

4-Laboratoriya ishi

SPEKTRAL CHIZIQLARNING TO'LQIN UZUNLIGI, INTENSIVLIGI VA KENGLIGI

Ishning maqsadi: Spektral chiziqlarning hosil bo'lish jarayonini o'rgatish va ularning to'lqin uzunligi, intensivligi, kengligini hisoblash.

Qo'llanma: logarifmik jadval; kalkulyator; matematik, fizik va astronomik jadvallar; so'rovnoma (spravochnik).

Adabiyot: [1], III Bob, 23-§; [3], 2 Bob, 2.3, 2.4-§§, 5 Bob, 5.8.(2, 3)-§§, Ilova C; [4], I Bob, 5-§; II Bob, 8, 9-§§; [5], I Bob, 1÷4-§§, VI Bob, 70÷77-§§; [9], 3-ma'ruza, 3÷5-§§.

Qo'shimcha adabiyot: [7], 3 Bob, 15-§, IV Bob, 26-§.

Masalalar: [8], № 108, 109, 110, 128÷131, 135, 136, 140, 150, 155, 162, 163, 298.

Qizdirilgan jismlarning nurlanishi har xil rang (to'lqin uzunlik, energiya) dagi emission (yorug') chiziqlardan iborat spektrga ajraladi. Gazni tashkil etgan ko'plab atomlar (ion, molekula) ni yuqori energiyali (energetik) holatdan past energetik holatga o'tishi natijasida emission spektral chiziq hosil bo'ladi.

Bor modeliga ko'ra yuqori energiyali holat (elektron egallagan orbita) past holatdan bosh kvant soni n bilan farq qiladi. Eng oddiy vodorod (H) atomini ko'raylik. U bitta protondan va uning atrofida aylanadigan elektrondan iborat. Elektron proton atrofida har xil radiusga ega kontsentrik aylanalar, har xil ekstsentrisitetga va yarim o'qqa ega elliptik orbitalar bo'ylab aylanishi mumkin. Bu orbitalar bo'ylab harakatga har xil energiya mos keladi. Biroq, atom ixtiyoriy energiya qabul qila olmaydi, balki ma'lum, qat'iy energetik sathlarni egallashi mumkin. Bor pastulatiga ko'ra elektronning impuls momenti

$$mvr = \left(\frac{h}{2\pi} \right) \cdot n \quad (1)$$

bu yerda $n=1,2,3,\dots$, h -Plank doimiysi $\frac{h}{2\pi}$ ga karrali bo'lgan qiymatlarni qabul

qilishi mumkin. Harakatdagi elektronga Kulon kuchi $F_k = \frac{ze^2}{r^2}$ va markazdan

qochma kuch $F_{mk} = \frac{m\mathcal{G}^2}{r}$ ta'sir qiladi va bu kuchlar absolyut qiymati bo'yicha bir-

biriga teng: $\frac{m\mathcal{G}^2}{r} = \frac{ze^2}{r^2}$, bu yerdan

$$\frac{ze^2}{mr} = \mathcal{G}^2 \quad (2)$$

(1) dan \mathcal{G} ni topib (2) ga qo'ysak, $\frac{n^2 h^2}{m^2 r^2 4\pi^2} = \frac{e^2 z}{mr}$

bundan

$$r = \frac{n^2 h^2}{ze^2 m 4\pi^2} \quad (3)$$

Endi elektronni to'la energiyasini hisoblaylik. Uning kinetik energiyasi $E_k = \frac{m v^2}{2} = \frac{ze^2}{2r}$, potentsial energiyasi esa $E_p = \int F_k dr = -\frac{ze^2}{2r} + c$. U holda to'la energiya $E = E_k + E_p = -\frac{ze^2}{2r}$ yoki

$$E = -\frac{z^2 e^4 2\pi^2 m}{n^2 h^2} = -\check{R} \frac{z^2}{n^2} \cdot hc \quad (4)$$

$\check{R} = \frac{2\pi^2 e^4 m}{ch^3} = 109737,303 \text{ sm}^{-1}$ -Ridberg soni (bir sm da to'liqlar soni). (4) ning ikkala tomonini hc ga bo'lsak,

$$\frac{E}{hc} = -\frac{z^2 \check{R}}{n^2} = T(n) \quad (5)$$

T-term, energetik sathni belgilovchi miqdor, u $[sm^{-1}]$ birlikka ega va bosh kvant soni (n) orqali ifodalanadi.

Vodorod atomi uchun $z=1$ va uning eng past energiyali holatiga ($n=1$) mos keladigan term $T(1)=\check{R}$, undan yukorida joylashgan term uchun $n=2$ va $T(2)=\check{R}/4$ va h.k.

Emission spektral chiziq yuqori holat (n_2) dan past holat (n_1) ga ($n_2 > n_1$) o'tish natijasida hosil bo'ladi va bunday chiziqning to'liq uzunligi Balmer formulasi yordamida hisoblanadi:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_{n_2} - E_{n_1}}{ch} = \check{R} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (6)$$

Odatda angstryomlar ($1\text{\AA} = 10^{-8} \text{ sm}$)da o'lchanadi va vodorod atomining eng past energiyali holati uchun $n=1$ va u asosiy holat deb ataladi. Unga nisbatan yuqori turgan holat uchun $n=2$ va bu holat (birinchi) uygongan holat deyiladi. Birinchi o'yg'ongan holatdan asosiy holatga o'tish natijasida hosil bo'ladigan spektral chiziq rezonans chiziq deb ataladi, vodorod uchun uning to'liq uzunligi λ quyidagi formuladan topiladi:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{912} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{4} \right) = \frac{1}{912} \cdot \frac{3}{4} \text{ yoki } \lambda = 912 \cdot \frac{4}{3} = 1216 \text{ \AA}$$

Geliy ioni Ne (yoki NeII) ham vodorod atomi singari bitta elektronga ega va $z=2$.

$$NeII \text{ ning rezonans chizig'ining } \lambda (NeII) = \frac{912}{z^2} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{4} \right)^{-1} = \frac{912}{4} \cdot \frac{4}{3} = 304 \text{ \AA}$$

Bu erda biz cheksiz katta massaga ega bo'lgan atom uchun hisoblangan \check{R} dan foydalandik. Bu to'g'ri emas. Chunki geliy yadrosi 4 ta og'ir zarradan iborat va uning atrofida bitta elektronni harakati vodorodnikidan farq qiladi. Quyidagi jadvalda vodorodsimon ionlar uchun \check{R} ning qiymatlari keltirilgan. **??? Qanday** Jadvalda keltirilgan \check{R} dan foydalanib vodorodsimon ionlar ($NeII$, $LiIII$, $VeIV$, BV , OVI , NeX , $ScXXI$, $FeXXVI$) uchun rezonans chiziqning to'liq uzunligini hisoblash mumkin. Rezonans chiziqlar atom (ion) ning asosiy energetik holatidagi (ion) lar sonini hisoblashda qo'llaniladi. Masalan, Quyosh toji spektrida $FeXXVI$ qayd qilingan.

Yuqorida keltirilgan formulalarni murakkab (ikkita, uchta, ... elektronli) atomlarga qo'llab bo'lmaydi. Bunday atomlarning energetik sathlari kvant mexanikasi tenglamalarini echish asosida aniqlanadi va fizik eksperimentlardan topiladi.

SPEKTRAL CHIZIQNING INTENSIVLIGI

Chiziqning intensivligi (qizdirilgan gazning bir birlik yuzasidan bir birlik fazoviy burchak ichida sochilayotgan quvvat) uni hosil qilishda ishtirok etayotgan atomlar soni (N_k) ga va unga mos keladigan energetik sathdan boshqa sathga o'tish ehtimoliga bog'liq. Uygongan (yuqori energiyali) holatdan boshqa holatga uch xil yo'l bilan o'tishi mumkin: spontan (o'z-o'zidan, beixtiyor), majburiy yuqoriga, majburiy pastga. Biz bu erda majburiy o'tishlarga to'xtalmaymiz, ularni hisobga olish murakkab masala.

Spontan o'tish ehtimoli atomni shu sathda bo'lish vaqtiga teskari proportsional miqdordir, ya'ni k sathdan pastgi $k > n$ larga o'tish ehtimoli

$$A_{kn} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} t_{kn}} \quad (7)$$

Vodorod atomini birinchi uyg'ongan holatda bo'lish vaqti $t_2 = 2 \cdot 10^{-9}$ sek va undan asosiy holatga o'tish ehtimoli $A_{21} = 4,7 \cdot 10^8 \text{cek}^{-1}$. Ikkinchi o'yg'ongan holatda bo'lish vaqti $t_3 = (A_{31} + A_{32})^{-1} = 10^{-8} \text{sek}$. Ixtiyoriy yuqori holat (k) dan asosiy holatga o'tish ehtimoli $A_{k1} = \frac{1,2 \cdot 10^{10}}{k^5} \text{sek}^{-1}$ (8) va k dan $k-1$ ga o'tish $A_{kk-1} = \frac{6 \cdot 10^9}{k^5} \text{sek}^{-1}$ (9) formulalar yordamida hisoblash mumkin.

Astrofizik amaliyotda o'tish ehtimoli o'rnida ostsilyatorlar kuchi deb ataladigan, o'lchamga ega bo'lmagan ko'rsatgich (f) qo'llaniladi.

$$A_{kk-1} = \frac{8\pi e^2 \nu_{kk-1}^3}{mc^3} \cdot \frac{g_k}{g_{k-1}} \cdot f_{kk-1} \quad (10)$$

Bu yerda g - energetik sathning statistik vazni, ν - chastota, e va m - elektronning zaryadi va massasi, c - yorug'lik tezligi.

Spektral chiziqda sochilayotgan quvvat (intensivlik)

$$E_{kk-1} = A_{kk-1} h \nu_{kk-1} \int N_k dv \quad (11)$$

ga teng. Bu erda N_k -chiziqni hosil qilishda ishtirok etayotgan energetik sathdagi atomlar kontsentratsiyasi, dv -elementar hajm. k -sathdagi atomlar soni bilan asosiy holatdagi atomlar soni nisbati Boltsman formulasi orqali topiladi:

$$\frac{N_k}{N_1} = \frac{g_k}{g_1} e^{\frac{\chi_1 - \chi_k}{kT}} \quad (12)$$

χ_1, χ_k -birinchi va k - holatlardan ionlanish potentsiali, K - Boltsman doimiysi, T - o'yg'onish temperaturasi. Vodorod atomining har xil sathlari uchun ionlanish potentsiallari va ostsilyatorlar kuchi 2-jadvalda keltirilgan. Vodorod atomlarini o'yg'ongan holatlar bo'yicha taqsimlanishi T -ga bog'liq. Masalan $n=2$ va $n=1$ sathlardagi atomlar soni nisbati

$$\frac{N_2}{N_1} = 4 \cdot e^{-\frac{117000}{T}} \quad (13)$$

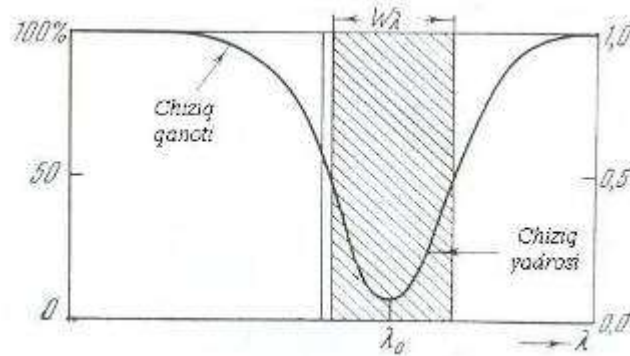
Agar T yuqori bo'lsa, atomlarning bir qismi ionlanadi. Bunday hollarda taqsimlanishni hisoblaganda ionlar (N_{II}) va (N_e) konsentratsiyasini hisobga olish zarur. Vodorod atomi uchun, masalan, ionlar konsentratsiyasini (N_{II}) asosiy holatdagi atomlar konsentratsiyasi (N_I) ga nisbati

$$N_e \frac{N_{II}}{N_I} = 2,24 \cdot 10^{15} \cdot T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{157200}{T}} \quad (14)$$

formula yordamida hisoblanishi mumkin. N_e -elektronlar konsentratsiyasi.

SPEKTRAL CHIZIQNING KENGLIGI VA UNI KENGAYTIRUVCHI JARAYONLAR

Spektral chiziqlarning tabiiy kengligi- W_λ (3-rasm) unga tegishli energetik sathlarning kengligiga (ΔE) bog'liq.



3-rasm

Energetik sathning kengligi esa atomni bu sathda bo'lish vaqti (t_k) ga teskari proporsionaldir. Bu ko'rsatkichlar bir-biri bilan Geyzenberg noaniqligi orqali bog'langan, ya'ni

$$\Delta E \cdot t_k = \frac{h}{2\pi}. \quad (15)$$

Spektral chiziqda sochilayotgan foton energiyasi $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ ga teng. Uning elementar orttirmasi esa, $\Delta E = \Delta(h\nu) = -\frac{hc}{\lambda^2} \Delta\lambda$, $\Delta\lambda$ – chiziqning nisbiy kengligi. U holda (15) dan

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\pi c} \cdot \frac{1}{t_k} \quad (16)$$

Vodorod atomining uchinchi sathdan ikkinchi sathga o'tishi natijasida hosil bo'ladigan $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ chiziqning tabiiy kengligi

$$\Delta\lambda = \frac{(6500)^2}{6,28 \cdot 3 \cdot 10^{18}} \cdot \frac{1}{10^{-9}} = 2,24 \cdot 10^{-9} \text{ \AA}$$

Quyosh spektrida vodorod chiziqlarining kengligi bundan bir necha yuz marta katta. Bunga sabab atomlarning betartib harakati tufayli ro'y berayotgan Dopler effekti ta'sirida kengayishdir.

Haqiqatdan, agar nurlanish chiqarayotgan atom kuzatuvchi tomon \mathcal{G} tezlikda uchib kelayotgan bo'lsa, u chiqarayotgan fotonning to'liq uzunligi- λ , qo'zg'almas yoki kuzatish chizig'iga tik yo'nalishda harakat qilayotgan atomniki (λ_0) dan $\Delta\lambda$ ga qisqa bo'ladi, ya'ni

$$\lambda - \lambda_0 = -\Delta\lambda \frac{\mathcal{G}}{c} \lambda_0 \text{ yoki } \Delta\lambda = -\frac{\mathcal{G}}{c} \lambda_0 \quad (17)$$

Bu yerda c - yoruglik tezligi.

Betartib harakat qilayotgan atomlarning bir qismining tezligi kuzatuvchiga yo'nalgan bo'lsa, bir qismi undan qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bu esa ular sochayotgan fotonlar yig'indisini xarakterlaydigan chiziqni kengayishiga sababchi bo'ladi. Kengayish miqdorini baholaylik. Atomlarning tezliklar bo'yicha taqsimlanishi Maksvell tezliklar taqsimotiga bo'ysunadi va ularning o'rtacha

kvadratik tezligi $\overline{\mathcal{G}^2} = \frac{2kT}{m}$ ga teng. Bunday tezlik bilan atomlarning bir qismi

kuzatuvchi tomon, bir qismi esa undan teskari tomon harakat qiladi deb hisoblasak, chiziqning Dopler kengayishi

$$\Delta\lambda_D = \frac{\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \frac{\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{2R^*T}{\mu}} \quad (18)$$

Quyosh moddasining molyar massasi - $\mu = 0,65 \text{ g/mol}$, universal gaz doimiysi - $R^* = 8,31 \cdot 10^7 \text{ erg/grad} \cdot \text{mol}$. Agar $T = 6000 \text{ K}$ bo'lsa, vodorodning $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ chizig'ining Dopler kengligi $\Delta\lambda_D \approx 0,3 \text{ \AA}$. Bu tabiiy kenglikdan 150 marta katta, demakdir. (17) formuladan foydalanib yoritgichning nuriy tezligi \mathcal{G}_n ni ham hisoblab topish mumkin (\mathcal{G}_n - kuzatuvchi tomon manfiy).

$$\mathcal{G}_n = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c \quad (19)$$

V A Z I F A

1. Vodorod atomi energetik sathlarining o'yg'onish potentsiali, termlariga mos keladigan to'liq soni hisoblansin (barcha talabalar uchun umumiy vazifa). Har bir talaba uchun alohida quyidagi o'tishlar natijasida hosil bo'ladigan chiziqlarning to'liq uzunligi hisoblansin: $p=2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 3$; 2) $3 \rightarrow 1$, ...

2. Vodorodsimon ionlar uchun rezonans chiziqning to'liq uzunligi hisoblansin: NeII, LiIII, BeIV, BV, OVIII, NeX, FeXXVI, ScXXI

3. Vodorod atomining ??? quyidagi spontan o'tishlari ehtimoli, bu o'tishlar boshlanadigan sathda atomning bo'lish vaqti hisoblansin: 1)

4. Quyidagi temperaturalarda vodorod atomining o'yg'ongan holatlar bo'yicha taqsimlanishi, ya'ni $\frac{N_2}{N_1}$, $Ne \frac{N_{III}}{N_I}$ lar hisoblansin.

- 1) $T=3500 \text{ K}$; 2) $T=4500 \text{ K}$; 3) $T=6000 \text{ K}$; 4) $T=8000 \text{ K}$; 5) $T=11000 \text{ K}$;
6) $T=15000 \text{ K}$; 7) $T=21000 \text{ K}$; 8) $T=26000 \text{ K}$.

5. 3-vazifadagi o'tishlarda hosil bo'lgan chiziqlarning to'liq uzunligi va tabiiy kengligi hisoblansin. Shu o'tishlarda va $T=6000\text{ K}$, 11000 K , 20000 K haroratda hosil bo'lgan chiziqlarning Dopler kengligi hisoblansin.

3-Laboratoriya ishi yuzasidan hisobot.

1. Atomning o'yg'onish potentsiali, termlariga mos to'liq soni va o'tish chiziqlarining to'liq uzunligi.

Talabaning <i>F.I.Sh.</i>	$U\text{ (eV)}$	N	$p\text{-o'tishlar}$	$\lambda\text{ (Å)}$
			2→1 3→2 4→3 3→1	

2-3. Ionlar rezonans chizig'ining to'liq uzunligi, vodorod atomining spontan o'tishlari ehtimoli va sathda atomning bo'lish vaqti.

<i>Ionlar</i>	$\lambda\text{ - rezonans (Å)}$		<i>spontan o'tish</i>	$A_k\text{ (sek}^{-1}\text{)}$	$t_k\text{ (sek)}$
NeII LiIII BeIV BV OVIII NeX FeXXVI ScXXI					

4-5. Turli temperaturalarda vodorod atomining o'yg'ongan holatlar bo'yicha taqsimlanishi, o'tishlarga mos to'liq uzunligi va tabiiy kengligi. $T=6000\text{ K}$, 11000 K , 20000 K larda hosil bo'lgan chiziqlarning Dopler kengligi.

$T\text{ (K)}$	$\frac{N_2}{N_1}$	$Ne\frac{NII}{N_1}$		$p\text{ o'tishlar}$	$\lambda\text{ (Å)}$	$\Delta\lambda\text{ (Å)}$	$T\text{ (K)}$	$\Delta\lambda_D\text{ (Å)}$
3500 4500 6000 8000 11000 15000 21000 26000							6000 11000 20000	