

Домашнее задание для студентов 2 курса к 6-му модулю: 2 этап  
(По программе курса физики на 3 семестра)

Примечание: необходимые табличные данные (константы двухатомных молекул, табличные значения масс нуклидов и прочее смотреть на стенде кафедры между ауд. 475 и 477).

*Двухатомная молекула.*

1. Найти для молекул  $\text{H}_2$  и  $\text{NO}$  энергию, необходимую для возбуждения их на первый вращательный уровень.
2. Найти для молекулы  $\text{HCl}$  квантовые числа  $J$  двух соседних вращательных уровней, с разностью энергий  $7,86 \text{ мэВ}$ .
3. Для двухатомной молекулы известны интервалы между тремя последовательными вращательными уровнями:  $\Delta E_1 = 0,20 \text{ мэВ}$  и  $\Delta E_2 = 0,30 \text{ мэВ}$ . Найти вращательную энергию среднего уровня.
4. Найти температуры, при которых средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$  равна их вращательной энергии в состоянии с квантовым числом  $J = 1$ .
5. Найти энергию, необходимую для возбуждения молекулы водорода из основного состояния на первый колебательный уровень ( $\nu = 1$ ). Во сколько раз эта энергия больше энергии возбуждения данной молекулы на первый вращательный уровень ( $J = 1$ )?
6. Найти разность энергий состояний с квантовыми числами  $\nu' = 1$ ,  $J' = 0$ , и  $\nu = 0$ ,  $J = 5$  у молекулы  $\text{OH}$ .
7. Вычислить для молекулы  $\text{HF}$  число вращательных уровней, расположенных между основным и первым возбужденным колебательными уровнями, считая вращательные состояния не зависящими от колебательных.
8. Найти момент инерции молекулы  $\text{CH}$  и расстояние между ее ядрами, если частотные интервалы между соседними линиями чисто вращательного спектра этих молекул равны  $\Delta\omega = 5,50 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$ .
9. Известны длины волн двух соседних линий чисто вращательного спектра молекул  $\text{HCl}$ :  $117$  и  $156 \text{ мкм}$ . Определить:
  - а) момент инерции этих молекул;
  - б) вращательные квантовые числа уровней, между которыми происходят переходы, соответствующие этим линиям.
10. Сколько линий содержит чисто вращательный спектр молекул  $\text{OH}$ ?
11. В колебательно-вращательном спектре поглощения молекул  $\text{HBr}$  частоты нулевых линий, соответствующих запрещенным переходам ( $\Delta J = 0$ ) между основным и ближайшими возбужденными колебательными уровнями ( $\nu = 0$  и  $\nu' = 1, 2$ ), равны  $4,82 \cdot 10^{14}$  и  $9,48 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$ . Определить частоту колебаний и коэффициент ангармоничности этих молекул.
12. Определить число колебательных энергетических уровней, которое имеет молекула  $\text{HBr}$ , если коэффициент ангармоничности  $x = 17,1 \cdot 10^{-3}$ .
13. Определить энергию диссоциации молекулы  $\text{CO}$ . Изобразить на потенциальной кривой схему колебательных энергетических уровней и отметить на ней энергию диссоциации.
14. Молекула  $\text{NO}$  переходит из низшего возбужденного состояния в основное. Определить длину волны  $\lambda$  испущенного при этом фотона. На потенциальной кривой изобразить схему колебательных энергетических уровней молекулы и отметить на ней соответствующий энергетический переход.
15. Определить угловую скорость вращения молекулы  $\text{S}_2$ , находящейся на первом возбужденном вращательном уровне.
16. Найти момент инерции и межъядерное расстояние молекулы  $\text{CO}$ , если интервалы  $\Delta E$  между соседними линиями чисто вращательного спектра испускания молекул  $\text{CO}$  равны  $0,48 \text{ мэВ}$ .
17. Будет ли монохроматическое электромагнитное излучение с длиной волны  $\lambda = 3 \text{ мкм}$  возбуждать вращательные и колебательные уровни молекулы  $\text{HF}$ , находящейся в основном состоянии?
18. Вычислить для молекулы  $\text{HBr}$  число вращательных уровней, расположенных между основным и первым возбужденным колебательными уровнями, считая вращательные состояния не зависящими от колебательных.
19. Определить число колебательных энергетических уровней, которое имеет молекула  $\text{OH}$ , если коэффициент ангармоничности  $x = 22,2 \cdot 10^{-3}$ .
20. Определить энергию диссоциации молекулы  $\text{N}_2$ . Изобразить на потенциальной кривой схему колебательных энергетических уровней и отметить на ней энергию диссоциации.

### Твердое тело.

21. Длинноволновый край полосы поглощения чистого германия лежит вблизи длины волны  $\lambda_1 = 1,9 \text{ мкм}$ . Оценить отсюда ширину запрещенной зоны германия.
22. Красная граница фотоэффекта сурьмяно-цезиевого фотокатода соответствует длине волны  $\lambda_1 = 650 \text{ нм}$ . Красная граница собственной фотопроводимости отвечает  $\lambda_2 = 2,07 \text{ мкм}$ . Определить положение (в эВ) дна зоны проводимости данного полупроводника относительно вакуума.
23. Изобразить энергетическую схему кислородо-цезиевого фотокатода, если известно, что энергия активации донорных примесей равна  $0,6 \text{ эВ}$ , красная граница фотоэффекта при очень низких температурах соответствует длине волны  $\lambda_1 = 1,3 \text{ мкм}$  и начало возрастания фототока вблизи следующих двух коротковолновых максимумов отвечает  $\lambda_2 = 600 \text{ нм}$  и  $\lambda_3 = 350 \text{ нм}$ .
24. Красная граница проводимости чистого беспримесного германия при очень низких температурах соответствует длине волны  $\lambda_1 = 1,7 \text{ мкм}$ . Вычислить температурный коэффициент сопротивления этого полупроводника при  $T = 300 \text{ К}$ .
25. Найти минимальную энергию, необходимую для образования пары электрон-дырка в чистом теллуре, если известно, что его электропроводность возрастает в  $n = 5,2$  раза при увеличении температуры от  $T_1 = 300$  до  $T_2 = 400 \text{ К}$ .
26. На рис. 1 изображен график зависимости логарифма электропроводности от обратной температуры для кремния с примесью бора. Объяснить характер данного графика. Определить ширину запрещенной зоны кремния  $\Delta E_0$  и энергию активации примесных атомов.
27. Для закиси меди (р-типа) получена следующая зависимость удельного сопротивления от абсолютной температуры:

$T, K$	286	345	455	556	667	833
$\rho, \text{ Ом}\cdot\text{см}$	12,2	3,49	1,00	0,223	0,018	0,0015

Построив соответствующий график, найти ширину запрещенной зоны  $\Delta E_0$  данного полупроводника и энергию активации акцепторных примесей  $\Delta E_A$ .

28. Изобразить энергетическую схему примесного фотокатода при температурах близких к  $0 \text{ К}$ , у которого наблюдается 3 максимума фототока и 4 максимума фотопроводимости. Красная граница фототока соответствует поглощению кванта света с энергией  $0,05 \text{ эВ}$ , начала следующих максимумов фототока соответствуют поглощению квантов света с энергиями  $0,07 \text{ эВ}$  и  $0,4 \text{ эВ}$ . Красная граница фотопроводимости соответствует поглощению кванта света с энергией  $0,01 \text{ эВ}$ , а начала следующих максимумов фотопроводимости соответствуют поглощению квантов света с энергиями  $0,02 \text{ эВ}$ ,  $0,04 \text{ эВ}$  и  $0,37 \text{ эВ}$ . Определить ширину зоны проводимости.
29. Вычислить и сравнить между собой концентрации электронов проводимости при температуре  $T = 300 \text{ К}$ : а) в чистом беспримесном полупроводнике, ширина запрещенной зоны которого равна  $1 \text{ эВ}$ ; б) в полупроводнике n-типа, энергия активации примесных атомов которого равна  $0,2 \text{ эВ}$ . Концентрация донорных атомов составляет  $n = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ .
30. Вычислить удельное сопротивление полупроводника n-типа при температуре  $T = 50 \text{ К}$ , если известно, что концентрация донорных атомов  $n = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , энергия их активации  $\Delta E = 0,1 \text{ эВ}$ , подвижность электронов  $U = 500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{сек}$ .

### Ядро атома. Энергия связи.

31. Определить массу протонов и нейтронов в ядре нейтрального атома хрома  $\text{Cr}^{52}$ .
32. Пользуясь табличными значениями масс определить энергию связи атома гелия.
33. Определить энергию связи на нуклон для изотопов гелия:  $\text{He}^3$  и  $\text{He}^4$ , если масса атомов  $3,0160$  и  $4,0026 \text{ а.е.м.}$
34. Определить дефект массы, энергию связи, и энергию связи на нуклон для ядра  $\text{Li}^7$ , если масса атома  $7,016 \text{ а.е.м.}$
35. Найти с помощью табличных значений масс нуклидов: а) энергию связи на один нуклон в ядре  $\text{O}^{16}$ ; б) энергию, необходимую для разделения ядра  $\text{O}^{16}$  на четыре одинаковые частицы.
36. Вычислить массу в  $\text{а.е.м.}$ :  
а) нуклида  $\text{Li}^8$ , энергия связи ядра которого  $41,3 \text{ МэВ}$ ;  
б) ядра  $\text{C}^{11}$  с энергией связи на один нуклон  $6,04 \text{ МэВ}$ .

37. Сколько тепла выделяется при образовании 1 г  $\text{He}^4$  из дейтерия  $\text{H}^2$ ? Какая масса каменного угля с теплотворной способностью 30 кДж/г эквивалентна этому теплу?
38. При бомбардировке изотопа лития ( $\text{Li}^6$ ) дейтерием образуются две  $\alpha$  – частицы и выделяется энергия 22,3 МэВ. Определить массу изотопа лития.
39. Определить энергию реакции  $\text{Li}^7 + p \rightarrow 2 \text{He}^4$ , если энергия связи на один нуклон в ядрах  $\text{Li}^7$  и  $\text{He}^4$  равны 5,60 и 7,60 МэВ.
40. Определить массу нейтрального атома, если ядро этого атома состоит из трех протонов и двух нейтронов и энергия связи ядра равна 26,3 МэВ.
41. Какую наименьшую энергию нужно затратить, чтобы разделить на отдельные нуклоны ядра  $\text{Li}^7$  и  $\text{Be}^7$ ?
42. Определить энергию связи, которая выделится при образовании из протонов и нейтронов ядер  $\text{He}^4$  массой  $m = 1$  г.
43. Энергия связи ядра кислорода  $\text{O}^{18}$  равна 139,8 МэВ, ядра фтора  $\text{F}^{19}$  – 147,8 МэВ. Определить, какую минимальную энергию нужно затратить, чтобы оторвать один протон от ядра фтора?
44. Какую наименьшую энергию нужно затратить, чтобы разделить:
- ядро гелия  $\text{He}^4$  на две одинаковые части;
  - ядро углерода  $\text{C}^{12}$  на три одинаковые части?
45. Какие ядра образуются из  $\alpha$  – активного  $\text{Ra}^{226}$  в результате пяти  $\alpha$  – распадов и четырех  $\beta$  – распадов?
46. Сколько  $\alpha$  – и  $\beta$ – распадов испытывает  $\text{U}^{238}$ , превращаясь, в конечном счете в стабильный  $\text{Pb}^{206}$ ?
47. Какие ядра образуются из тория  $\text{Th}^{232}$  после четырех  $\alpha$  - распадов и двух  $\beta$  - распадов?
48. Найти с помощью табличных значений масс атомов энергию связи:
- нейтрона в ядре  $\text{Ne}^{21}$ ;
  - $\alpha$  - частицы в ядре  $\text{Ne}^{21}$ .
49. Вычислить с помощью табличных значений дефектов масс энергии связи на один нуклон в ядрах  $\text{Li}^6$ ,  $\text{Ne}^{21}$ ,  $\text{Ar}^{40}$ ,  $\text{Cu}^{65}$ ,  $\text{Ag}^{107}$ ,  $\text{Pb}^{208}$  и  $\text{U}^{235}$ . Построить график зависимости энергии связи на нуклон от массового числа и проанализировать его вид.
50. Определить энергию, необходимую для разделения ядра  $\text{O}^{16}$  на  $\alpha$  – частицу и ядро  $\text{C}^{12}$ , если известно, что энергия связи ядер  $\text{O}^{16}$ ,  $\text{C}^{12}$  и  $\text{He}^4$  равны соответственно 127,62; 92,16; 28,30 МэВ.
51. Определить энергию, выделяющуюся при образовании двух  $\alpha$  – частиц в результате синтеза ядер  $\text{Li}^6$  и  $\text{H}^2$ , если известно, что энергия связи на один нуклон в ядрах  $\text{Li}^6$ ,  $\text{He}^4$  и  $\text{H}^2$  равны соответственно 5,33; 7,08; 1,11 МэВ.
52. Определить энергию связи, приходящуюся на нуклон для изотопов лития  $\text{Li}^6$  и  $\text{Li}^7$ , если массы атомов 6,0151 и 7,0160 а.е.м.
53. Считая, что в одном акте деления ядра  $\text{U}^{235}$  освобождается энергия 200 МэВ, определить энергию, выделяющуюся при сгорании 1 кг изотопа  $\text{U}^{235}$  и массу каменного угля с теплотворной способностью 7000 ккал/кг, эквивалентную в тепловом отношении 1 кг  $\text{U}^{235}$ .
54. Считая, что в одном акте деления ядра  $\text{U}^{235}$  освобождается энергия 200 МэВ, определить массу изотопа  $\text{U}^{235}$ , подвергшегося делению при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом 30 кило тонн, если тепловой эквивалент тротила равен 1000 ккал/кг.
55. Определить:
- плотность ядерной материи;
  - радиус Земли, если бы она со своей реальной массой –  $5,98 \cdot 10^{24}$  кг, имела бы плотность ядра.

### Радиоактивность

56. Какая доля начального количества радиоактивного изотопа распадается за время, равное средней продолжительности жизни этого изотопа?
57. Какая доля радиоактивных ядер кобальта, период полураспада которых 71,3 суток, распадается за месяц?
58. Активность некоторого радиоизотопа уменьшается в 2,5 раза за 7 суток. Найти его период полураспада.
59. Найти постоянную распада и среднее время жизни радиоактивного  $\text{Co}^{55}$ , если его активность уменьшается на 4,0% за 60 мин.
60. Препарат  $\text{U}^{238}$  массы 1,0 г излучает  $1,24 \cdot 10^4$   $\alpha$  - частиц в секунду. Найти его период полураспада.

61. Определить возраст древних деревянных предметов, если известно, что удельная активность изотопа  $C^{14}$  у них составляет 0,75 удельной активности этого же изотопа в только что срубленных деревьях. Период полураспада  $C^{14}$  равен 5570 лет.
62. В урановой руде отношение числа ядер  $U^{238}$  к числу ядер  $Pb^{206}$  составляет  $\eta = 2,8$ . Оценить возраст руды, считая, что весь свинец  $Pb^{206}$  является конечным продуктом распада уранового ядра. Период полураспада  $U^{238}$  равен  $4,5 \cdot 10^9$  лет.
63. В кровь человека ввели небольшое количество раствора, содержащего радиоизотоп  $Na^{24}$  активностью  $A_0 = 2,0 \cdot 10^3$  Бк. Активность 1 см<sup>3</sup> крови, взятой через  $t = 5,0$  ч после этого, оказалась равной  $A' = 0,315$  Бк/см<sup>3</sup>. Определить объем крови человека. Период полураспада натрия  $Na^{24}$  равен 15 часов.
64. Какой активностью будет обладать препарат, содержащий 2 микрограмма изотопа  $Na^{24}$  двое суток, если его период полураспада равен 15-ти часам.
65. Удельная активность препарата, состоящего из активного кобальта  $Co^{58}$  и неактивного  $Co^{59}$ , составляет  $2,2 \cdot 10^{12}$  Бк/г. Период полураспада  $Co^{58}$  равен 71,3 суток. Найти отношение массы активного кобальта в этом препарате к массе препарата.
66. Ядро урана  $U^{238}$  делится на два осколка приблизительно одинаковой массы. Пользуясь кривой зависимости удельной связи от массовых чисел, оценить освободившуюся энергию.
67. Период полураспада плутония  $P^{239}$  равен 24,1 тысяче лет. Определить, какая доля атомов препарата плутония распадется за 10 лет и на сколько % уменьшится его активность за год.
68. Определить число радиоактивных ядер в свежеприготовленном препарате  $Br^{82}$ , если известно, что через сутки его активность становится  $A = 7,4 \cdot 10^9$  Бк.
69. Сколько миллиграммов  $\beta$  - активного  $Sr^{89}$  следует добавить к  $m = 1,0$  мг неактивного стронция, чтобы удельная активность препарата стала равной  $5,07 \cdot 10^{13}$  Бк/г.
70. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?
71. За время  $t = 8$  суток распалось  $\frac{3}{4}$  начального количества ядер радиоактивного изотопа. Определить период полураспада.
72. За время  $t = 1$  сутки активность изотопа уменьшилась от  $A_1 = 118$  ГБк до  $A_2 = 7,4$  ГБк. Определить период полураспада этого нуклида.
73. Счетчик Гейгера, установленный вблизи препарата радиоактивного изотопа серебра, регистрирует поток  $\beta$  - частиц. При первом измерении поток  $\Phi_1$  частиц был равен  $87$  с<sup>-1</sup>, а по истечении времени  $t = 1$  сутки поток  $\Phi_2$  оказался равным  $22$  с<sup>-1</sup>. Определить период полураспада изотопа.
74. Найти массу  $m_1$  урана  $U^{238}$ , имеющего такую же активность  $A$ , как стронций  $Sr^{90}$  массой  $m_2 = 1$  мг.
75. Период полураспада тория  $Th^{232}$  равен  $1,4 \cdot 10^{10}$  лет. Сколько распадов произойдет в  $0,1$  мг тория в 1 мин и на сколько процентов уменьшится активность препарата за 1 год?
76. Изотоп калия  $K^{40}$  радиоактивен с периодом полураспада  $4,5 \cdot 10^8$  лет. На долю калия приходится 0,35 % веса человека. Вычислить активность калия, находящегося в теле человека, если атомы  $K^{40}$  составляют в природе 0,012 % от общего числа атомов калия. Вес человека считать равным 75 кг.

# Распределение задач по вариантам

<b>№ вар.</b>	<b>Номера задач</b>					
<b>1</b>	1	26	40	37	68	61
<b>2</b>	17	28	49	31	67	76
<b>3</b>	18	23	45	40	64	71
<b>4</b>	8	30	48	41	73	59
<b>5</b>	2	25	36	38	75	60
<b>6</b>	9	27	38	35	69	62
<b>7</b>	3	24	39	52	76	64
<b>8</b>	12	29	43	55	70	69
<b>9</b>	5	22	41	47	74	75
<b>10</b>	6	24	53	48	71	63
<b>11</b>	13	21	54	43	62	66
<b>12</b>	11	28	37	36	58	73
<b>13</b>	16	21	44	49	61	67
<b>14</b>	7	23	42	46	60	65
<b>15</b>	14	25	50	42	66	74
<b>16</b>	15	26	51	32	65	58
<b>17</b>	4	27	52	39	72	57
<b>18</b>	10	30	35	45	56	70
<b>19</b>	20	29	33	53	59	68
<b>20</b>	19	22	34	55	57	72

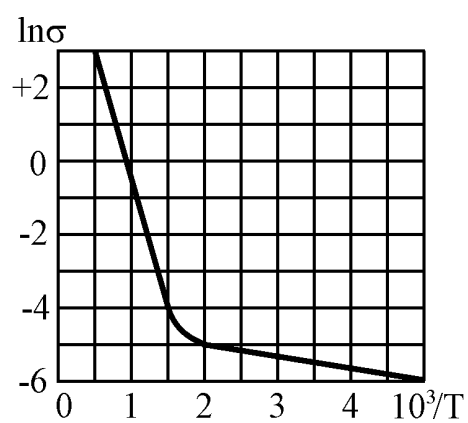


Рис. 1