В лом разделе используются данные таблиц 3 и 21 из при-  
ложения. В задачах 22.22. 22.31 дан авторски!) вариант решения.

1. Найти число протонов и нейтронов, входящих в состав  
   ядер трех изотопов магния: а) ;**JzMg\** б) **]lMg\** в) ,:,6A/g .

Решение:

Ядро обозначается тем же символом, что и нейтральный  
атом: **%Х,** где **X**— символ химического элемента; Z —  
зарядовое число (атомный номер, число протонов в ядре);  
**А**— массовое число (число нуклонов в ядре). Число  
нейтронов в ядре **N = A -Z** . С учетом сказанного найдем:

а) ядро содержит 12 протонов и 12 нейтронов; ядро

**]\Mg** содержит 12 протонов и 13 нейтронов; ядро **]%Mg**содержит 12 протонов и 14 нейтронов.

1. Найти энергию связи **IV** ядра изотопа лития **]Li.**Решение:

Энергия связи ядра любого изотопа определяется со-  
отношением **W** = **с2 Ат**, где **Ат** —разность между массой  
части, составляющих ядро, и массой самого ядра. Оче-  
видно. **Ат** = **Znip +(Л —Z)тп -** /;/я, где **т**р— масса про-  
тона, **т**п— масса нейтрона, **т**я— масса ядра изотопа. Т. к.  
**тя = тА -Zmc.** где **т**с— масса электрона, **т**А— масса  
изотопа, то **Am = Zni\ +(A-Z)mn-niA.** С помощью

таблицы 21 найдем **Ат** = (3-1,00783 + 4-1,00867-7,01600) =  
= 0,04217 а.е.м. Массе I а.е.м. соответствует энергия  
931МэВ (см. задачу 17.20), энергия связи ядра **\Li** будет  
528

равна **IV =** 0,04217'931 =39,3 МэВ. Эту энергию надо  
затратить, чтобы расщепить ядро **\ Ы** на нуклоны.

1. Найти энергию связи **W** ядра атома гелия **\Не.**

Решение:

Энергия связи ядра любого изотопа определяется со-  
отношением **IV = с2Ат** — (1), где **&m = Zmp+(A-Z)x**х **тп** - **тя** — (2) — разность между массой частиц, со-  
ставляющих ядро, и массой самого ядра, Z — порядковый  
помер изотопа, **А** — массовое число, **тр** — масса

протона, **т„** — масса нейтрона, **тя** — масса ядра изотопа.  
Поскольку тя **=** та -Zme —(3), где та **—** масса изотопа и  
**тс** — масса электрона, то, подставляя (3) в (2), получаем

**Ат = Zm, +(A-Z**)//;„ - **та** — (4). Подставляя (4) в (1),

***\н***

окончательно получаем **W = с‘**

***Zm, + (A-Z)m„***

Для гелия **2Не: А = 4, Z = 2, та=** 4,0026а.е.м. Кроме то-  
го, 1,0078 а. е.м. и **т =** 1,0087 а.е.м. Подставляя

I''

числовые значения, получаем **W** = 28,6 МэВ.

1. Найти энергию связи **W** ядра атома алюминия **А1**.  
   Решение:

Энергия связи ядра любого изотопа (см. задачу 22.3) равна

**IV = с2**

2ЩН +(A-Z)»n

**Для алюминия А1:**

**А** = 27, Z = 13 и **та** 26.9815 а.е.м. Подставляя числовые  
данные, полччим **IV** = 227 МэВ.

1. Найти энергию связи **W** ядер; а) **\ Н** ; б) ] Не. Какое из  
   этих ядер более устойчиво?

Решение:

Энергия связи ядра любого изотопа (см. задачу 22.3) равна

***W = c2*** *Zm,* ***+(Л-****Z)mn* ***-та* . а) Для ядра *\Н \ А-*3,**

1 J

**Z**-1 и **т0 =** 3.0161 а.е.м. Подставляя числовые данные,  
получим И7 = 8,52 МэВ. б) Для ядра **\Не\ А =** 3, 2 = 2 и  
**та** = 3.0160 а.е.м. Подставляя числовые данные, получим  
**W** = 7.81 МэВ. Поскольку энергия связи ядра **\Н** больше,  
чем ядра , **Не**, следовательно, ядро **f II** более устойчивое.

1. Найти энергию связи приходящуюся на один ну-  
   клон в ядре атома кислорода **160.**

Решение:

Энергия связи ядра любого изотопа (см. задачу 22.3) равна

**т„** — (1). Энергия связи, при-  
**W**

Z">i **+ *(A- Z)iv„-***

***ГГ = с~***

холящаяся на один нуклон в ядре, равна **JV0** =— — (2).

***А***

Подставляя (1) в (2), получаем fV0~— Zm, + (а~ Z)m„ —

2 **г**

**A** L I"

-w„]. **Для** кислорода **'s60: А-**16, Z = 8 и

**та -**15.9994 а.е.м. Подставляя числовые данные, получим  
= 7.78 МэВ.

1. Найти энергию связи **1У** ядра дейтерия f **Н .**

Решение:

Энергия связи ядра любого изотопа (см. задачу 22.3) равна

***П***

***-)***

***с~***

**Zm\n +(^“ZK**

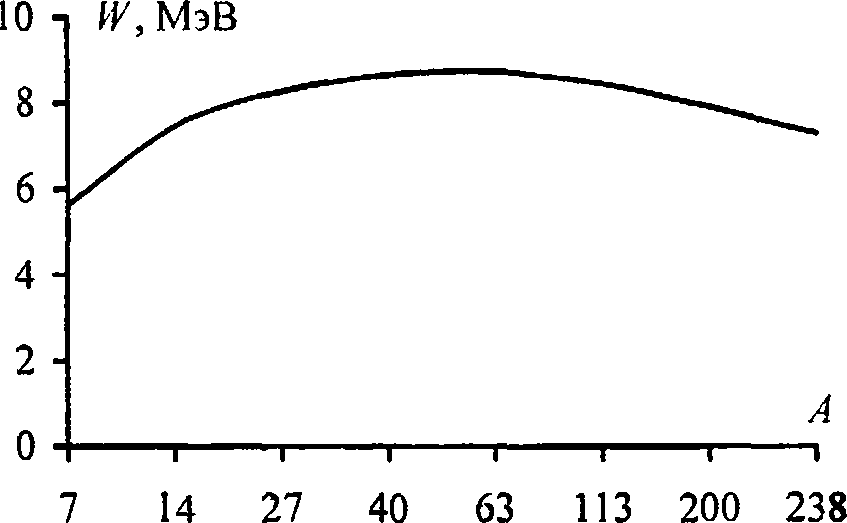
**. Дзя дейтерия ^ Н : /4=2,**

**Z~l** и **ma -** 2,0141 а.е.м. Подставляя числовые данные,  
получим **W -** 2.25 МэВ.

1. Найти энергию связи **IV0,** приходящуюся на один  
   нуклон в ядрах: a) ] **Li**; б) **14 N**; в) г) **f0Ca**; д) **%Си**;

е) **\lfCd** ; ж) ; з) **.** Построить зависимость Ж0 = /(**А**),  
где Л —массовое число.

Решение:



Между энергией и массой любого вещества существует  
связь, которая дается уравнением Эйнштейна **W** = **тс**2, где  
с»3-108м/с — скорость света в вакууме. Под энергией  
связи понимают энергию, которая высвобождается в  
процессе образования из нуклонов атомного ядра, т. е.  
**(Усв - Ате**2, где **А/» - [Z)»p +(A-Z)/>/„ -тш\** — дефект

массы этого ядра, Z — атомарный номер, **А** — массовое  
число. Энергия связи, приходящаяся на один нуклон,

***(Zmn*+U*-z),n„-У***

f,y — — — .

**0 *А А***

**(3-1,67 + 4-1,68-7-1,6б)-10'27-9-1016**7

= 0.089 -Ю'"Дж = 5.62 МэВ.

**а) *JV0 =***

б) **W0** =

в) **W0** =

г) **IV0** =

Д) =

е) ^0 =

ж) =

**з) ^0 =**

**22.9.**

**’£/+: л**

**(7 -1,67 + 7 -1,68-14- 1,6б)-10~27 - 9-10!6**14

= 0,12-Ю'"Дж= 7,53 МэВ.

**(131,б7-ь14-1,68 — 27-1.6б)-10~27 -9■ 1016** \_

27

= 0,134- 10~"Дж=8,35 МэВ.

**(20-1,67 + 20-1,68-40-1,66)-10~2" - 9-1016** \_

40

= 0.137-10"" Дж= 8,55 МэВ.

**(29-1,67 + 34-1,68-63 1,66)-10~27-9-10!6** \_

63

= 0,141-10'" Дж = 8.75 МэВ.

**(48-1,67 + 65-1,68-113-1.6б)-10~г -9-1016** \_

113

= 0,135 ■ 10“" Дж = 8.48 МэВ.

**(80-1,67 + 120-1,68-200-1, бб)-10~27-9-1016**

200

= 0.127-10'" Дж= 7,93 МэВ.

**(92-1.67 + 146-1,68- 238-1,66)-10'27 -9-1016 \_**

238

= 0,0122-10'" Дж = 7.62 МэВ.

Найти энергию **О,** выделяющуюся при **реакции**->\* **Не+] Не.**

Решение:

Изменение энергии при ядерной реакции **О -с2 х  
xCL,??i** — (0- Сумма масс исходных частиц

1. ;?1 =(**7**,01600 + 1,00783) = 8,02383 а.е.м. Сумма масс  
   образовавшихся частиц У **т2** = (4,00260 + 4,00260) =

= 8.00520 а.е.м. Таким образом, дефект масс

**Ат** = 0.01863 а.е.м. Тогда из(1) найдем £) = 17,3 106эВ.

1. Найти энергию **Q,** поглощенную при реакции  
   у **+;** Не **и +‘7 о.**

Решение:

Изменение энергии при ядерной реакции **Q = c**2х

xS>i - У] **т2**), где У] и?, —сумма масс частиц до реак-  
ции, У **т-,** — сумма масс частиц после реакции. В нашем  
случае У»?, =/ниv **+»UHe** =18,0057а.е.м., а У**т2 = т\и** +  
+ **mXn0** = 18,0069 а.е.м. Поскольку У»?!<У«;2, то реак-  
ция идет с поглощением тепла. Подставляя числовые дан-  
ные, получим £? = 1,13МэВ.

1. Найти энергию **Q**, выделяющуюся при реакциях

а) |~ Н +^ // —>] Н +j’ Н ; б) р Н +i Н —>J Н +J, //.

Решение:

Изменение энергии при ядерной реакции **Q-c1** х

xEmi — у^ /7?2) (см. задачу 22.10). а) у«?, **-nhH +п,^и =**

**-** 4.0566 а.е.м.. а У н/, **=/??,+///-=** 4,0239 а.е.м. По-

скольку У^//?|>У^т2» то Реакдия идет с выделением

тепла. Подставляя числовые данные, получим

533

£> = 3,l I МэВ. б) У ;»,=ш, **+//;,=** 4,0566 а.е.м., а  
**У,** **ш2 = Шу н** + ///, ; - 4,0247 а.е.м. Поскольку У **т{** > У **>п2,**

то реакция идете выделением тепла. Подставляя числовые  
данные, получим 0 = 3,01 МэВ.

1. Найти энергию **О,** выделяющуюся при реакциях:

**а) *-Н+1 Не^\ Н+\ Не:* б) *\Li+] Н -\*\* He+t Не:***

***в)* j *Li* +| *И* ->■: *He+i He.***

Решение:

Изменение энергии при ядерной реакции **Q = c2x**Х(У'”| “У »ь) (см. задачу 22.10). a) У w, = **+»hHe** =

= 5.0301 а.е.м., а У»;,=и/, = 5,0104 а.е.м. По-

**" j *{I 2 я\*\****

скольку У»?, >У»ь , то реакция идет с выделением теп-  
ла. Подставляя числовые данные, получим **Q-**18.5 МэВ.

б) £/н, = **ть** + w»;w = 8,0292 а.е.м., а У **щ = т,ш** +

+ н;4 = 8,0052 а.е.м. Поскольку У **mi >** У **пи** . то реакция

идет с выделением тепла. Подставляя числовые данные,  
получим **Q =** 22.5 МэВ. в) У«/, +n,j# =

= 7.0229а.е.м.. а У///•,=/», + /». = 7.0186 а.е.м. По-

" \* “ 2 гн' 2'

скольку у т, > У **т:.** ю реакция идет с выделением теп-  
ла. Подставляя числовые данные, получим **Q-** 4,04 МэВ.

1. Какую массу **М** воды можно нагреть от 0° С до  
   кипения, если использовать все гелло, выделяющееся при ре-  
   акции з **Ц{р,а),** при полном разложении массы **т =** 1 г лития?  
   534

Решение:

Напишем уравнение реакции ’ **Ы** +[ **р** ->2 **сс+\а .** Коли-  
чество тепла, выделяемое при распаде одного ядра,  
=с2(^я7,+^w2). Полная энергия, выделенная при

***т***

**распаде, Q = NQ{**

**— где *N =—NaМ***

**число ядер ]Ы;**

Л'д = 6,023 • 1023 моль 1 — число Авогадро. Количество теп-  
ла, необходимое для нагревания воды, **Q = cBM(t2** По  
условию все тепло, выделенное при реакции, идет на

нагревание воды, поэтому — **Nhc2{^iV\ ~^,т**2**)=**

= свЛ/(/2 - . Отсюда **М =** “т ^ .

**Под-**

***-h)***

ставляя числовые данные, получим **М** = 563 т.

1. Написать недостающие обозначения в реакциях:
2. ***flAi(n,a)x;* б) *^F{p,x^O;* в) *^Мн(х,м^Ре*; г) *^At(a,p)x;*д) *2 N{n,x% С* ;** е) ***Na.***

Решение:

а) Запишем уравнение реакции **]l А1** +1, **п** ->2f **х+\а.** Зная  
заряд ядра, по таблице Менделеева найдем, что **х** —  
**Na** —натрий, отсюда окончательно **Ц Al{fi,a^\ Na.**

б) Запишем уравнение реакции J,9.F+|/?-»g6 **0+\х.** Сле-  
довательно, х— **2а >** отсюда окончательно 'д9 F(p,a)ls60.

в) Запишем уравнение реакции 23 **Мп** +| **х ~>236 Fe+'0n.** Сле-  
довательно, **х** — **\р** , отсюда окончательно **\\Mn(p,nf2lFe.**

535

г) Запишем уравнение реакции **]\А1** **+2** **a** .v+J **р** . Зная  
заряд ядра, по таблице Менделеева найдем, что л\* — **Si** —  
кремний, отсюда окончательно f3 **Al(a,p)^Si.**

д) Запишем уравнение реакции **N** +J, **п ->‘64 С** +| **х** . Сле-  
довательно, д- — **\р** , отсюда окончательно ^ **N(n, р)'^ С** .

е) Запишем уравнение реакции f25.r+J **р Na+\ а** . Зная  
заряд ядра, по таблице Менделеева найдем, что **х** —  
**Mg** —марганец, отсюда окончательно f3**Mg{p,a)2l2l Na.**

1. Найти энергию **О**, выделяющуюся при реакции

**з *Li* +j *Н* —*Bt2+0 п .***

Решение:

Изменение энергии при ядерной реакции **Q = c2х**(см. задачу 22.10;. В нашем случае

**Z**

**iih -ту,.** + »«■. =9.0301 а.е.м., а У/и, = **т\*** „ + /и, =

1 **iLi** ^ 2 **\Ве** {,«

= 9,0140 а.е.м. Поскольку т, > 5 то реакция идет **с**

выделением тепла. Подставляя числовые данные, получим-  
ся 15.12 МэВ.

1. Найти энергию **Q**, выделяющуюся при реакции

**]Ве+** f **Н Be** +; И.

**Решение:**

**Изменение энергии**

х (Z \_ X nh-) (см-  
2>.=-

**Шг**

**Яе**

**при ядерной реакции Q~c2x  
задачу 22.10). В нашем случае  
1.0263 а.е.м., а У/?ь=ш,0„ +;», =**

***t—»\*- '"Be ‘nil***

выделением тепла. Подставляя числовые данные, получим  
**О -** 4,42 МэВ.

1. **При** бомбардировке изотопа азота **N** нейтронами  
   полз чается изотоп углерода , который оказывается **/3** -ак-  
   пшиым. Написать уравнения обеих реакций.

Решение:

По условию уравнение первой реакции имеет вид  
-4 ,V+J, **иС+J** .г . Следовательно, **х** — есть **\р** и  
**первое** уравнение окончательно запишется в виде  
-4 Л' **~0 п** ->J;4 **С** +J **р** или **N(n,p)'b С .** По условию изотоп

**С** оказывается /7-радиоактивным, т. е. испускает  
электроны, поэтому е+74 **х.** По заряду ядра из

таблицы Менделеева найдем, что л- —■ **N** — азот, отсюда  
уравнение второй реакции имеет вид б4С-»°, е+74 **N .**

1. При бомбардировке изотопа алюминия **™Л1 а -** час-  
   тицами получается радиоактивный изотоп фосфора **™Р,**который затем распадается с выделением позитрона. Написать  
   уравнения обеих реакций. Найти удельную активность **ат**

изотопа **1°Р**, если его период полураспада **Ти2** = 130 с.

Решение:

По условию уравнение первой реакции имеет вид  
р **Л1+i а** р+’0 х. Следовательно, х — есть J,;? и  
первое уравнение окончательно запишется в виде  
**р AU** **+2** **а р** +о **п** или р **Al(a,n)fs р** . По условию

537

изотоп **]5р** оказывается радиоактивным и распадается с

излучением позитрона, поэтому х. По заряду

ядра из таблицы Менделеева найдем, что **х** — **S** — сера,  
отсюда уравнение второй реакции имеет вид  
j’j **р е S.** Период полураспада определяется как  
„ **hi 2** , 0,693

**Т{ 2**  , отсюда **л =** — постоянная распада.

***Я Ти2***

Активностью вещества называется физическая величина

**А = AN,** где **N = — N4** — число делящихся ядер. Тогда  
**И**

**л** 0,693/Л;УЛ **А** 0,689ЛГД

**А =** — . Удельная активность **а,„** = — — =

***Ти2р m Ti/2ju***

= 1,07 • 1023 Бк/кг.

1. При бомбардировке изотопа **„Net** дейтонами обра-  
   зуется **Р** -радиоактивный изотоп **^ Na.** Счетчик **р** -частиц уста-  
   новлен вблизи препарата, содержащего радиоактивный **\*\*Na.**При первом измерении счетчик дал 170 отбросов за 1мин, а  
   через сутки — 56 отбросов за 1 мин. Написать уравнения обеих  
   реакций. Найти период полураспада ^1/2 изотопа fj1 **Na.**

Решение:

По условию уравнение первой реакции имеет **вид**^ **Na +] d Na +\х .** Следовательно, \* — есть ] **р** и  
первое уравнение окончательно запишется **в** вида  
**и Na+i dNa+\ р** или 2,3 **Nf(d, p)^Af Na.** По условщо;

изотоп **it Na** оказывается /?-радиоактивным, т. е.  
испускает электроны, поэтому ,2/ **Na в х.** По заряду  
ядра из таблицы Менделеева найдем, что **х** — **Ne** —  
538

**неон, отсюда уравнение второй реакции имеет вид**

Ха **->°| е +[д Хе . По закону радиоактивного распада**

**\**

***X -***

**N о**

**t N0 t , N0отсюда 2——=——— = /0^—7-**

***-t ' T\/2* ^i/2**

***/n{X0/N) ln{N0/N)***

**In 2 0,693**

***tin 2***

***N***

*‘1/2*

***N )***

**Тогда период полураспада**

***Tu2 =***

***ln{N0/N)***

**= 14.97ч.**

1. Какая энергия **Qt** выделится, если при реакции  
   **\ Л1НеSi+\ Н** подвергаются превращению все ядра,  
   находящиеся в массе **т** -1 г алюминия? Какую энергию **02** надо  
   ■затратить, чтобы осуществить это превращение, если известно,  
   что при бомбардировке ядра алюминия «-частицами с энергией

**1**Г = **8**МэВ только одна «-частица из и = 2-Ю**6** частиц  
вызывает превращение?

Решение:

Энергия, выделяемая при превращении одного ядра алю-  
миния, 0) =с**2**(^/л,-^л?2). Число ядер алюминия,

участвующих в реакции, **N- — NA.** Тогда полная энер-

***И***

гия, выделяемая при превращении всех ядер,  
(?i - **Q()N** = **— ХАс2** (у**1** **ш,** - У **т**2). Подставляя числовые

данные и учитывая, что энергетический эквивалент атом-  
ной единицы массы f **1** а.с?.л/.)с**2** = 931,5 МэВ, получим:  
(Э, = 5,3-10**22** МэВ. Т. к. превращение может осуществлять  
только одна из **п** частиц, то энергия, необходимая  
для осуществления превращения всех ядер,

**О**. = **U'Nii** = **- А-** =3.57-10**~9** МэВ. Таким образом,  
**М**

~ = 5,7Ы06, т. е. чтобы осуществить это превращение,

***Q\*надо затратить энергии приблизительно в 6 млн раз  
больше, чем выделится при этой реакции.**

1. При бомбардировке изотопа лития **6,Li** дейтонами  
   (ядрами дейтерия , **Н**) образуются две а-частицы. При этом  
   выделяется энергия () = 22,ЗМэВ. Зная массы дейтоиа **d** и  
   **а** -частицы, найти массу **т** изотопа лития **bLi.**

Решение:

Запишем уравнение реакции **\Ы+] d-\*\а+\а .** Ко-  
личество выделенной энергии **Q = c2[{mLl + nij)-2ma];**

***т1, =-Ц-~ md + 2та* = 6,015 а.е.м.**

1. Источником энергии солнечного излучения является  
   энергия образования гелия из водорода по следующей цикли-  
   ческом реакции: J\*C **+|** Н **А'** С **+°,** е, **+|** Н **->,4** N,  
   71 **N** +J **// -э-'"** О **-У7? ;V +°,** е, 7 **N** **+| II С** **+i** Не. Какая масса  
   **in**, водорода в единицу времени должна превращаться в гелий?  
   Солнечная постоянная **К** = 1,37 кВт'мг Принимая, что масса  
   водорода составляет 35% массы Солнца, подсчитать, па какое  
   время / хватит запаса водорода, если излучение Солнца считать  
   постоянным.

Решение:

В результате проведенного цикла четыре ядра водорода  
превращаются в одно ядро гелия. Углерод, ведущий себя  
как химический катализатор, может использоваться снова.

Изменение энергии при ядерной реакции <9 = Ух  
**хЕ>г-Е т2).** Для цикла реакций ^/», = 4/»,я =

4.0312 а.е.м., a У/», = 4/?/, = 4,0026 а.е.м. Поскольку

У ш, > У»?-,, то реакция идет с выделением энергии. Под-  
ставляя числовые данные, получим **Q =** 268,66 МэВ =  
= 4.29'10“|2Дж. С другой стороны, энергия, излучаемая  
Солнцем в единицу времени, **Wt=An:[R)'K** — (1), где  
**(R)** = 1,495**ПО11** м — среднее расстояние от Земли до  
Солнца, **К** — солнечная постоянная. Число атомов водо-  
рода. необходимое для излучения энергии **W,,** равно  
4 **}V**

Л — (2). Подставляя (1) в (2), получаем

Л' - 1 **бтг^лу К** — (3), тогда необходимая масса водорода в

**16 *Кт,н***

единицу времени равна — !— =

= 6.03-1011 кг. По условию **МН-0.35МС** — (4), где  
**Мс** =2-10’°кг — масса Солнца. Тогда время, на которое

хватит запаса водорода, равно **t =** (5). Подставляя

Мн,

**(4) в (5), окончательно получаем**

0.35iV/r

***t ~* -**

***МН1***

**3,7-1010 лет.**

1. Реакция разложения дейтона **у** -лучами:

**~H + hv-\*\ Н+'0п.** Найти массу **т** нейтрона, если известно,  
что энергия у-квантов (F, = 2,66 МэВ, а энергия вылетающих  
протонов, измеренная по производимой ими ионизации, ока-

залась равной **W2 -** 0,22 МэВ. Энергию нейтрона считать равной  
энергии протона. Массы дейтона и протона считать известными.

Решение:

Запишем уравнение реакции **]d + hv** -»j р+{, **n** . Коли-  
чество тепла, выделенное при реакции, **Q = c2х  
x{)iid ~{nip + тп)).** По закону сохранения энергии  
**Wx** = **1W2** - **О** . Подставим **Q** в закон сохранения энергии  
**Щ =2W2-c-(nij (ntp + »i**„)), откуда **m„** = **md - mp** -

***2W,* - *W,***

- **2,** -1 ; **m„=** 1,0087 а.е.м.

***c~***

1. Написать недостающие обозначения в реакциях:  
   a) **[I Al(y,x)^Mg \** б) **]]Al{y,n\x** ; в) **%Си(у,х)%Си;** г) **x(y,n)\\'W.**

Решение:

а) Уравнение реакции будет иметь следующий вид  
**Al + hv Mg** +| **х**, следовательно, **]х** — есть {**р**,  
тогда **Al{y,p)^Mg**. б) Уравнение реакции имеет вид

?з **Al + hv х+\п.** По заряду ядра с помощью таблиц^  
Менделеева находим, что л- — алюминий, тогда  
**Al{y,п)]2 А1.** в) Т. к. порядковый номер элемента иС.  
изменился, то и не изменился заряд ядра, поэтому **х** —•,  
есть **\п,** значит, **%Си(у,п)%Си.** г) При излучении;  
нейтрона заряд ядра не меняется (см. б и в), поэтому’  
м**2W{y.n)\]'W.**

1. Выход реакции образования радиоактивных изотопов  
   можно охарактеризовать либо числом **к**, — отношением чисяй  
   542

происшедших актов ядерного превращения к числу бомбар-  
дирующих частиц, либо числом А, [Бк] — отношением актив-  
ности полученного продукта к числу единиц, бомбардирующих  
мишень. Как связаны между собой величины А, и **к2** ?

Решение:

Пусть — число происшедших актов ядерного пре-  
вращения, **N**2— число бомбардирующих частиц. Тогда

***N,***

L \_(1). ***к\_> = а ln2N\***

***n2 n2 Tu2N2***

**(2). Сравнивая**

**выражения (1) и (2), получим к2 =**

***1п2***

***тГ***

**\*i •**

1/2

1. При бомбардировке **]Ы** протонами образуется  
   радиоактивный изотоп бериллия **\Ве** с периодом полураспада  
   **Ти1 =** 4,67 • 106 с. Найти выход реакции А', (см. задачу 22.25),  
   если известно, что бомбардирующие протоны общим зарядом  
   **1**у = 1 мкА-ч вызывают активность полученного препарата

**а** = 6,51 • 106 Бк.

Решение:

По определению Аг,= — — (1), где **N**, — число про-

***N2***

исшедших актов ядерного превращения за некоторый про-  
межуток времени, **N-,** — число частиц, бомбардирующих

мишень за этот промежуток времени, a - — (3). где

А72

**и —** активность полученного продукта. Суммарный заряд  
протонов, бомбардирующих мишень, равен **q = eN2,**

огк\да Лг2=— — (3). Подставляя (3) в (1) и (2),  
**е**

I N\e /a i я<? /гч

соответственно получаем **k{** = (4) и **к-,**  (5).

**Ч** ' **q**

Величины А, и **к2** связаны между собой соотношением:  
, **In 2 ,**

**к2**  А,, где **Ти2** — период полураспада полученного

Т|/2

***Т***

продукта, тогда **к, --^-к-,** — (6). Подставляя (5) в (6).  
**In 2**

I ***ucTi*** ,**I**

окончательно получаем А. = — = 2 • 10 ' = , значит,

' **qlnl** 500

только один протон из 500 вызывает реакцию.

1. В результате ядерной реакции **\*Fe(p,n**) образуется  
   радиоактивный изотоп кобальта **167Со** с периодом полураспада  
   7^ , = 80 сут. Найти выход реакции А, (см. задачу 22.25), если  
   известно, что бомбардирующие протоны общим зарядом  
   **q** = 20 мкА-ч вызывают активность полученного препарата

а = 5,2 -107 Бк.

Решение:

Выход реакции (см. задачу 22.26) выражается соотно-  
шением **к**. = **-** !,15-10~3.

**1 *qlnl***

1. Источником нейтронов является трубка, содержащая  
   порошок бериллия **чАВа** и газообразный радон. Ирм реакций’  
   а-чаепщ радона с бериллием возникают нейтроны. Написать  
   реакцию получения нейтронов. Найти массу **ш** радона,  
   введенного в источник при его изготовлении, если известно, что  
   этот источник даег через время / = 5 сут после его изготовления

число нейтронов в единицу времени я, = 1,2 ■ 106 с’1. Выход  
544

реакции 4, =1/4000, т. е. только одна **а** -частица из **п** = 4000  
вызывает реакцию.

Решение:

Сразу после изготовления источник дает в единицу

**(** ЛЛ'Л

времени число распадов я, = **=Ш..** Через время **t**

\ & )\

**число распадов в единиц>' времени а2 =**

**AV  
Д t**

**= ANг, где**

**Ari=N1e\*/.** По условию только одна «-частица из

**п -** 4000 вызывает реакцию, тогда число атомов радона,

***nN2 ,j* т „  
ЛГ = *nNtf  
е***

**А., ,, ш\2**

**введенного в источник, N =nNl=—^**

***/jN' Ц* аг *м*** yneha2 **„**

**масса радона т ■■**

- = **nN->e** = —**.** . Подставляя

***N л А.***

числовые данные, получим **т** = 2,1 • 10-9 кг,

1. Источником нейтронов является трубка, описанная в  
   задаче 22.28. Какое число нейтронов **а2** в единицу времени  
   создают а-частицы, излучаемые радоном с активностью  
   а, = 3,7-Ю'°Бк, попадая на порошок бериллия? Выход реакции  
   4, =1/4000.

Решение:

По условию выход реакции **к,** =

**значит, только одна**

1. 4000  
   **а** -частица из **п-** 4000 вызывает реакцию. Поскольку  
   активность радона равна я, = 3,7-Ю|0Бк, то число  
   нейтронов в единицу времени, создаваемое «-частицами,

равно я, = — = **й[к] - 9,25** • 106 с '.  
**п**

1. Реакция образования радиоактивного изотопа углерода  
   ’6’С имеет вид **в(с/,а),** где **d** -дейтон (ядро дейтерия **]Н).**

Период полураспада изотопа У С **Т{** , =20 мин. Какая энергия  
**Q** выделится при этой реакции? Найти выход реакции **к2,** если  
А, = 1СГ8 (см. задачу 22.25).

Решение:

Запишем уравнение реакции У° i? **Н** -»У **С** +'0 **п** . Изме-  
нение энергии при ядерной реакции **Q~c~**

В нашем случае = **т]0в + m2t/ =** 12,0270 а.е.м,, а

**У' т2 - »**1**П(.** тЛ**1**1п =12,0087 а.е.м. Поскольку > ^Гш2,

то реакция идет с выделением энергии. Подставляя  
числовые данные, получим £7 =7,12 МэВ. Величины Ат, и

**, . *In 2***

**к2** связаны соотношением **к2=** А,, отсюда

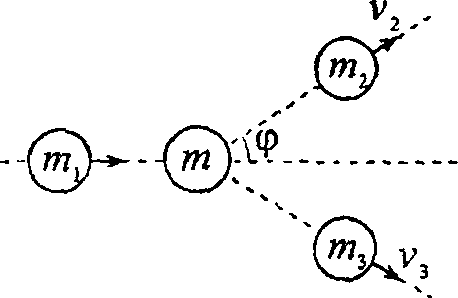
^1 2

**к2 = 5,78 10\_12Бк.**

1. В реакции **\\*N(a,p)** кинетическая энергия «-частицы  
   **W\** = 7,7 МэВ. Под каким углом **<р** к направлению движения  
   «-частицы вылетает протон, если известно, что его  
   кинетическая энергия **IV2** = 8,5 МэВ?

Решение:

Обозначим , **т2** и **т3** —  
массы бомбардирующей «-час-  
тицы, протона и ядра отдачи (в  
пашем случае кислорода); **Щ**, **W2**и **W3** — их кинетические энер-  
гии. Если ядро азота (**т**) непо-



движно, то закон сохранения энергии запишется так:  
**И] + 0 = W2 + W3** — (1), где **Q** — энергия реакции. Закон  
сохранения импульса в векторной форме имеет вид  
Л - **Рг** + **Ръ** — (2). Из (2) имеем для импульсов

***Ру* - Pi2 *+ Р****2* ***~2р\Рг cos<p* — (3). Т. к. *рг =(mv)2 =***

***">***

***1HV***

= **2m = 2mW** — (4), то уравнение (3) примет вид

***2w3lV3 - 2mlWl* + 2*m2W2 -2 cos 2m2W2* , или**

***ll] =:^lLwi + ^-W2* - — ° — Л*jmlm2WlW2* — (5). Исключая**

***Щ***

***пи***

***m.***

из (1) и (5) энергию **W3,** получим формулу, связывающую  
кинетическую энергию бомбардирующих **а** -частиц с

**кинетической энергией протонов: W]**

v »h

***Il\ + Q = W2x***

2cosj^r—— \_(6) Здесь Q \_ \_j^g МэВ

***( \  
nh* + *т3***

***\ тъ J***

***пи***

Решая (6) относительно **coscp** и подставляя числовые

**данные,**

***W.***

**найдем**

***”hQ***

***mym2W2 2^m]m2WlW2***

**пи + т, I W,**

*COS (О —* —\* *-I* -

**2 рп,;п2Щ  
= 0,849, или р = 32°.**

***щ - т1***

1. При бомбардировке изотопа лития **\Ы** дейтонами  
   образуются две а-частицы, разлетающиеся симметрично под  
   углом **<р** к направлению скорости бомбардирующих дейтонов.  
   Какую кинетическую энергию **W2** имеют образующиеся  
   **а** -частицы, если известно, что энергия бомбардирующих  
   дейтонов **Wt =** 0,2 МэВ? Найти угол **<р.**

реакции

j ы tj и —72 и т-> и . I, п.. ЯДра

**Запишем уравнение**

■®—■@5$’

Ж

***\Li+\ d a+i а .* Т, к.**

лития покоились, то по закону со-  
хранения энергии **Wf** = **2W2** - **Q,**

где **Q = c2 (mLl** + **md** - **2m**a). Tогда

**2*W2 = W, +c2 {mu* + *w(/* - *2ma* ), ot-**

W, **+** c2 {mLl + vij - 2m**a) T.**

сюда **W-, = —** **—-** - — = 11,31 МэВ. Из меха-

2

**ники кинетическая энергия Жк -**

***mv***

***т2 v2***

**■, откуда**

**2 2т 2т  
р2 - 2mWK или импульс р = ^2mWK . Импульсы дейтона и**

**а -частиц будут соответственно равны р, = ^2mdW} и**

**р2** = **2j2maW2 .** По закону сохранения импульса

***Pi*** *=* ***2р2 cos (р \ cos<p =*** *-Si-* = I = 0,047,

**отсюда**

2Рг 2 V m\*Wi

***(р* = *arccos{0,047)&*** 87,3°.

1. Изотоп гелия **\Не** получается бомбардировкой ядер  
   трития **)Н** протонами. Написать уравнение реакции. Какая  
   энергия **Q** выделяется при этой реакции? Найти порог реакции,  
   т. е. минимальную кинетическую энергию бомбардирующей час-  
   тицы, при которой происходит эта реакция. Указание: учесть,  
   что при пороговом значении кинетической энергии бомбар-  
   дирующей частицы относительная скорость частиц, возни-  
   кающих в реакции, равна нулю.

Решение:

Запишем уравнение реакции **f Н** +J **р Не** +о **п** . Энергия,  
выделяемая при реакции, g = P2(^m, Подставляя

числовые данные и учитывая, что энергетический экви-  
валент атомной единицы массы **{\а.е.м)с~** =931,5МэВ, по-  
л> чим **Q =** 931.5 ■ ((3.01605 +1,0078) -(3,01603 + 1,00867)) -

- -0.79 МэВ. Т. к. **Q <** 0, то реакция эндотермическая, т. с.  
идет с поглощением энергии и обладает порогом. Если  
частицы покоятся друг относительно друга, то такая  
реакция не пойдет. Необходимо, чтобы энергия  
относительного движения частиц была не меньше |g|,

поэтому пороговая энергия определяется соотношением

■>

***Р\***

**О, где рх — импульс центра инерции**



от, + **тг)**

системы. С другой стороны, по определению **Wnop** равна

2

кинетической энергии протона: **Wa0** откуда

2 от,

***Р\ = 2m2W .* Значит, *WB***

***W,***

пор

лор

**/72-**

пор

**1 —**

V *щ* + *т7 )*

**= |£>| или 1¥Т**

пор

***2"hWmp***

2 (от, + от2)

***Щщ +Щ***

от,

**+ |б|, откуда  
- = 1,04 МэВ.**

1. Найти порог W ядерной реакции \А N (а, р).

Решение:

Порог ядерной реакции, т. е. минимальная кинетическая  
энергия бомбардирующей частицы, при которой проис-  
ходит эта реакция (см. задачу 22.33), выражается соотно-  
ся/, + ОТ, )

шением **W = —** . В нашем случае от, =от,4 =

ОТ, 7 N

**-** 14.0031а.е,м. — масса покоящегося ядра, от2 = **т^Ие ~**

= 4,0026 а.е.м. — масса бомбардирующей частицы. Запи-  
шем уравнение реакции: **14 N +2 Не-\*1 0+\ р.** Изменение

энергии при ядерной реакции **Q = c2(^Ttnl** -^w2). В

нашем случае ^/», = **ти** v + **т**= 18,0057 а.е.м., а

**У = h?i?**0 + = 18,0069 а.е.м. Поскольку ^Гт, **<^т2 ,**

то реакция идет с поглощением энергии. Подставляя  
числовые данные, получим 0 = -1,13 МэВ и Ж = 1,45 МэВ.

1. Найти порог **W** ядерной реакции **] Li(p,n).**

**Решение:**

Порог ядерной реакции, т. е. минимальная кинетическая  
энергия бомбардирующей частицы, при которой

происходит эта реакция (см. задачу 22.33), выражается  
Юн/и. + **пь** )

соотношением **W =** — —. В нашем случае

***Щ***

«г, = = 7,0160 а.е.м. — масса покоящегося ядра,

**т2** = щ, = 1,0078 а.е.м. — масса бомбардирующей час-  
тицы. Запишем уравнение реакции: **\Li+\ р Ве+\ п** .  
Изменение энергии при ядерной реакции  
0 = c2{^W[ -]Г]/м2). В нашем случае w, + W| =

= 8,0238 а.е.м., а У ш, =/», + ?«, = 8,0256 а.е.м. Посколь-

" 4 Вс Qft

ку m2» то реакция идет с поглощением энергии.

Подставляя числовые данные, получим **Q =** -1,69 МэВ и  
**W** = 1,93 МэВ.

1. Искусственный изотоп азота **N** получается бом-  
   бардировкой ядер углерода дейтонами. Написать уравнение  
   реакции. Найти количество теплоты **Q**, поглощенное при этой  
   550

реакции, и порог **W** этой реакции. Какова суммарная кине-  
тическая энергия **W** продуктов этой реакции при пороговом  
значении кинетической энергии дейтонов? Ядра углерода счи-  
тать неподвижными. -

Решение:

Запишем уравнение реакции **d N** +’0;/. Найдем

количество тепла **Q - с**2 [(/нс- + **iud)-** (/i; v + «/„)];

**Q** = 9 • I О16 [(12 + 2,0141)- (l 3,00574 + 1,0087)] -1,66 -10'27;

**Q = -** 0,00507 -10'" Дж= -0,00317 • 10'8 эВ = -0,317 МэВ.

T. к. **Q** < 0, то реакция эндотермическая, т. е. она не  
пойдет, если частицы покоятся друг относительно друга.  
Необходимо, чтобы энергия относительного движения  
частиц была не меньше **\Q\.** Поэтому порог определяется

**соотношением IV -**

***р]***

***2{wj + тс)***

**■|(?|. С другой стороны, по**

**определению этот порог равен кинетическом энергии**

**„2**

**дейтоиа, т. е. W -**

***Р21***

***2т.***

***Pd***

***2(mj +тс)***

2т,,

**Т. к.**

V ~V"d п '"С / ‘•"Ч

**импульс p]-2mJV (см. задачу 22.32),**

**то**

***2т JV***

**2 *md 2{т(,+тс)***

тт. **mjv**

т,.

***}\* *а* = *jf***

***т I + тг***

***IV =***

***т,* + *т.***

**\-rnj /(»»,,+ »»г)**

\_ |е№

V J

***III., + тс)***

**^+1**

***\п,с***

***по-***

**роговая энергия. IV = 0,317**

**2.0141**

12

+ 1

**— 0,37 МэВ. Сум-**

марная кинетическая энергия продуктов реакции  
1Г = **IV** + **О =** 0,37 - 0,317 = 0,053 МэВ.

1. Реакция **f в(п,а)** идет при бомбардировке бора ней-  
   тронами, скорость которых очень мала (тепловые нейтроны).  
   Какая энергия **Q** выделяется при этой реакции? Пренебрегая  
   скоростями нейтронов, найти скорость v и кинетическую  
   энергию **IV** а-частицы. Ядра бора считать неподвижными.

Решение:

Запишем уравнение реакции **В +q п Li+\ а** . Количес-  
тво тепла, выделенного при реакции, **Q'=c1^inB+ni„} +**

+Ц,+wj];

**Q =** 9 • 1016 [(l 0,01294 +1,0087)- (7,016 + 4,002б)]-1,66 • 10"27 =

= 0,0454-10'11 Дж£? = 2,83 МэВ. Т. к. по условию ско-  
ростью нейтронов можно пренебречь, то по закону сохра-

»1„V\_ IT

нения импульса **mhvu = mava,** отсюда **vu** - . По за-

***mLi***

**„ *МгУп mnVa***

кону сохранения энергии **Q = Wu+Wa= ■** - + **—g** ;

**2 Q = mavl +1 , отсюда**

***т***

***и***

**V = [—Ж .**

***У>па(та/ти+1)'***

**v„ =**

**2-0,0454-10\_"**

**а 'У 4,0026 • 1,66 • 10-27 (4,0026 / 7,016 +1)**

**= 9,33-10б м/с.**

Кинетическая энергия **а** -частицы **Wa** =

***W =***

**4,0026 -1,66-10"27 • 9,332 • 1012**

**= 2,89-10'13 Дж =**

= 1,806 МэВ.

1. При бомбардировке изотопа лития **] Li** протонами  
   образуются две а-частицы. Энергия каждой **а** -частицы в мо-  
   мент их образования **IV2** = 9,15 МэВ. Какова энергия **Wx** бомбар-  
   дирующих протонов?

Решение:

Запишем уравнение реакции: **\ Li** +) **р Не** +2 **Не** . Изме-  
нение энергии при ядерной реакции **Q** = с2(^от,-]|Г/л2).  
В нашем случае **У'т.-т, +тх** = 8,0238а.е.м., а

■<—' **jU** ,р

**У 7и2 = Не** + **lh** = 8,0052 а.е.м. Поскольку У **т, >** У **т**2,

то реакция идет с выделением энергии. Подставляя  
числовые данные, получим g = 17,37 МэВ. По закону  
сохранения энергии **Wx+Q =** 2**W**2, откуда энергия бомбар-  
дирующих протонов **Wt** = 2**W2 - Q =** 0,93 МэВ.

1. Найти наименьшую энергию у-кванта, достаточную  
   для осуществления реакции разложения дейтона у-лучами  
   **\H+hv->\ Н+[п.**

Решение:

Количество тепла, поглощаемое при реакции **Q = c2x**= 9 • 1016 [2,0141 - (1,00783+1,008б)]х

XI,66-10 27 =-0,035-10"“ Дж = -2,175МэВ. Для осущест-  
вления расщепления необходимо, чтобы у -квант имел  
энергию **hv>**|g|. В предельном случае при Лv = )^|  
у -квант расщепит ядро, но не сможет сообщить  
образовавшимся частицам кинетическую энергию. Значит,  
**hvnUn -** 2,175 МэВ.

1. Найти наименьшую энергию у-кванта, достаточную  
   для осуществления реакции **\lMg(y,n).**

Решение:

Запишем уравнение реакции: **]\*Mg + hv -ьЦ Mg+\n.** Из-  
менение энергии при ядерной реакции **Q = c2** х  
xfVw, **- 'У'тЛ.** В нашем случае **У'щ = li}u..** =  
= 23.9850 а.е.м., т. к. масса покоя у-кванта равна нулю, а

**Z**

/??,=///,, , + **иг,** = 24,0028а.е.м. Поскольку отношение

\* Г:Л/8 о"

< > то реакция идет с поглощением энергии.

Подставляя числовые данные, получим 0 = -16,72 МэВ.  
Чтобы реакция могла произойти, энергия у -кванта должна  
быть больше или равна порогу ядерной реакции, который

**\0\(»1\** + /»,)

выражается соотношением **W** = — 1 (см. задачу

***Щ***

22,33). Однако в нашем случае масса покоя у -кванта  
**т2=** 0, поэтому порог ядерной реакции **W** = |(?|, а следова-  
тельно, наименьшая энергия у -кванта **hv** = |{9| = 16,72 МэВ.

1. Какую энергию **IV (в** киловатт-часах) можно получить  
   от деления массы от = 1г урана **l?U**, если при каждом акте  
   распада выделяется энергия **О ~** 200 МэВ?

Решение:

Число делящихся ядер урана **IfU**, содержащееся в  
определенной массе, равно **N = — N^** — (1), где

// = 0,235 кг/моль — молярная масса **I'fU,** - 6,02 х

х102Ямоль 1 — постоянная Авогадро. Энергия, которую  
можно получить при образовании данной массы **\fU,**554

равна **W = QN** — (2). Подставляя (1) в (2), получим  
**}V = — NkQ** = 2,28 кВт-ч.

1. Какая масса урана **f2sU** расходуется за время / = 1сут  
   на атомной электростанции мощностью **Р** = 5000 кВт? К.п.д.  
   принять равным 17%. Считать, что при каждом акте распада  
   выделяется энергия <2 = 200МэВ.

Решение:

Число распавшихся ядер урана **п- — ЫА.** Полная энергия,

***И***

выделяемая при распаде массы **т** урана, **Qnom** = **Q0n** =  
**ш**

= Qo~NА • Tor\*a полезная энергия £>П0ЯСЗ = **rjQmm** = **ijQ**0х  
x **— Na.** Мощность атомной электростанции **р** = — -

***t***

**. Отсюда масса распавшегося урана за время t  
= 31 г.**

***’iQpmN* А**

***№  
ppt***

***т -***

1. При взрыве водородной бомбы протекает термо-  
   ядерная реакция образования гелия из дейтерия и трития.  
   Написать уравнение реакции. Найти энергию **Q**, выделяющуюся  
   при этой реакции, Какую энергию **IV** можно получить при обра-  
   зовании массы **т** = 1 г гелия?

Решение:

Запишем уравнение реакции: **f#+f** **Н ->2** **Не+\п .** Изме-  
нение энергии при ядерной реакции £> = с2(]Г **т**2).

В нашем случае ^Г/и, = + т3 = 5.0301 а.е.м., а

V»J2=m4 +»;, =5,0113а.е.м. Поскольку ^Щ>^т2,

то реакция идет с выделением энергии. Подставляя число-  
вые данные, получим Q-17,66 МэВ. Энергия, которую

можно получить при образовании данной массы \Не (см.

задачу 22.41), равна W =—= 11,8 Ю4 кВтч.

М