§ 23. Элементарные частицы.

Ускорители частиц

В задачах данного раздела используются данные таблиц **3,21,22**приложения.

1. В ядерной физике принято число заряженных частиц,  
   бомбардирующих мишень, характеризовать их общим зарядом,  
   выраженным в микроампер-часах (мкА-ч). Какому числу заря-  
   женных частиц соответствует общий заряд **д** = 1 мкА-ч? Задачу  
   решить для: а) электронов; б) а-частиц.

Решение:

а) Заряд электрона равен е = 1,6-10”19Кл, значит,

N = — = 2,25-1016 электронов, б) Заряд а-частицы равен

*е*

2с = 3,2-10"19 Кл, значит, iVr = -^- = l,125-1016 а-частиц.

1. При упругом центральном столкновении нейтрона с не-  
   подвижным ядром замедляющего вещества кинетическая энер-  
   гия нейтрона уменьшилась **в** 1,4 раза. Найти массу **т** ядер за-  
   медляющего вещества.

Решение:

По закону сохранения энергии Wk0 =Wk1 +Wk2 — (1), где  
Wk0 — начальная кинетическая энергия нейтрона, WKl —  
его кинетическая энергия после взаимодействия с ядром,  
Wk2 — кинетическая энергия ядра замедляющего веще-  
W

ства. По условию —— = к = 1,4, отсюда Wk0 **=** kWKl— (2) и  
**Ki**

после подстановки (2) в (1) получаем {к-l)^Kl=JFK2 —  
(3). По закону сохранения импульса р0 = Рг ~ Р\ — (4), где  
р0 — начальный импульс нейтрона, р, — его импульс  
после взаимодействия с ядром, р2 — импульс ядра

557

замедляющего вещества. Кинетическая энергия и импульс

2

связаны между собой соотношением **WK** = — (5).

***2т***

Подставляя (5) в (2), получаем **р\ - кр2** или **р0 -4кр{** —

1. . Подставляя (6) в (4), получаем —^\*- = — (8),

***т„ т***

**где тп = 1,675-27кг — масса нейтрона. Решая совместно  
уравнения (7) и (8), находим массу ядер замедляющего**

**вещества**

***т***

***{[к+\]т„***

**к-1**

**19,96-ИГ27 кг=12,02 а.е.м. По**

таблице Менделеева находим, что это углерод ^ С,  
следовательно, замедлителем является графит.

1. Какую часть первоначальной скорости будет составлять  
   скорость нейтрона после упругого центрального столкновения с

неподвижным ядром изотопа **Na** ?

Решение:

Масса ядер замедляющего вещества (см. задачу 23.2) равна

***Uk+llrn.* ... , *Wk0 ...* ri, *...***

**т = •**

£ **L-s-** — **(I),** где **к** = **——** (2), **Wk0** **и WKl —**

***к-\***

к!

соответственно начальная и кинетическая энергии бом-  
бардирующего натрия, **тп** =1,675-10'27 кг — масса  
нейтрона. Поскольку кинетическая энергия равна  
**WK=mv2 /2** — (3), то, подставляя (3) в (2), получаем

Л,Л

***к =***

V v 7

***4к = т+т***

**или —~4к  
v**

**(4). Из формулы (1) находим  
(5). Подставляя (5) в (4), получаем**

**— -** ——^ = 0,916-100% = 91,6**%.**v0 **т** + **тл**

1. Для получения медленных нейтронов их пропускают  
   через вещества, содержащие водород (например, парафин).  
   Какую наибольшую часть своей кинетической энергии нейтрон  
   массой **т0** может передать: а) протону (масса **т0);** б) ядру атома  
   свинца (масса **207т**0)? Наибольшая часть передаваемой энергии  
   соответствует упругому центральному столкновению.

Решение:

По закону сохранения энергии **fVK0 = +Wk2** — (1), где  
**Wk0 и Wki** — соответственно кинетическая энергия ней-  
трона до и после взаимодействия с ядром замедлителя,  
**JVKj** — кинетическая энергия ядра замедляющегося ве-

W Л

щества. Если —— = **к** — (2), то из (1) и (2) следует, что

К\

**W** 1

**к2=1—** — (3). Поскольку (см. задачу 23.3)

Ко

***к***

***Гк-***

***т + тп*** .

**-, то к =**

***т* — *т0***

***(***

***т* + *тп***

**— (4). Подставляя (4) в (3),**

**получаем**

***Ко\_,***

***УК***

нО

***т-т0***

у 111 + Н70 J

**а) Для протона тят0, поэ-**

***W***

—— «1-100% = 100%. б) Для ядра атома свинца

**тому**

***Ко***

***Кг.***

***Ко***

**т = 207т0, поэтому**

**= 0,0191-100% = 19,1%.**

1. Найти в предыдущей задаче распределение энергии  
   между нейтроном и протоном, если столкновение неупругое.  
   Нейтрон при каждом столкновении отклоняется в среднем на  
   угол **<р** = 45°.

Решение:

Направление скорости v нейтрона и скорости частиц vi  
показано на рисунке. Скорости частиц одинаковы и равны

Следовательно, энергия распределится между

***v42***

**v =-**

нейтроном и протоном в среднем поровну.

1. Нейтрон, обладающий энергией **W0** = 4,6 МэВ, в резуль-  
   тате столкновений с протонами замедляется. Сколько столкно-  
   вений он должен испытать, чтобы его энергия уменьшилась до  
   **W** = 0,23 эВ? Нейтрон отклоняется при каждом столкновении в  
   среднем на угол **<р =** 45°.

Решение:

После каждого столкновения кинетическая энергия ней-  
трона становится в два раза меньше (см. задачу 23.5). То-

**(** О"

гда после и столкновений энергия нейтрона **W** = 1 — 1 #о-

Отсюда **nlg2-lg** 5W(2.107); w**J**g**^°**J,24 ■

*J Ig 2*

1. Поток заряженных частиц влетает в однородное магнит-  
   ное поле с индукцией **В** = 3 Тл. Скорость частиц v = 1,52 • 107 м/с  
   и направлена перпендикулярно к направлению поля. Найти заряд  
   **д** каждой частицы, если известно, что на нее действует сила

F = 1,46-10'" Н.

Решение:

В однородном магнитном поле на заряженные частицы  
действует сила Лоренца, которая равна **Fn =qvBsina** . По  
условию скорость частиц направлена перпендикулярно

**я .** . .

направлению поля, значит, **а** = —, поэтому **sma =** 1, а

следовательно, **Fn** = **qvB**. Отсюда заряд каждой частицы  
**q** = ^- = 3,2-10'19Кл.

1. Заряженная частица влетает в однородное магнитное  
   поле с индукцией **В** = 0,5 Тл и движется по окружности с ради-  
   усом Л = 10 см. Скорость частицы v = **2,4-1**06 м/с. Найти для  
   этой частицы отношение ее заряда к массе.

Решение:

В однородном магнитном поле на заряженную частицу

действует сила Лоренца, которая (см. задачу 23.7) равна

**Fn = qvB** —(1). Она является центростремительной силой

***•>***

*V"*

и сообщает частице нормальное ускорение **а„=** (2).

***R***

По второму закону Ньютона **Fn** = **та,,** — (3). Подставляя

v2

(1) и (2) в (3), получаем **qvB-m**—, откуда отношение

***R***

П V 7

заряда частицы к ее массе равно — = — = 4,8-10 Кл/кг.

***т BR***

1. Электрон ускорен разностью потенциалов **U** = 180 кВ.  
   Учитывая поправки теории относительности, найти для этого  
   электрона массу да, скорость v, кинетическую энергию **W** и  
   отношение его заряда к массе. Какова скорость v’ этого  
   электрона без учета релятивистской поправки?

Решение:

Электрон, ускоренный разностью потенциалов, обладает  
потенциальной энергией **Wa -eU** — (1). По закону  
сохранения энергии **Wa =WK** — (2). Приравнивая правые  
части соотношений (1) и (2), получаем **eU -WK** — (3) или

19 3209 561

ческом энергии электрона от скорости его движения дается

***г \***

**1** -I

**уравнением** WK **=** т0с‘

**— (3), где** т0 = **9,11 х**

хЮ'3|кг — масса покоя электрона, /? = — — (4) — отно-

*с*

сительная скорость электрона, с — скорость света. Из

— (5). Зависи-

*тпс*

**формулы (3) имеем** yjl-J32 =■

***К+т0с\****

мость массы электрона от скорости его движения дается

**уравнением** т **=**

***тп***

**получаем** т

\_ *WK* + *т0с2*

**— (**6**): Подставляя (5) в (**6**),**

**(7), а затем, подставляя (3) в**

окончательно находим массу электрона

(7),

**т = •**

*eU* + *тпс*

**0~\_ \_ 1**

**= 1,23 • 10**-30 **кг. Кинетическая энергия элек-**

**трона** WK =

*mv*

**откуда релятивистская скорость электро-**

на v' = J—— = 2,52 • 10® м/с. Отношение заряда электрона к  
V т

его массе равно — = 1,3- 10п Кл/кг. Реальное значение рав-  
т

**Q** П

но — = 1,759-10 Кл/кг. С учетом погрешностей величину,  
т

полученную в данной задаче, можно считать допустимой.

1. Мезон космических лучей имеет энергию W = ЗГэВ.  
   Энергия покоя мезона W0 =100МэВ. Какое расстояние / в атмо-  
   562

сфере сможет пройти мезон за время его жизни г по лабора-  
торным часам? Собственное время жизни мезона г0 = 2 мкс.

Решение:

W 1

Имеем — = —=== = 30, отсюда найдем

»о Vl-v2/c2

v = 2,998-108 м/с. Время жизни мезона по лабораторным

часам г = **. ..** 0 =■ = 30г0 , Расстояние, пройденное мезо-

VI-v2/с2

ном за это время, равно / = vr = v- 30г0 »18 • 103 м.

1. Мезон космических лучей имеет кинетическую энер-  
   гшо IV = 7и10с2, где и;0 — масса покоя мезона. Во сколько раз  
   собственное время жизни т6 мезона меньше времени его жизни  
   г по лабораторным часам?

Решение:

Зависимость кинетической энергии мезона от скорости его

\

**движения дается уравнением** WK **= /;?**0**с‘**

Vi-7

:-1

(1). По условию кинетическая энергия мезона равна  
WK - lm0c2 — (2). Приравнивая правые части уравнений

*f \*

**(**1**) и (**2**), получаем** lm0c2=m0c**'**

--1

**откуда**

ф-fi2 = (3). Время жизни мезона по лабораторным

8

часам т связано с его собственным временем жизни т0

**соотношением г =**

**1**

**откуда — = ■ ,**

VI-/? го V1"/?

- (4).

Подставляя (3) в (4), получаем — = 8.

1. Позитрон и электрон соединяются, образуя два фотона.  
   Найти энергию hv каждого из фотонов, считая, что начальная  
   энергия частиц ничтожно мала. Какова длина волны Л этих  
   фотонов?

Решение:

Если электрон и позитрон образуют два фотона, то по  
закону сохранения энергии 2п?0с2 + W, + W2 = 2hv, где  
2т0с2 — суммарная энергия покоя электрона и позитрона,  
W] и W2 — кинетические энергии электрона и позитрона,  
2hv — суммарная энергия образовавшихся фотонов. По-  
скольку по условию начальная энергия частиц W} и W2ничтожно мала, то энергия каждого из фотонов равна  
hv = m0c2 = 0,51 МэВ. Отсюда частота излучения фотона

v = ~°с — (1). С другой стороны, V-— — (2). При-

/7 Л

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

т0с 1 , . h

—— = — , откуда длина волны фотонов Л- =

h Л т0с

= 2,42-Г0“|2м.

1. Электрон и позитрон образуются фотоном с энергией  
   hv = 2,62МэВ. Какова была в момент возникновения полная  
   кинетическая энергия Wt + IV, позитрона и электрона?

Решение:

По закону сохранения энергии hv -2тйс2 +Wt+W2. Энер-  
гия покоя каждой частицы т0с2 =0,51- 10бэВ. Тогда  
W, +W2 =hv- 2т0с2 =1,6-106 эВ.

1. Электрон и позитрон, образованные фотоном с  
   энергией hv = 5,7 МэВ, дают в камере Вильсона, помещенной в  
   564

магнитное поле, траектории с радиусом кривизны Л = 3см.  
Найти магнитную индукцию **В** поля.

Решение:

На электрон и позитрон в магнитном поле действует сила  
Лоренца, сообщая им нормальное ускорение, т. е.

п ,11у2 *ту* mv /14 /л

qBv = , откуда В = —^ — (1). Согласно теории отно-

сительности импульс частицы р = mv =—Jw{w + 2ш0с2) —

*с*

1. . Подставляя (2) в (1), получим В = + 2m0c2) —

*cqR*

1. . Кинетическая энергия каждой частицы  
   W = ——^тЧс. =2,34МэВ (см. задачу 23.13). Подставляя  
   числовые данные в (3), получим В = 0,31 Тл.
2. Неподвижный нейтральный яг-мезон, распадаясь, пре-  
   вращается в два фотона. Найти энергию hvкаждого фотона.  
   Масса покоя яг-мезона от**0**(яг) = 2б4,2/и^, где **пц** —масса покоя  
   электрона.

Решение:

Если неподвижный нейтральный я -мезон распадается на  
два фотона, то по закону сохранения энергии  
т0{я)с2 =2hv — (1). По условию масса покоя мезона  
**/»0(яг)** = 264,2т0 — (2), где та = 9,11 • 1(Г31 кг — масса по-  
коя электрона. Подставляя (2) в (1), получаем  
hv = 132Д/и0с2 = 67,7 МэВ.

1. Нейтрон и антинейтрон соединяются, образуя два фо-  
   тона. Найти энергию **hv** каждого из фотонов, считая, что на-  
   чальная энергия частиц ничтожно мала.

Решение:

Энергия каждого из фотонов (см. задачу 23.12) равна  
hv - пцс2 = 942МэВ.

1. Неподвижный **Кй** -мезон распадается на два заря-  
   женных л--мезона. Масса покоя **К°** -мезона **т0(к°)= 965т0**, где  
   **т0** — масса покоя электрона; масса каждого **к** -мезона  
   **т(я) = \,11т0{п),** где **т0(л)** — его масса покоя. Найти массу по-  
   коя т**0**(/т) л -мезонов и их скорость v в момент образования.

Решение:

Если неподвижный К0 -мезон распадается на два заря-  
женных л -мезона, то по закону сохранения энергии  
**т0кос2 - 2т0лс2** = **2(тя - т0х)с2** — (1). По условию задачи

масса покоя К0 -мезона **т** „ = 965/я0 — (2), где

щ - 9,11 • 10-31 кг—масса покоя электрона, а масса каждого  
я -мезона тя. = \,77т0я — (3), где т0я — его масса покоя.  
Подставляя (2) и (3) в (1), получаем  
965щс2-2т0яс2 -2-1,77т0яс2. Отсюда масса покоя

л **-мезонов равна** т0я

**965**т.

**о \_**

**= 272,59ш0= 2,48-1**0-2 **V.**

**2-1,77**

**Из теории относительности известно, что кинетическая энер-  
гия тела зависит от скорости его движения следующим**

образом: *WK = пця&*

**1**

\

**— (4), где /?= (5)—**

***с***

относительная скорость. С другой стороны, WK - тяс2,  
или, учитывая (3), WK = \,77т0яс2 (6). Приравнивая правые  
части уравнений (4) и (6), получим **■ -**-1 = 1,77. От-

**VW\*2**

сюда относительная скорость **тс** -мезонов равна /? = 0,932 .  
Тогда, учитывая (5), скорость **тс** -мезонов в момент обра-  
зования будет равна v = 0,932 • **с** = 2,79 • 10**8** м/с.

1. Вывести формулу, связывающую магнитную индук-  
   цию **В** поля циклотрона и частоту **v** приложенной к дуантам  
   разности потенциалов. Найти частоту приложенной к дуантам  
   разности потенциалов для дейтонов, протонов и а-частиц.  
   Магнитная индукция поля **В** = 1,26 Тл.

Решение:

На заряженную частицу в циклотроне действует сила  
Лоренца **Fn -qvB sin а,** где **q** — заряд частицы, **В** — ин-

***тс***

дукция магнитного поля. Т. к. **а** = —, то **sin а** = 1, отсюда  
**Fn** = **qvB .** Она является центростремительной силой и со-  
общает частице центростремительное ускорение **а**ис•

По второму закону Ньютона Fj, = /пацс = **m**—. Приравня-

***R***

„ „ **mv** „ **mv**

ем правые части уравнении **qvB** = —, откуда **к =** —— —  
радиус окружности циклотрона. Период обращения цикло-

■ длина окружности

**г,, L г** „ **2я7иу**

**трона *Т = — ,* где *L-2kR=***

**v *qB***

„ Ъип „

**циклотрона. 7ц = . Тогда частота**

***qB***

**\_ 1 \_ дБ**

**V** и **\*\* \*" \_ \***

***2лт***

**Для**

того чтобы частица непрерывно ускорялась, необходимо,  
чтобы она попадала в ускоряющий промежуток между  
дуантами в тот момент, когда электрическое поле изменит  
свою полярность, т. е. частота изменения полярности  
ускоряющего электрического поля должна совпадать с

567

*дВ*

частотой циклотрона: v = v = ——

**— условие синхро-**

***Imi***

низации. Подставляя числовые данные, получим  
vD = 9,7 МГц; vp =19,4 МГц; va = 9,7 МГц.

1. Вывести формулу, связывающую энергию **W** выле-  
   тающих из циклотрона частиц и максимальный радиус кривизны  
   **R** траектории частиц. Найти энергию **W** вылетающих из цикло-  
   трона дейтонов, протонов и а-частиц, если максимальный ра-  
   диус кривизны **R =** 48,3 см; частота приложенной к дуантам раз-  
   ности потенциалов v= 12 МГц.

Решение:

Радиус окружности циклотрона и частота изменения по-  
лярности ускоряющего электрического поля (см. задачу

1. равны: R = ^~ и v = -^——, отсюда дВ = 2лтv;  
   qB "ban

\_ *mv v*

R = = . Отсюда скорость вылетающих из цикло-

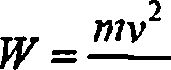
*2mtiv* 2 *rtv*

тройа частиц v = lizvR, а их кинетическая энергия

= 2fr2mv2R2. Подставляя числовые

**»?4;гУД**2

2



2

данные, получим Жй=13,8МэВ; Wp =6,9МэВ;  
Wa =27,6МэВ.

1. Максимальный радиус кривизны траектории частиц в  
   циклотроне **R** = 35 см; частота приложенной к дуантам разности  
   потенциалов **v** = 13,8 МГц. Найти магнитную индукцию **В** поля,  
   необходимого для синхронной работы циклотрона, и макси-  
   мальную энергию **W** вылетающих протонов.

Решение:

Частота приложенной к дуантам циклотрона разности  
потенциалов (см. задачу 23.18) определяется соотно-

шением **v** = -^2-. Отсюда индукция магнитного поля, не-  
**2тп**

обходимого для синхронной работы циклотрона, равна

**Л *2точ v* ,**

**В =** . Для протона /н = 1,673 10 кг и

***Я***

# = е = 1,6-1(Г**19**Кл, поэтому 5 = 0,9Тл. Максимальная  
энергия вылетающих из циклотрона заряженных частиц  
(см. задачу 23.19) равна **W = 2ir2mv2R2.** Подставляя  
значения для протона, получаем **W** = 4,8 МэВ.

1. Решить предыдущую задачу для: а) дейтонов,

б) а-частиц

Решение:

Индукция магнитного поля, необходимого для синхронной

2^

работы циклотрона (см. задачу 23.20), равна **В =** .

***Я***

Максимальная энергия вылетающих из циклотрона заря-  
женных частиц равна **W** = **2x2mv2R**2. а) Для дейтонов  
**<7** = е = 1,6 10~19Кл и **т -** 3,346-10”27 кг, следовательно,  
**В** = 1,8 Тл и **W ~** 9,6 МэВ. б) Для **а** -частиц  
**q = 2е** = 3,2 • **1**0**-19** Кл и **т-** 6,692-10-27 кг, следовательно,  
**В** = 1,8Тли **W** = 19,25МэВ.

1. Ионный ток в циклотроне при работе с «-частицами  
   **I** = 15 мкА. Во сколько раз такой циклотрон продуктивнее массы  
   **т -1** г радия?

Решение:

По определению ионный ток в циклотроне 1=у = яп —

(1), где **q** = 3,2-10**"19** Кл - заряд а-частицы, **Т** —период

569

обращения **а** -частицы в циклотроне, **п** — частота излуче-  
ния **а** -частиц циклотроном. Активность излучения **а** -час-  
тиц радием равна **а-Ш** — (2), где **N =—NA** — (3) —

***М***

число делящихся ядер радия, /у = 226 г/моль — молярная  
масса радия, **NA** =6,022-10**23** моль**'1** — число Авогадро.

гт т ^2

Период полураспада радия равен 7, **2** = , откуда посто-

А

***Ifi* 2**

янная распада Я = (4). Подставляя (3) и (4) в (2),

**^1 2**

получим **а =** —**УА ^ -** — (5). Из формулы (1) **п - —** — (**6**).

***М?1 2 Ч***

Разделив (**6**) на (5), окончательно находим

=1270.

**” ДО] 2 . 1**

***a qmNA In 2***

1. Максимальный радиус кривизны траектории частиц в  
   циклотроне **R** = 50 см; магнитная индукция поля **В =** 1 Тл. Какую  
   постоянную разность потенциалов **U** должны пройти протоны,  
   чтобы получить такое же ускорение, как в данном циклотроне?

Решение:

Частота разности потенциалов, приложенной к дуантам

***Be***

циклотрона (см. задачу 13.18), равна **v =** — (1), а

**2 *пт***

энергия вылетающих из циклотрона протонов (см. задачу

* 1. равна **W = lz2mv2R2** — (2). Подставляя (1) в (2),

**получим W =**

***B2e2R2***

***2т***

**— (3). Потенциальная энергия про-**

тонов, прошедших ускоряющую разность потенциалов,  
равна **Wn - eU** — (4). Чтобы протоны получили такое же  
ускорение, как в циклотроне, по закону сохранения  
570энергии необходимо, чтобы **Wn = W** — (5). Подставляя (3)

и (4) в (5). получаем **U** = = 11,98 МВ.

***2т***

1. Циклотрон дает дейтоны с энергией **W** = 7МэВ. Маг-  
   нитная индукция поля циклотрона **В** = 1,5 Тл. Найти минималь-  
   ный радиус кривизны **R** траектории дейтона.

Решение:

Энергия дейтонов, вылетающих из циклотрона (см. задачу  
£2 2^2

23.23), равна **W** = —- . Отсюда максимальный радиус

***2т***

п -JlmW

кривизны траектории дейтона равен **К** = = 36 см.

Bq

1. Между дуантами циклотрона радиусом **R** = 50 см при-  
   ложена переменная разность потенциалов **U** = 75 кВ с частотой  
   и = 10 МГц. Найти магнитную индукцию **В** поля циклотрона,  
   скорость **1**’ и энергию **W** вылетающих из циклотрона частиц.  
   Какое число оборотов и делает заряженная частица до своего  
   вылета из циклотрона? Задачу решить для дейтонов, протонов и  
   **а** -частиц.

**Решение:**

Частота разности потенциалов, приложенной к дуантам

циклотрона (см. задачу 23.18), равна **v = -^~.** Отсюда

***2тх***

**\_ *2тту***

магнитная индукция поля циклотрона равна **В** =

***Я***

1. . Энергия вылетающих из циклотрона частиц (см. задачу
2. равна **W = 2n2mv2R2** — (2). Из теории отно-  
   сительности известно, что кинетическая энергия частицы

571

зависит от скорости ее движения следующим образом:  
— I — (3). Приравнивая правые части

**уравнений** (2) и (3), получаем **2k2v2R} =с2**

***WK = тс*2**

**-1**

**откуда р =**

**2 *7rvR->j я2 v2 R2 +с2****1tc2v2R}* **+ с2**

**— (4). С другой стороны,**

относительная скорость **р** =— — (5). Приравнивая правые

***с***

части уравнений (4) и (5), находим скорость частиц  
IjtvRc^In2v2R2 **4**-с2 **„**

**u-** **, , ,** **5** — (**6**). При каждом полном

***1k2v2R2 л-с2***

обороте заряженная частица проходит дважды расстояние  
между дуантами и, следовательно, дважды получит  
добавочный импульс. Поэтому при **п** оборотах заряженная  
частица приобретает энергию, эквивалентную уско-  
ряющему потенциалу, **U'** = 2**n\J**, где **U** — разность  
потенциалов, приложенная между дуантами. Отсюда  
**U'**

**п** — (7). Подставляя значения в формулы (1), (2), (**6**)

и (7), получаем следующие числовые значения: а) Для  
дейтонов: Д=1,ЗТл; =10,2МэВ; г/, =3,13-107 м/с;

;? = **68**. б) Для протонов: **В]** = 0,65 Тл; **W]** = 5,12 МэВ;

г/, = 3,13-107м/с; н = 34. в) Для а-частиц: Д=1,ЗТл;  
**Wt** =5,1**2**МэВ; г/, = 3,13-Ю7м/с; и = **68**.

1. До какой энергии **W** можно ускорить а-частицы **в**циклотроне, если относительное увеличение массы частицы  
   , **т-т„**

**к** = не должно превышать 5%?

7И**0**

Решение:

Из теории относительности известно, что изменение массы  
частицы на **Ат** соответствует изменению ее энергии на

Д**IV-с2Ат** — (1). По условию задачи относительное

**, *т-т0 Ат***

увеличение массы частицы **к** = - = <0.05 — (2).

***Щ то***

Считая начальную энергию а-частицы равной нулю,  
можно предположить, что **Wmar** = **AW** — (3). **В** этом случае  
из формулы (**2**) изменение массы **а** -частицы равно  
**Ат = О,05то** — (4). Подставляя (3) и (4) в (1), получаем

***W„hiv = 0,05т0с2* = 187МэВ.**

1. Энергия дейтонов, ускоренных синхротроном,

***ТП***

**W** = 200 МэВ. Найти для этих дейтонов отношение — (где

***т0***

**in** — масса движущегося дейтона и **т0** — его масса покоя) и  
скорость V.

Решение:

Считая начальную энергию дейтонов равной нулю (см.  
задачу 23.26), можно предположить, что **W = сгАт** — (1),  
где **Ат = т-т0** — (2) — изменение массы дейтона.  
т0 = 2,0141 а.е.м. — его масса покоя. Подставляя (2) в (1),

тгл 2 г \ **т W** , , „

получаем **W = с {т-т0),** откуда — = —— = 1,1. Из тео-

***Щ с'Щ***

рии относительности известно, что масса дейтона зависит  
от скорости его движения следующим образом

**in** = **-”°** откуда — = **. 1** — (3),где **fi = -** —(4)—

VI -Р >”о л/'-у3 с

относительная скорость дейтона. Решая совместно урав-  
нения (**3**) и (**4**), получаем v- **Cy!(ni^mo)** ,\_L -**1**,**3**-**108** м/с.

***т/т0***

1. В фазотроне увеличение массы частицы при возраста-  
   нии ее скорости компенсируется увеличением периода ускоря-  
   ющего поля. Частота разности потенциалов, подаваемой на дуан-  
   ты фазотрона, менялась для каждого ускоряющего цикла от  
   и**0** = 25 МГц до **v =** 18,9 МГц. Найти магнитную индукцию **В** поля  
   фазотрона и кинетическую энергию **W** вылетающих протонов.

Решение:

Имеем **В** = **...** \_ ig**2** Тл. Поскольку — = — =

*q q у Щ*

**1**

**= 300 МэВ.**

**то *W - т0с2***

**1**

**-1**

*ЩС2{у0-у)*

1. Протоны ускоряются в фазотроне до энергии  
   **W** = 660 МэВ, **а** -частицы — до энергии **W -** 840 МэВ. Для того  
   чтобы скомпенсировать увеличение массы, изменялся период  
   ускоряющего поля фазотрона. Во сколько раз необходимо было  
   изменить период ускоряющего поля фазотрона (для каждого  
   ускоряющего цикла) при работе: а) с протонами; б) с «-час-  
   тицами?

Решение:

В фазотроне при ускорении релятивистских частиц, когда  
их скорость приближается к скорости света, их масса  
заметно возрастает. Следовательно, возрастает и период  
обращения частицы. Чтобы сохранить синхронизацию,  
увеличивают период ускоряющего поля фазотрона. На-  
чальный и конечный периоды можно найти аналогично,

как в циклотроне (см. задачу 12.18); **Т0**  **Т =** ,

***qB qB***

где **m0** — масса покоя, **m** — конечная масса.  
**Т Ътх qB m п**

— —. Релятивистская энергия частицы

***Т0 qB 2тпп0 тп0***

**£** = **тс2**, где **с** — скорость света. Энергия покоя  
**£0** = **т0с2.** По закону сохранения энергии разность  
начальной и конечной энергий составит кинетическая  
энергия, полученная частицей при ускорении фазотроном,

***^ = £-£о- тс2* -*т0с2* - *(т*-*пг0)с*2, отсюда *т* =Дг- + *т0.***

***с***

***Т \_W/c2 + ,„0 W***

= —— + 1. а) Для протона **W = Wn** =660х

**уо *С~Щ***

х10 1,6 -10 **19** =1,06 -10\_|**0**Дж, — =1,7. б) Для or-частицы

***То***

**W-Wa** =840-10е -1,6-1**0'19** =1,34-1**0**',**0**Дж, — = 1,2.

***Tq***