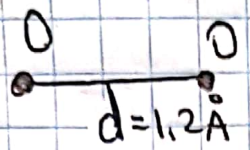
Неделя 6. Колебат. и вращ. уровни. Водородоподобные атомы.

$\boxed{0\text{-}6\text{-}1}$

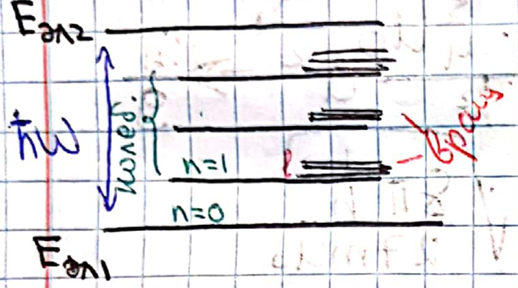


$l = 1.$ $T - ?$

Решение

энергия молекулы

$$E = E_{эл} + E_{кол} + E_{вращ}$$



$$E_{кол} = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right)$$ n – нат. число, $n = 1, 2, \dots \infty$

$$E_{вращ} = \frac{L^2}{2I} = \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2I}$$ I – момент инерции отн. ц.м.

l – орбит. квант. число
$l = 0, 1, \dots, n-1$

$$\underbrace{\frac{3}{2} k_Б T}_{\text{сред. энергия пост. движ. молекул } O_2} = \underbrace{\frac{\hbar^2 \cdot 1 \cdot \cancel{2}}{\cancel{2} I}}_{\text{энергия, необх. для возб. } O_2 \text{ на 1 вращ. уровень}}$$

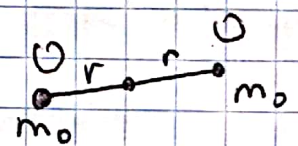
$$\Delta E_{вращ} = E_{l+1} - E_l = \frac{\hbar^2}{I}(l+1)$$

$$\Delta E_{вращ.01} = E_1 - E_0 = \frac{\hbar^2}{I}.$$

Момент инерции O_2 отн. ц.м.

$$I = 2m_0 r^2 = m_0 d^2/2$$

m_0 – масса O



$$\Rightarrow T = \frac{4\hbar^2}{3k_Б \cdot m_0 d^2} = \frac{4 \cdot (6{,}626 \cdot 10^{-34})^2 \text{Дж}^2 \cdot \text{с}^2}{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 16 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} \text{кг} \cdot (1{,}2 \cdot 10^{-10})^2 \text{м}^2}$$

$$\approx 111 \text{ К}$$

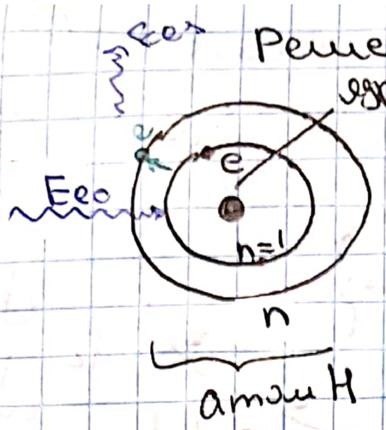
0-6-2 Дано:

$E_{e0} = 12{,}5$ эВ

$n_0 = 1.$

$E_{e1\,min}$ - ?

Решение



Налет. эл-н возб. эл-н водорода

// Для водородоподоб. атома Z: ← если на орбите эл-н иначе заменить Z на ...

$$r_n = \frac{\hbar^2 n^2}{Z^2 m_e e^2} \qquad E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{2\hbar^2}\cdot\frac{1}{n^2}$$

$$r_Б = \frac{\hbar^2}{m e^2} = 0{,}53\,\text{Å}, \quad Ry = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} = 13{,}6\ \text{эВ}$$

рад Бора — Ридберг //

энергия перехода эл-на с 1 ур. (невозб.) на n-й.

1) ЗСЭ: $E_{e0} = \Delta E_{1n} + E_{e1}$

нач. энергия налет. эл-на — энергия расс. эл-на

(пренебр. энергией отдачи атома)

2) $\Delta E_{1n} = -Ry\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{1^2}\right) = Ry\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$

3) $\Rightarrow \underset{const}{E_{e0}} = \underbrace{Ry\,(1 - 1/n^2)}_{max} + \underbrace{E_{e1}}_{min}$

$\Rightarrow$ надо выбрать min возможный n

4) Оценим n: $E_{e1} \geq 0 \Rightarrow E_{e0} \geq Ry\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$

$$\Rightarrow n \leq \sqrt{\frac{Ry}{Ry - E_{e0}}} = \sqrt{\frac{13{,}6}{13{,}6 - 12{,}5}} \approx 3{,}5 \Rightarrow n_{max} = 3$$

5) Тогда

$$E_{e1\,min} = E_{e0} - Ry\left(1 - \frac{1}{3^2}\right) = 12{,}5\,\text{эВ} - 13{,}6\,\text{эВ}\cdot\frac{8}{9} = 0{,}4\ \text{эВ}$$ //

4.29 Дано:

$2p \to 1s$

$\Delta E_{21}^{эксп} = 10{,}1$ кэВ

Найти: $\Delta E_{сил}$ - ?

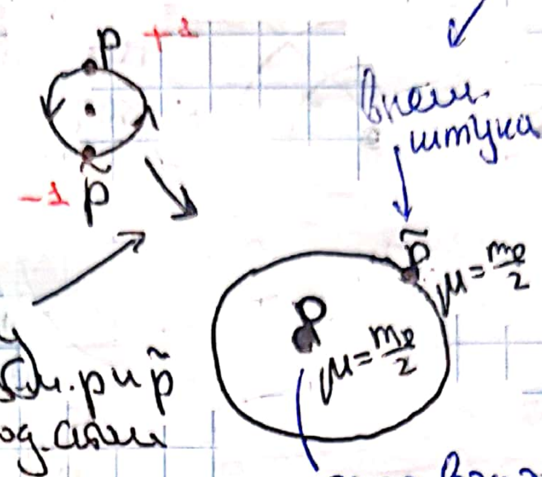
Решение

одно эл-н, но тут $\tilde{p}$

Как водородопод.

атом Т Ч системы

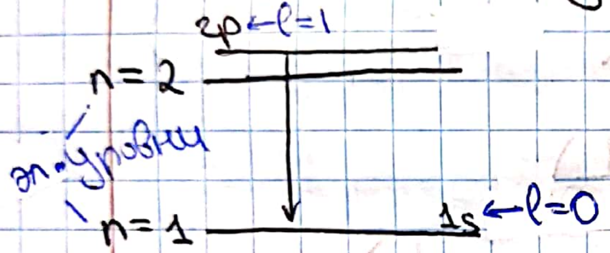
у кот. на больш. расст-и от „ядра“ 1 эл-н



Т система из вращ. в-т ц.м. p и $\tilde{p}$ как водородопод. атом

ядро водородопод. атома

1) Энергия перехода $2p \to 1s$.



$$E_n = -\frac{m e^4 z^2}{2\hbar^2 n^2}$$ ← при выводе не учит. зав-ть от θ и φ ⇒ ⇒ это для „невращ“ эл-на ⇔ ⇔ добавл. вращ. подуровни

l	0	1	2	3	...
обозн.	s	p	d	f	...

в данной зад. заменим m_e на $m_p/2$, т.к. в-т „ядра“ вращ. $m_p/2$

пренебр. ΔE м/у подуровнями на 1 уровне (т.е. счит. $\Delta E_{2p\to1s} = \Delta E_{2\to1}$)

$$\Delta E_{21} = -\frac{\mu e^4}{2\hbar^2}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2}\right) = \left|\mu = \frac{m_p m_{\tilde{p}}}{m_p + m_{\tilde{p}}} = \frac{m_p}{2}\right| =$$

$$= \frac{m_p e^4}{2\cdot 2\hbar^2}\cdot\frac{3}{4} = \underbrace{\frac{m_e e^4}{2\hbar^2}}_{Ry = 13{,}6\,эВ}\cdot\frac{3}{8}\cdot\frac{m_p}{m_e} =$$

$$= 13{,}6\cdot\frac{3}{8}\cdot 1836{,}1527 = 9{,}4 \text{ кэВ}$$

2) $\Delta E_{21}^{эксп} > \Delta E_{21}^{теор}$. Это произошло потому, что $\Delta E_{21}^{теор}$ расчит. исходя из предп-я о том, что эл-н и ядро взаим. по Кулону

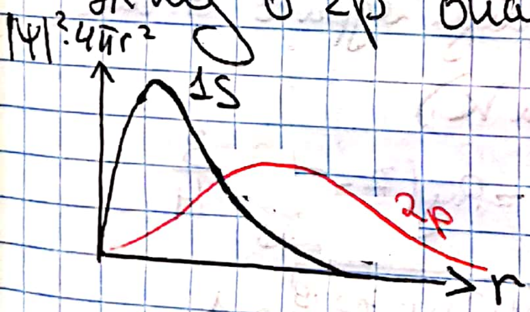
$\left(\Delta E^{теор} \leftarrow \text{из реш. УШ} \quad \left\{\frac{\hat{p}^2}{2m} - \underbrace{\frac{Ze^2}{r}}_{U(r)\ кулон}\right\}\Psi = E\Psi\right)$

На самом деле $U(r) = U^{кулон}(r) + U^{сильное\ взаим}(r)$

Значит,

$\Delta E_{сильн. взаим} = \Delta E_{21}^{эксп} - \Delta E_{21}^{теор} = 10{,}1 - 9{,}4 = 0{,}7\ кэВ$

3) Сильное взаим-е обусловлено ядер. силами, $\Rightarrow$ оно сущ. вблизи ядра. $\Rightarrow$ сильное взаим-е дает больший вклад в 1s, т.к. вер-ть эл-на в 2p сущ. вблизи ядра $\rightarrow 0$.



4.38. Дано:

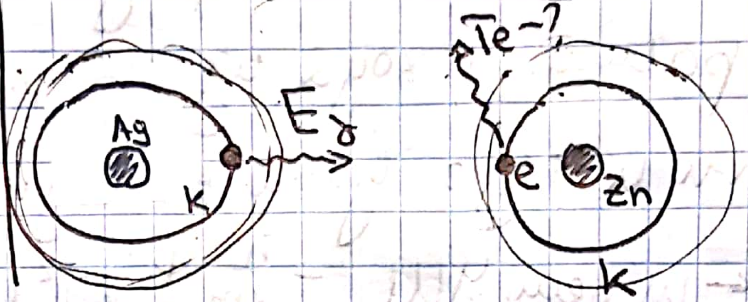
$_{30}Zn$, $_{47}Ag$

$\sigma_1 = \sigma_2$

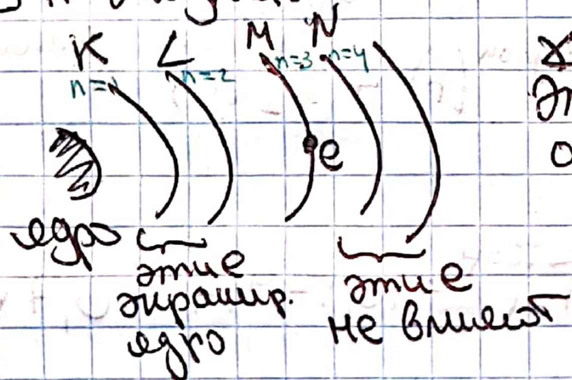
$E_\gamma = 21,6$ кэВ

Найти: T_e - ?

Решение



// З-н Мозли:



γ пер. эл-н. на нек. орбите. Эл-ны на внеш. отн. е оболочках не влияют на е (Th Гаусса), а внутр - экранир. ядро

Тогда при переходе эл-на с уровня n_2 на n_1 энергия излуча

$$E_{n_2 n_1} = Ry\,(Z-\sigma)^2\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$$

поправка на экранир. заряда ядра Z эл-ми

1) Серебро: K_α - переход с L на K

$$E_\gamma = Ry\,(Z_{Ag}-\sigma_{Ag})^2\cdot\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{2^2}\right) = Ry\,(Z_{Ag}-\sigma_{Ag})^2\cdot\frac{3}{4}$$

$$\sigma_{Ag} = Z_{Ag} - \sqrt{\frac{4E_\gamma}{3Ry}} = 47 - \underbrace{\sqrt{\frac{4\cdot 21,6\cdot 10^3\,эВ}{3\cdot 13,6\,эВ}}}_{46,02} \approx 1$$

2) Цинк

ЗСЭ: $E_\gamma = E_{иониз} + T_e$ — мин. энергия вылет. эл-на

E_γ — энергия налет. фотона

$E_{иониз}$ — энергия ионизации эл-на эл с K уровня

$$E_{иониз} = Ry(Z - \underset{\underset{\sigma_{Ag}}{\shortparallel}}{\sigma_{2n}})^2 \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right) =$$

$$= 13{,}6\ эВ \cdot (30-1)^2 \cdot 1 \approx 11{,}4\ кэВ$$

Значит, $T_e = E_\gamma - E_{иониз} = 21{,}6 - 11{,}4 = 10{,}2\ эВ$ //

4.42 Дано:

$R_я = 1{,}3 \cdot 10^{-13} A^{1/3}$ см

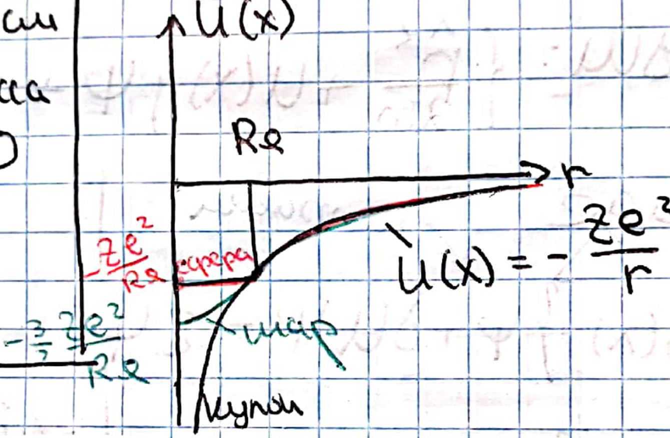
A – ат. масса

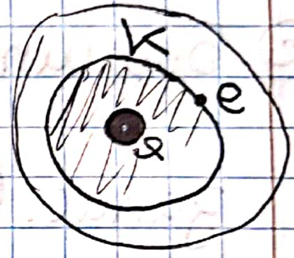
Ne: $Z=10$, $A=20$

$\psi = \frac{1}{\sqrt{\pi r_1^3}} e^{-r/r_1}$

$\Delta\varepsilon_1/\varepsilon_1$ – ?

Решение





① УШ: $\left\{\frac{\hat{p}^2}{2m} + U(x)\right\}\psi = \varepsilon\psi$.

• если ядро – точ, то $U_0(x) = -\frac{Ze^2}{r}$ – кулон

Известно, что уровни энергии такой системы

$$\varepsilon_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad Z \text{ – заряд ядра}$$

• если ядро – равномер. заряж. сфера, то

$$U(x) = \begin{cases} -Ze^2/R_я, & r < R_я \\ -Ze^2/r, & r > R_я \end{cases} = U_0(x) + \underbrace{\begin{cases} \frac{Ze^2}{r} - \frac{Ze^2}{R_я}, & r < R_я \\ 0, & r \geq R_я \end{cases}}_{\delta U_{сфер.}}$$

• если ядро - равномерно зар. шар, то

$$U(x) = \begin{cases} -\frac{3}{2}\frac{Ze^2}{R_я}\left(1-\frac{r^3}{3R_я^2}\right), r<R_я \\ -Ze^2/r, \ r \geq R_я \end{cases} =$$

$$= U_0(x) + \underbrace{\begin{cases} \frac{Ze^2}{r} - \frac{3}{2}\frac{Ze^2}{R_я}\left(1-\frac{r^2}{3R_я^2}\right), r<R_я \\ 0, \ r \geq R_я \end{cases}}_{\delta U}$$

② Значит, УШ: $\left\{\frac{\hat{p}^2}{2m} + U(x)\right\}\Psi = \varepsilon\Psi$

запис. в виде

поправка

$$\left\{\frac{\hat{p}^2}{2m} + U_0(x) + \delta U\right\}\Psi = \varepsilon\Psi.$$

$$\langle\varepsilon\rangle = \langle H\rangle = \int\Psi^*\hat{H}\Psi\,dV = \int\Psi^*\left(\frac{\hat{p}^2}{2m}+U_0(x)\right)\Psi\,dV +$$

$$+\int\Psi^*\cdot\delta U\,\Psi\,dV = \varepsilon_n + \underbrace{\langle\delta U\rangle}_{\Delta\varepsilon}$$

③ $\cancel{x}$ К оболочку, $\Psi_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi r_1^3}}e^{-r/r_1}$

$$\Delta\varepsilon_1 = \langle\delta U\rangle = \int\Psi_1^*\,\delta U\,\Psi_1\,dV =$$

$= 4\pi r^2 dr$

ВФ осн. сост. (К)

$$= \frac{1}{\pi r_1^3}\int e^{-2r/r_1}\cdot\delta U\cdot 4\pi r^2 dr =$$

$$= \frac{4}{r_1^3} \cdot \left[\begin{array}{ll} \int_0^{R_я} \left(\frac{Ze^2}{r} - \frac{Ze^2}{R_я} \right) e^{-2r/r_1} \cdot r^2 dr & \text{— сфера} \\ \int_0^{R_я} \left(\frac{Ze^2}{r} - \frac{3}{2} \frac{Ze^2}{R_я} \left(1 - \frac{r^2}{3R_я^2} \right) \right) e^{-2r/r_1} \cdot r^2 dr & \text{— шар} \end{array} \right.$$

$$\frac{r}{r_1} \leq \frac{R_я}{r_1} = \frac{1{,}3 \cdot 10^{-13} \cdot 20^{1/3} \cdot 10^{-2} м}{0{,}53 \cdot 10^{-10} м} \approx 6{,}66 \cdot 10^{-5}$$

$$\Rightarrow e^{-2r/r_1} \approx 1.$$

Тогда

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{4Ze^2}{r_1^3} \left[\begin{array}{l} \int_0^{R_я} \left(r - \frac{r^2}{R_я} \right) dr \\ \int_0^{R} \left(r - \frac{3}{2} \frac{r^2}{R_я} + \frac{1}{2} \frac{r^4}{R_я^3} \right) dr \end{array} \right. =$$

$$= \frac{4Ze^2}{r_1^3} \left[\begin{array}{l} \frac{R_я^2}{2} - \frac{R_я^3}{3R_я} \\ \frac{R_я^2}{2} - \frac{1}{2} \frac{R_я^3}{R_я} + \frac{1}{2} \cdot \frac{R_я^5}{5R_я^3} \end{array} \right.$$

$$\boxed{\Delta \mathcal{E}_1 = \begin{cases} \frac{2}{3} \frac{Ze^2}{r_1} \left(\frac{R_я}{r_1} \right)^2 & \text{— ядро — равн. зар. сфера} \\ \frac{2}{5} \frac{Ze^2}{r_1} \left(\frac{R_я}{r_1} \right)^2 & \text{— ядро — равн. зар. шар.} \end{cases}}$$

Сканировано с CamScanner

④ Радиус бор. орбиты эл-на в атоме Z:

$$r_n = \frac{\hbar^2}{m_e Z e^2} \cdot n^2 \Rightarrow r_1 = \frac{\hbar^2}{m_e Z e^2}$$

1й уровень энергии

$$|\mathcal{E}_1| = \frac{m_e e^4 Z^2}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{1^2} = \frac{m_e Z e^2}{\hbar^2} \cdot \frac{Z e^2}{2} = \frac{Z e^2}{2 r_1}$$

Значит,

$$\left|\frac{\Delta \mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_1}\right| = \left[\begin{array}{l} \frac{2}{3} \frac{\cancel{Ze^2}}{\cancel{r_1}} \cdot \frac{R_я^2}{r_1^2} \cdot \frac{2\cancel{r_1}}{\cancel{Ze^2}} = \frac{4}{3} \frac{R_я^2}{r_1^2} \\ \frac{2}{5} \frac{Ze^2}{r_1} \cdot \frac{R_я^2}{r_1^2} \cdot \frac{2 r_1}{Z e^2} = \frac{4}{5} \frac{R_я^2}{r_1^2} \end{array}\right.$$

$$R_я = 1{,}3 \cdot 10^{-13} \cdot 20^{1/3} \cdot 10^{-2}\text{ м} = 3{,}53 \cdot 10^{-15}\text{ м}$$

$$r_1 = \overset{r_Б}{\frac{\hbar^2}{m_e e^2}} \cdot \frac{1}{Z} = 0{,}53 \cdot 10^{-10}\text{ м} \cdot \frac{1}{10} = 0{,}53 \cdot 10^{-11}\text{ м}$$

$$\Rightarrow \left|\frac{\Delta \mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_1}\right| = \left[\begin{array}{l} \frac{4}{3}\left(\frac{R_я}{r_1}\right)^2 = 5{,}9 \cdot 10^{-7} \text{ — ядро-равн. зар. сфера} \\ \frac{4}{5}\left(\frac{R_я}{r_1}\right)^2 = 3{,}5 \cdot 10^{-7} \text{ — ядро-равн. зар. шар} \end{array}\right.$$

4.45 Дано:
$e \to \mu$.
E_{32} — ?

Решение: He

1) Оценим радиус орбиты мюона в таком атоме

$$r_\mu = \frac{\hbar^2}{m_\mu Z e^2} = \frac{\hbar^2}{m_e e^2}\cdot\frac{m_e}{m_\mu}\cdot\frac{1}{Z} = \overset{0{,}53\,\text{Å}}{r_Б}\cdot\frac{1}{207}\cdot\frac{1}{2} = 1{,}28\cdot10^{-3}\,\text{Å}$$

$n=1$ — осн. сост. $m_\mu = 207\,m_e$ $r_Б = 0{,}53\,\text{Å}$

$\Rightarrow \mu$ будет оч. близко к ядру $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ можно рассм. как водородоподоб. атом с $Z=1$ (мюон комп. 1+ зар. ядра)

2) Энергия перехода $3p \to 2s$

$$E_{32} = -\underset{1}{Z^2}Ry\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{2^2}\right) = 13{,}6\,\text{эВ}\cdot\frac{5}{36} = 1{,}9\,\text{эВ}$$

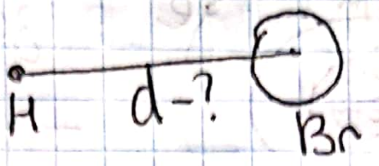
5.16 Дано:

см. 0-6-1

$\Delta\left(\frac{1}{\lambda}\right) = 17\ см^{-1}$

$d - ?$

Решение



орб. кв. число $\ell = 0, \dots n-1$

1) Энергия вращ. уровня $E_{вращ} = \frac{\hbar^2 \ell(\ell+1)}{2I}$

I – мом-т инерц. молек. отн. оси.

$\Delta E_{вращ} = \frac{\hbar^2 (\ell+1)(\ell+2)}{2I} - \frac{\hbar^2 \ell(\ell+1)}{2I} =$

м/у соед. уровнями

$= \frac{\hbar^2}{2I}(\ell+1)\cdot 2 = \frac{\hbar^2(\ell+1)}{I}.$

2) $I = \mu d^2$, где $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_H} + \frac{1}{m_{Br}}$ $\Rightarrow \mu = m_H$

$\frac{1}{m_{Br}} \approx 0$

3) $E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \Delta E = hc\Delta$

4) Ищем min d (расст. м/у H и Br) $\Rightarrow \ell = 0$

Тогда $\frac{\hbar^2}{m_H d^2} = hc\cdot\Delta$

$$d^2 = \frac{\hbar^2}{m_H \cdot hc\cdot\Delta} = \frac{\hbar}{2\pi m_H c\Delta} =$$

$$= \frac{1{,}054\cdot 10^{-34}\ Дж\cdot с}{2\pi\cdot 1\cdot 1{,}66\cdot 10^{-27}\ кг\cdot 3\cdot 10^8\ м/с\cdot 17\cdot 10^2\ м^{-1}} =$$

$$= 2\cdot 10^{-20}\ м^2$$

$$\Rightarrow d = 1{,}4\ \text{Å}$$

5.25 Дано:
$\lambda = 4{,}61$ мкм
$T-?$ $A_0-?$

чтобы возб. колеб. $n=1$

Решение

C — k — O

1) Энергия кол. уровней

$$E_n = \hbar\omega\left(n+\frac{1}{2}\right),\ n=0,1,\ldots\infty$$

$\Rightarrow$ нулевые колебания $E_0 = \frac{\hbar\omega}{2}$.

2) По ЗСЭ $\overline{E_0} = \overline{T} + \overline{U} = 2\overline{U} = 2\overline{T}$

для гарм. колебаний по Th Вириала $(2T = nU,\ U\sim r^n)$
(в дан. случ. $U\sim r^2 \Rightarrow T = U$)

3) Счит. кол-я гарм. $\Rightarrow$

$\Rightarrow x = A_0\cos\omega t$. Тогда сред. пот. энергия CO:

$$\overline{U} = \overline{\frac{\mu^2\omega^2x^2}{2}} = \overline{\frac{\mu^2\omega^2A_0^2\cos^2\omega t}{2}} = \frac{\mu^2\omega^2A_0^2}{4}$$

прив. масса CO

4) $$\mu = \frac{m_C\cdot m_O}{m_C+m_O} = \frac{12\cdot16}{12+16}\cdot1{,}66\cdot10^{-27}\text{ кг} = 11{,}4\cdot10^{-27}\text{ кг}$$

5) $\overline{E_0} = 2\overline{U}$

$$\frac{\hbar\omega}{2} = \cancel{2}\cdot\frac{\mu^2\omega^2A_0^2}{\cancel{4}} \Rightarrow A_0 = \sqrt{\frac{\hbar}{\mu\omega}} = \left|\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}\right| =$$

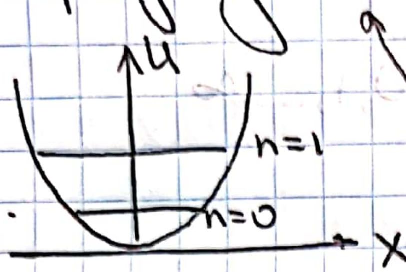
пик поглощения на $\lambda = 4{,}61$ мкм $\Rightarrow$ колеб. на этой длине волны.

$$= \sqrt{\frac{\hbar\lambda}{2\pi c\mu}} = \sqrt{\frac{1{,}054\cdot10^{-34}\cdot4{,}61\cdot10^{-9}}{2\pi\cdot3\cdot10^{8}\cdot11{,}4\cdot10^{-27}}} = 4{,}8\cdot10^{-12}\text{ м}$$

$$\approx 5\cdot10^{-12}\text{ м}$$

Сканировано с CamScanner

6) Оценим T, при кот. амплитуда кол-й превзойдет A_0 (т.е. появ. кол-я с $n=1$)



$$\Delta E_{кол} = \hbar\omega = \frac{hc}{\lambda}$$

Это произойдет при

$$k_Б T \geq \Delta E_{кол} = hc/\lambda$$

$$T \geq \frac{hc}{\lambda k_Б} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4{,}61 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}} \approx 3125\,K \sim 3 \cdot 10^3\,K$$

5.51 Дано:

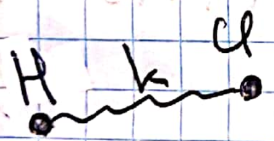
^{35}Cl, ^{37}Cl

$\Delta\lambda/\lambda$ — ?

Решение

1) Хотим найти такую точность λ, чтобы можно было увидеть

$\Delta E_{кол} = \hbar\omega \Rightarrow$ надо различить ω у ^{35}Cl и ^{37}Cl



2) Δ гарм. колеб. $\Rightarrow \omega^2 = \frac{k}{\mu}$ — μ — прив. масса

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} \Rightarrow \frac{4\pi^2 c^2}{\lambda^2} = \frac{k}{\mu} \Rightarrow \lambda \sim \sqrt{\mu} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{2}\frac{\Delta\mu}{\mu}$$

3) ^{35}Cl $\quad \mu_{35} = \frac{m_H m_{Cl}}{m_H + m_{Cl}} m_p = \frac{1 \cdot 35}{1+35} m_p = \frac{35}{36} m_p$

^{37}Cl $\quad \mu_{37} = \frac{m_H m_{Cl}}{m_H + m_{Cl}} m_p = \frac{37}{38} m_p$

4) Тогда

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\left|\frac{35}{36}-\frac{37}{38}\right| m_p}{\frac{35}{36} m_p} \approx 8\cdot 10^{-4}$$ //

5.55 Дано:

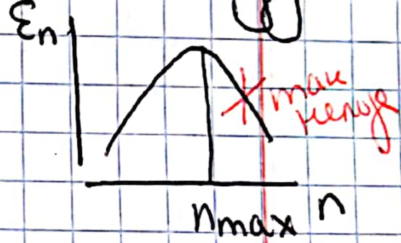
$\alpha = 0{,}006145$

Найти: n_{max}

Решение

$$\varepsilon_n = \hbar\omega\left(n+\frac{1}{2}\right) - \alpha\hbar\omega\left(n+\frac{1}{2}\right)^2$$

1) Т.к. для реал. состояний $\varepsilon_n(n)$ моном. ↑↑, то найдем max $\varepsilon_n(n)$. n в этом max и будет n_{max}



2) $$\frac{d\varepsilon_n}{dn} = \cancel{\hbar\omega} - \alpha\cancel{\hbar\omega}\cdot 2\left(n+\frac{1}{2}\right) = 0$$

$$1 = 2\alpha\left(n+\frac{1}{2}\right)$$

$$n = \frac{1-\alpha}{2\alpha} = \frac{1-0{,}006145}{2\cdot 0{,}006145} = 80{,}87$$

нумер. с 0 $(n = 0, 1, 2, .., 80)$

$$\Rightarrow N_{max} = \lfloor n \rfloor + 1 = 81$$ //

окр. вниз, т.к. при $n > 80{,}87$ ε_n ↓↓ ⇒ уже немоном.