Интенсивность пучка рентгеновских лучей, прошедших  
сквозь пластинку толщиной .г, определяется формулой

/ = /0е'ш — (1), где /„ — интенсивность пучка, пада-  
ющего на пластинку, // —линейный коэффициент погло-  
щения. Массовый коэффициент поглощения //м связан с  
линейным коэффициентом поглощения **/л** соотношением

**Мм= — ,** откуда // = **рыр** — (2). Подставляя (2) в (1). полу-  
**Р**

\* Ответ не совпадает с ответом первоисточника (2,7-10'16 А).

499

чаем **I- I(je**л — (3). Пройдя поглощающий слои Пу-  
щиной. равной толщине слоя половинного ослабления  
•vJ/;. рентгеновские лучи будут иметь интенсивность

**I**— (4). Подставляя (4) в (3), полуещм  
**— = е.\р(- p^pxi/2)** —(5). Прологарифмировав выражен нс

(5). получим искомое значение толщины слоя половинною  
**In 2**

ослаолеиия. лу-> = = 0.5 мм.

***Р,.Р***

1. Во сколько раз уменьшится интенсивность рент-  
   геновских лучеП с длиной волны / = 20пм при прохождении  
   слоя железа толщиной **d =** 0.15 мм? Массовый коэффициент по-  
   глощения железа для этом длины волны //., = !,1 м2;кг.

Решение:

Интенсивность пучка рентгеновских лучей, прошедших  
сквозь пластинку толщиной **d** (см. задачу 20.39). раина

1. = /„ ел**-р** (- /г,, **рd**), откуда -у = **ехр**(//,, **pd) =** 3.68 .
2. Найти толщину д1/2 слоя половинного ослабления юя  
   железа в условиях предыдущей задачи.

Решение:

Толщина слоя половинного ослабления (см. задачу 20..'9)  
**In 2**

.г, , = = 79.76 мкм.

***И,:Р***

1. В нижеследующей таблице приведены для некой пДхматериалов значения толщины слоя .\-,/2 половинного ст.-б-  
   дения рентгеновских лучен, энергия которых IV = 1 МэВ. Н.шШ  
   линейный // п массовый /у коэффициенты поглощения ;л|4

материалов для данной энергии рентгеновских лучей. Для какой  
длины волны а рентгеновских лучей получены эти данные?

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вещество** | **Вода** | **АлюминиП | Железо** | | **Свинец** |
| **\*1,2, СМ** | **10.2** | **4.5** | **1,56** | **0.87** |

Решение:

Толщина слоя половинного ослабления (см. задачу 20.39)  
jrt/2 = . отку да массовый коэффициент поглощения

Дм *Р****In 2***

— (1). С дрчгой стороны, = (2). При-

*Р*

**Дм =**

*х\пР ' Р*

равнивая правые части уравнений (1) и (2), получаем

— (3). Подставляя числовые данные в формулы

Л"|/2

(1) и (3), заполняем таблицу.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вещество** | **В о.1 а** | **Алюминий** | **Железо** | **Свинец** |
| **хш,** **см** | **10.2** | **4.5** | **1.56** | **0.87** |
| **р,** **кг/м-'** | **1000** | **2600** | **7900** | **11300** |
| **.дм-1** | **6.7** | **16** | **44** | **77** |
| **Мм, 10\_3 м2/кг** | **6.7** | **6.2** | **5,6** | **6.8** |

Энергия рентгеновских .лучей равна **IV - hv** = **h—** . откуда

длина волны /. = — = 1.24 пм.

***IV***

1. Сколько слоев половинного ослабления необходимо  
   для уменьшения интенсивности рентгеновских лучей в 80 раз?

Решение:

Интенсивность пучка рентгеновских лучей, прошедших  
сквозь пластинку толщиной **d** (см. задачу 20.39). равна

***1 = I0exp(-*//м*pd).* откуда *^- = exp(papd)* — (I). Поусловию** -у-**= 80 — (2). Подставляя (**2**) в (1) и логариф-  
мируя полученное уравнение, находим /л 80 =** *МЫР^* **> от-  
куда толщина слоя, необходимого для уменьшения интен-**

/и 80

**сивности рентгеновских лучей в 80 раз, равна** d -

1. . Толщина слоя половинного ослабления интенсивности.

„ In 2

**— (4). Количество**

рентгеновских лучей равна xin =

М\* Р

слоев, необходимое для уменьшения интенсивности в 80

раз, равно п - — (5). Подставляя (3) и (4) в (5), полу-

\*1/2

In 80

**= 6,32.**

чаем п

*In 2*