

Задача 37 Характеристики атомных ядер

Вычислить с помощью формулы Вайцеккера энергию связи $E_{\text{св}}$, массу $m_{\text{я}}$ заданного в табл. 34 ядра, а также радиус ядра R . Рассчитать указанную в последнем столбце таблицы величину:

n_A - концентрация нуклонов в ядре,

$\rho_{\text{я}}$ - плотность ядерного вещества,

ρ_Z - объемную плотность электрического заряда,

ε - удельную энергию связи ядра,

Δm - дефект массы,

ϕ_R - потенциал электрического поля ядра в точке, расположенной на поверхности ядра

ϕ_0 - потенциал электрического поля ядра в центре ядра

При расчетах принять ядро за однородно по объему заряженную сферическую каплю несжимаемой ядерной жидкости.

Таблица 37

вариант	ядро	найти	вариант	ядро	найти
1	$^{40}_{20}\text{Ca}$	n_A	11	$^{141}_{55}\text{Cs}$	ε
2	$^{103}_{47}\text{Ag}$	$\rho_{\text{я}}$	12	$^{33}_{17}\text{Cl}$	n_A
3	$^{50}_{23}\text{V}$	ρ_Z	13	$^{55}_{25}\text{Mn}$	$\rho_{\text{я}}$
4	$^{200}_{80}\text{Hg}$	Δm	14	$^{53}_{27}\text{Co}$	ρ_Z
5	$^{45}_{21}\text{Sc}$	ϕ_R	15	$^{65}_{29}\text{Cu}$	Δm
6	$^{96}_{42}\text{Mo}$	ϕ_0	16	$^{58}_{28}\text{Ni}$	ϕ_R
7	$^{33}_{16}\text{S}$	n_A	17	$^{48}_{22}\text{Ti}$	ε
8	$^{51}_{24}\text{Cr}$	$\rho_{\text{я}}$	18	$^{65}_{30}\text{Zn}$	Δm
9	$^{56}_{26}\text{Fe}$	ρ_Z	19	$^{82}_{35}\text{Br}$	ϕ_0
10	$^{127}_{50}\text{Sn}$	Δm	20	$^{88}_{38}\text{Sr}$	ϕ_R
			21	$^{90}_{39}\text{I}$	$\Delta m, \rho_{\text{я}}$

Задача 38 Закон радиоактивного распада

В начальный момент времени $t_0=0$, образец радиоактивного изотопа массой m содержит N_0 ядер. Через промежуток времени t из них остается нераспавшимися N ядер. Отношения $\frac{N}{N_0}$ выражает долю оставшихся ядер, а $(1 - \frac{N}{N_0})$ – долю распавшихся ядер за заданное время. Каждый радиоактивный изотоп характеризуется периодом полураспада $T_{1/2}$ или вероятностью распада λ . Скорость распада характеризуется активностью A изотопа, которая зависит от массы изотопа и убывает со временем. Сформулируйте условие задачи своего варианта, пользуясь данными таблицы 38 и решите её.

Таблица 38

Вариант	Радиоактивный изотоп	Период полураспада $T_{1/2}$	Вероятность распада λ , с^{-1}	Начальное количество ядер N_0	Количество распавшихся ядер ΔN	Доля распавшихся ядер $\Delta N / N_0$, %	Доля нераспавшихся ядер N / N_0 , %	Время распада	Масса изотопа m , мг	Активность $A(t)$, Ки	Удельная активность a
1	$^{89}\text{Ac}^{225}$	-	$8 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	?	5 сут	-	-	-
2	$^{53}\text{I}^{131}$	8 суток	-	-	-	25	-	?	-	-	-
3	-	-	-	-	-	?	-	$t=1/\lambda$	-	-	-
4	$^{89}\text{Ac}^{225}$	10 суток	-	-	-	?	-	6 сут	-	-	-
5	-	?	-	10^6	200	-	-	1 сек	-	-	-
6	$^{84}\text{Po}^{210}$	138 суток	-	10^6	-	-	?	1 сут	-	-	-
7	$^{86}\text{Rn}^{222}$	-	?	-	-	18,2	-	1 сут	-	-	-
8	-	-	$4 \cdot 10^{-7}$	-	-	75	-	?	-	-	-
9	-	-	?	-	-	75	-	8 сут	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	?	$t=1/\lambda$	-	-	-
11	$^{90}\text{Th}^{229}$	$7 \cdot 10^3$ лет	-	-	?	-	-	1 год	-	-	-
12	$^{38}\text{Sr}^{90}$	28 лет	-	10^7	1	-	-	?	-	-	-
13	$^{15}\text{P}^{32}$	14,3 сут	-	-	-	-	-	-	1	?	-
14	$^{53}\text{I}^{131}$	-	10^{-6}	-	-	-	-	-	?	1	-
15	$^{27}\text{Co}^{60}$	5,3 суток	-	-	-	-	-	-	-	-	?
16	-	?	-	-	-	-	5/8	849 с	-	-	-
17	$^{86}\text{Ru}^{222}$	3,82 суток	-	-	-	-	-	-	?	1	-
18	$^{92}\text{U}^{235}$	$7,1 \cdot 10^8$ лет	-	-	-	-	-	-	-	-	?
19	—	-	?	-	-	-	-	10сут	-	0,76 A_0	-
20	$^{38}\text{Sr}^{90}$	28 лет	-	-	-	-	-	-	-	-	?
21	$^{89}\text{Ac}^{225}$	10 суток	-	-	-	-	?	2 сут 1 час	1	?	-

Пример решения задачи 38 (вариант 21, таблица 38)

Какая доля ядер актиния ${}^{225}_{89}\text{Ac}$ распадается в радиоактивном препарате через 2 суток и через 1 час, если период полураспада этого изотопа $T_{1/2}=10$ суток. Определить активность 1 мг этого изотопа.

Дано:

${}^{225}_{89}\text{Ac}$,

$T_{1/2}=10$ суток,

$t_1=2$ сут.,

$t_2=1$ час,

$m=10^{-6}$ кг

$\frac{\Delta N}{N}$ -?, А-?

Решение:

Число распавшихся ядер найдем как разность начального количества ядер N_0 и N , оставшихся к моменту времени t :

$$\Delta N = N_0 - N \quad (1)$$

Число оставшихся ядер определим по закону радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Подставив (2) в (1) и учитывая связь постоянной распада λ с периодом полураспада $T_{1/2}=\ln 2/\lambda$, получим

$$\Delta N = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \right)$$

Отсюда находим долю распавшихся ядер:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Подставим числовые значения $t=2$ суток и $T_{1/2}=10$ суток и вычислим:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 0.13 = 13\%$$

2) Так как $t=1\text{ч} \ll T_{1/2}$, в этом случае количество распавшихся ядер ΔN удобно рассчитать по приближенной формуле $\Delta N = N_0 \lambda t$, а из нее выразить долю распавшихся ядер:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \lambda t = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t$$

Выразим $T_{1/2}$ в часах и рассчитаем: $\frac{\Delta N}{N_0} = 0,0028 = 0,28\%$

Активность препарата A определена как скорость распада, т.е.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 \exp(-\lambda t) = \lambda N \quad (3)$$

Количество ядер N в препарате массой $m=10^{-3}$ г определим:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A,$$

где $\mu = 225\text{г/моль}^{-1}$ - молярная масса изотопа,

$N_A = 6 \cdot 10^{23}\text{моль}^{-1}$ - число Авогадро .

Рассчитаем активность A препарата массой m :

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{\mu} N_A = 2.1 \cdot 10^{10} \text{ Бк},$$

здесь $T_{1/2}=8,64 \cdot 10^5 \text{ с}$.

Выразим активность во внесистемных единицах, принимая $1\text{Кн}=3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$

$$A=56,8 \text{ Ки}$$

Задача 39 Радиоактивные превращения ядер. α , β – распад.

Радиоактивный изотоп распадается, участвуя в цепочке α , β –распадов. Исходное ядро и последовательность актов распада указаны в таблице 39.

Определите, какие изотопы образуются в каждом акте распада приведенной цепочки. Сформулируйте и решите задачу, пользуясь данными таблицы 39.

Таблица 39

вар.	исходное ядро	последовательность распада	вариант	исходное ядро	последовательность распада
1	^{232}Th	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$	11	^{232}Th	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$
2	^{220}Rn	$\alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \beta \rightarrow \beta$	12	^{234}Pa	$\beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$
3	^{237}Np	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$	13	^{234}Th	$\beta \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$
4	^{238}U	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$	14	^{234}Bi	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$
5	^{226}Ra	$\alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$	15	^{210}Tl	$\beta \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$
6	^{235}U	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$	16	^{233}Pa	$\beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$
7	^{227}Ac	$\alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$	17	^{216}Po	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$
8	^{215}Po	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$	18	^{228}Ra	$\beta \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$
9	^{217}At	$\alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \beta \rightarrow \beta$	19	^{219}Rn	$\alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$
10	^{228}Ac	$\beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$	20	^{214}Po	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$
			21	^{223}Fr	$\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$

Пример решения задачи 39 (вариант 21, таблица 39)

Определить какие изотопы образуются в последовательности $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$ распадов ядра ^{223}Fr .

Решение:

Причиной радиоактивного распада является нарушение баланса между количеством Z протонов и N нейтронов в ядре. При нарушении баланса между ядерными и кулоновскими силами ядро освобождается от избыточных нуклонов и превращается в другое ядро, испуская при этом частицы определенного сорта.

В α -распаде ядро испускает α -частицу (ядро атома ^4He). В β -распаде образование нового ядра сопровождается испусканием электрона.

В любом распаде суммарный электрический заряд и количество нуклонов в ядрах остаются неизменными до и после превращения.

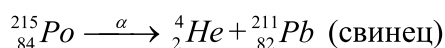
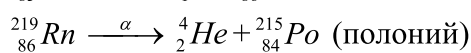
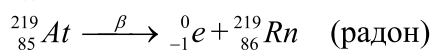
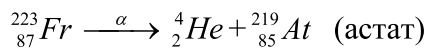
α -распад происходит по схеме ${}_Z^AX \xrightarrow{\alpha} {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$ (1)

β -распад происходит по схеме ${}_Z^AX \xrightarrow{\beta} {}_Z^AY + {}_{-1}^0e$, (2)

где X - материнское ядро, Y - дочернее ядро. β -распад, кроме того, сопровождается испусканием электронного антинейтрино ${}^0_0\tilde{\nu}$.

В данной задаче распадается ядро $^{223}_{87}\text{Fr}$ по цепочке $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha$.

Согласно правилам (1), (2) запишем уравнения цепочки распадов и по зарядовому числу Z продуктов распада определим: ядро какого химического элемента образуется на каждом этапе цепочки.



В результате осуществления цепочки указанных радиоактивных превращений образуется устойчивое ядро свинца $^{211}_{82}\text{Pb}$.

Задача 40 Ядерные реакции

В таблице 40 приведены уравнения ядерных реакций. Определите недостающее в записи реакции ядро или частицу, а также энергию ядерной реакции Q.

Таблица 40.1

вар.	ядерная реакция	вар.	ядерная реакция
1	${}^6\text{Li} + ? = {}^8\text{Be} + {}^4\text{He}$	11	${}^6\text{Li} + ? = {}^9\text{Be} + {}^4\text{He}$
2	${}^{12}\text{C} + {}^2\text{H} = {}^{11}\text{B} + ?$	12	${}^{11}\text{B} + {}^4\text{He} = ? + {}^1\text{H}$
3	${}^{16}\text{O} + {}^7\text{Li} = ? + {}^3\text{H}$	13	${}^9\text{Be} + {}^6\text{Li} = ? + {}^4\text{He}$
4	${}^{14}\text{N} + {}^7\text{Li} = {}^{18}\text{F} + ?$	14	${}^{16}\text{O} + ? = {}^{14}\text{N} + {}^4\text{He}$
5	${}^{11}\text{B} + {}^7\text{Li} = ? + {}^3\text{H}$	15	${}^{15}\text{N} + {}^7\text{Li} = {}^3\text{H} + ?$
6	${}^6\text{Li} + ? = {}^8\text{Be} + {}^1\text{H}$	16	${}^{12}\text{C} + {}^7\text{Li} = ? + {}^4\text{He}$
7	${}^{10}\text{B} + {}^6\text{Li} = ? + {}^4\text{He}$	17	${}^{11}\text{B} + {}^7\text{Li} = ? + 2\text{n}$
8	${}^{17}\text{O} + {}^1\text{H} = ? + {}^4\text{He}$	18	${}^{16}\text{O} + {}^6\text{Li} = ? + {}^4\text{He}$
9	${}^{18}\text{O} + {}^6\text{Li} = ? + {}^4\text{He} + \text{n}$	19	${}^{14}\text{N} + {}^6\text{Li} = \text{n} + ? + {}^{15}\text{O}$
10	$? + {}^4\text{He} = {}^{14}\text{N} + \text{n}$	20	${}^{14}\text{N} + {}^3\text{H} = \text{n} + ? + \text{p}$
		21	${}^6\text{Li} + ? = {}^{15}\text{N} + \text{p}$

Пример решения задачи 40 (вариант 21, таблица 40.1)

В ядерных реакциях сохраняется неизменным общее число протонов и нуклонов до и после реакции.

В реакции ${}^6\text{Li} + ? = {}^{15}\text{N} + \text{p}$ участвуют протон ${}_1^1\text{p}$, ядра ${}_3^6\text{Li}$, ${}_7^{15}\text{N}$ и неизвестное ядро. Найдем число протонов Z и число нуклонов A в неизвестном ядре. Согласно уравнений баланса нуклонов и протонов

$$6 + A = 15 + 1$$

$$3 + Z = 7 + 1.$$

Очевидно, что $A=10$, $Z=5$. Следовательно, недостающее ядро - это ядро атома бора ${}_5^{10}\text{B}$.

Энергию ядерной реакции вычислим по формуле

$$Q = 931,5\Delta m,$$

где Δm - разность масс ядер, вступающих в реакцию и ядер - продуктов реакции. Используя справочную таблицу (табл 40.2), найдем

$$\Delta m = (6,01513 + 10,01294) - (15,00011 + 1,00783) = 1,02013 \text{ а.е.м.}$$

Энергия ядерной реакции

$$Q = 931,5\Delta m = 18,75 \text{ МэВ.}$$

Энергия оказалась положительной, следовательно реакция является экзотермической, т.е протекает с выделением энергии.

Таблица 40.2

Z	нуклид	масса, а.е.м	Z	нуклид	масса, а.е.м	Z	нуклид	масса, а.е.м
0	n	1,00867	5	${}^9\text{B}$	9,01333	8	${}^{15}\text{O}$	15,00307
1	${}^1\text{H}$	1,00783	5	${}^{10}\text{B}$	10,01294	8	${}^{16}\text{O}$	15,99491
1	${}^2\text{H}$	2,01410	5	${}^{11}\text{B}$	11,00931	8	${}^{17}\text{O}$	16,99913
1	${}^3\text{H}$	3,01605	6	${}^{12}\text{C}$	12,00000	8	${}^{18}\text{O}$	17,99916
2	${}^4\text{He}$	4,00260	6	${}^{13}\text{C}$	13,00335	9	${}^{18}\text{F}$	18,00095
2	${}^3\text{He}$	3,01603	6	${}^{14}\text{C}$	14,00324	9	${}^{19}\text{F}$	18,99840
3	${}^6\text{Li}$	6,01513	7	${}^{13}\text{N}$	13,00574	9	${}^{20}\text{F}$	19,99998
3	${}^7\text{Li}$	7,01601	7	${}^{14}\text{N}$	14,00307	10	${}^{20}\text{Ne}$	19,99244
4	${}^7\text{Be}$	7,01693	7	${}^{15}\text{N}$	15,00011			
4	${}^8\text{Be}$	8,00531						
4	${}^9\text{Be}$	9,01219						

Задача 41 Волновые свойства частиц. Формула де-Бройля.

Любая движущаяся микрочастица обладает волновыми свойствами. Так частица, имеющая импульс p , может быть описана как волновой процесс с длиной волны де Бройля

$$\lambda_B = \frac{h}{p}.$$

Длина волны де Бройля может быть выражена через кинетическую энергию T

частицы или, в случае заряженной частицы, - через ускоряющую разность потенциалов U . Сформулируйте и решите задачу, используя данные таблицы 41.

Пример решения задачи 41 (вариант 21, таблица 41)

Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы его де-бройлевская длина волны λ_B могла быть равной 0,002 нм.

Дано:

$$m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг},$$

$$\lambda_B = 2 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$U = ?$

Решение:

Прежде всего следует решить вопрос, является ли электрон в данной задаче классической или релятивистской частицей. Ответ может быть дан на основании сравнения либо скорости частицы v со скоростью света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, либо кинетической энергии частицы T с ее энергией покоя $E_0 = m_0 c^2$. Частица классическая, если $v \ll c$ или $T \ll E_0$.

В данной задаче ни энергия, ни скорость частицы не заданы. Оценим скорость частицы v на основании формулы де-Бройля, где импульс частицы p выражен по классической формуле $\lambda_B = \frac{h}{mv}$.

Выразим и рассчитаем скорость частицы

$$v = \frac{h}{m_0 \lambda_B} = 3,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Результат $v > c$ означает, что частица на самом деле релятивистская и классическая формула для нахождения импульса такой частицы непригодна.

Релятивистский импульс частицы находится по формуле

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{T(T + 2E_0)}.$$

Подставим импульс в формулу де-Бройля и после несложных преобразований получим квадратное уравнение для нахождения кинетической энергии:

$$T^2 + 2TE_0 - \frac{h^2 c^2}{\lambda^2} = 0.$$

Физический смысл имеет только один корень уравнения

$$T = 4,6 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия T получена электроном за счет работы сил электростатического поля в процессе преодоления им разности потенциалов U .

Согласно закона сохранения энергии $T = eU$. Выразим и рассчитаем ускоряющую разность потенциалов

$$U = \frac{T}{e} = 2,6 \cdot 10^5 \text{ В} = 2,9 \text{ МВ}$$

Таблица 41

Вар.	Частица, масса m , кг	Скорость частицы v	T , МэВ	U, B	$\lambda_{Б, нм}$
1	Протон $m_0=1,67 \cdot 10^{-27}$	$0,6 \cdot c$	-	-	?
2	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	-	1,02	-	?
3	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	-	-	1000	?
4	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	-	-	10^{-3}	?
5	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	-	-	?	0,1
6	Позитрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$?	-	200	0,002
7	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	$0,8 \cdot c$	-	-	?
8	Протон $m_0=1,6 \cdot 10^{-27}$	-	-	100	?
9	α -частица $m_0=6,64 \cdot 10^{-27}$	v найти из условия, что частица движется по окружности $R=0,83$ см в магнитном поле с индукцией $B=0,02$ Тл	-	-	?
10	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	v найти из условия, что частица движется по 1-ой боровской орбите атома водорода	-	-	?
11	Атом водорода $m_0=1,67 \cdot 10^{-27}$	v равна наиболее вероятной при $T=300$ К	-	-	?
12	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	v найти из условия, что частица движется по окружности $R=0,5$ см в магнитном поле с индукцией $B=8$ мТл	-	-	?
14	Шарик, 1г	10 м /с	-	-	?
15	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	-	$2E_0$	-	?
16	Протон $m_0=1,67 \cdot 10^{-27}$	-	-	10^6	?
17	Нейтрон $m_0=1,67 \cdot 10^{-27}$	-	10	-	?
18	Нейтрон $m_0=1,67 \cdot 10^{-27}$?	-	-	0,01
19	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	v найти из условия, что частица движется по 2-ой боровской орбите атома водорода	-	-	?
20	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	-	1000	-	?
21	Электрон $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$	-	-	?	0,002

Примечания к таблице 41:

- 1) c - скорость света в вакууме
- 2) E_0 - энергия покоя частицы

Задача 42. Квантовые состояния частиц. Принцип Паули

В атомах, содержащих больше одного электрона, энергия состояния электрона определяется четырьмя квантовыми числами (n , ℓ , m_ℓ , m_s). Определите максимальное число различных квантовых состояний, которое удовлетворяет условиям, указанным в таблице 42. Запишите квантовое состояние, в котором электрон будет иметь максимальный орбитальный момент импульса при этих условиях.

Таблица 42

вар.	информация о квантовых числах	вар.	информация о квантовых числах	вар.	информация о квантовых числах
1	$n < 5$	8	$n = 4, \ell \leq 2$	15	$n = 5, m = -3$
2	$n \leq 3, \ell = 1$	9	$n = 6, \ell = 2$	16	$n = 6, m < -3$
3	$n = 7, \ell = 3$	10	$n = 6, \ell > 2$	17	$n < 7, m \leq -4$
4	$n = 4, m \leq 2$	11	$n = 7, \ell \leq 4$	18	$n = 5, \ell = 3$
5	$n < 7, m = -4$	12	$n \leq 6, m = 4$	19	$n < 7, m > 3$
6	$n = 6, \ell \geq 4$	13	$n = 3, \ell \leq 1$	20	$n \leq 3, \ell > 1$
7	$n = 7$	14	$n = 7, \ell > 2$	21	$n = 5, m \geq 4$

Пример решения задачи 42 (вариант 21, таблица 42)

Какое максимальное число электронов в атоме могут иметь главное квантовое число $n=5$, а магнитное квантовое число $m_\ell \geq 4$. Записать состояние электрона, имеющего максимальный орбитальный момент импульса L .

Решение:

В соответствии с принципом Паули в атоме не может быть более одного электрона с одинаковыми четырьмя квантовыми числами. При фиксированном значении n , орбитальное число ℓ принимает значение от $\ell=0$ до $\ell = n-1$, магнитное орбитальное число $m_\ell=0; \pm 1, \dots \pm \ell$, магнитное спиновое число $m_s=\pm 1/2$.

Согласно условию задачи $n=5$, значит $\ell \leq 4$. Магнитное число $m_\ell \geq 4$ могут иметь только электроны с орбитальным числом $\ell=4$. То два электрона имеют фиксированный набор трех квантовых чисел n, ℓ, m_ℓ , различаясь только по спиновому числу m_s , которое принимает только 2 значения.