



KVANT FIZIKASI ASOSLARI

Biz oldingi bobda yorug'likning ham zarralar oqimidan iborat (korpuskular nazariya) ekanligini tasdiqlovchi (geometrik optika), ham elektromagnit to'liqlardan iborat (to'liq nazariya) ekanligini tasdiqlovchi jarayonlar (interferensiya, difraksiya, qutblanish) bilan tanishdik. Bulardan tashqari, yorug'likning korpuskular tabiatini tasdiqlovchi fotoeffekt, Kompton effekti hodisalari kuzatilgan. Xo'sh, yorug'lik o'zi nima, degan savolga aniqroq javob berish payti kelmadimi?

Biz hozirgacha o'rgangan klassik mexanika atomning tuzilishi va uning spektrining tabiatini tushuntirishga ojizlik qiladi. Umuman olganda, atomlarning va elementar zarralarning harakat qonunlari qanday bo'ladi?

Yuqoridagi savollarga javob izlash va ularni bir-biriga bog'lash kvant mexanikasining yaratilishiga olib keldi.

Biz quyida bu fanning vujudga kelishi va u asosida tushuntirib beriladigan fizik jarayonlar bilan, aniqrog'i, kvant mexanikasi asoslari bilan tanishamiz.



II BOB

KVANT OPTIKASI ELEMENTLARI

Yuqorida qayd etilganidek, yorug'likning tabiati haqidagi masala fiziklar oldida turgan eng katta muammolardan biri edi. Bu muammo, ayniqsa, issiqlikdan nurlanishni o'rganish jarayonida yaqqol namoyon bo'ldi. Uni yechish yo'lida dadil g'oyani ilgari surgan nemis fizigi M. Plank 1900- yilda «energiya faqat kichkina porsiyalar, ya'ni kvantlar ko'rinishida chiqariladi va yutiladi», degan fikrni bildirdi. 1905- yilda A.Eynshteyn fotoeffekt hodisasi uchun o'z formulasini yozib, Plank gipotezasini yanada rivojlantirdi.

Yorug'likning har ikkala tabiatini ham tasdiqlovchi hodisalarning mavjudligi, u har ikkala xususiyatga ham ega emasmikan, degan fikrning tug'ilishiga sabab bo'ldi. Bu – yorug'likning korpuskular-to'liq dualizmining paydo bo'lishiga olib keldi.

17-§. Issiqlikdan nurlanish. Issiqlikdan nurlanish qonunlari

M a z m u n i : issiqlikdan nurlanish; issiqlikdan nurlanish xarakteristiklari; Kirxgof qonuni; Stefan–Bolsman qonuni; Vinning siljish qonuni.

Issiqlikdan nurlanish. Issiqlikdan nurlanish tabiatda eng ko‘p tarqalgan elektromagnit nurlanishdir. U temperaturasi 0 K dan farq qiladigan har qanday jismga xos bo‘lib, moddaning ichki energiyasi hisobiga amalga oshiriladi. Natijada moddaning ichki energiyasi kamayadi, temperaturasi pasayadi, ya’ni soviydi. Jism uzoq vaqt nurlanib turishi uchun esa uning kamayayotgan energiyasini to‘ldirib turish kerak. Shuni ta’kidlash lozimki, jism nurlanish bilan bir paytda boshqa jismlar tomonidan chiqarilayotgan nurlanish energiyasini ham yutadi. Buning natijasida jismning ichki energiyasi ortadi, temperaturasi ko‘tariladi, ya’ni qiziydi. Demak, jism, bir tomondan, nurlanish energiyasini chiqarsa, ikkinchi tomondan yutadi. Natijada ma’lum vaqt davomida jism chiqaradigan va yutadigan energiyaning tenglashuvi ro‘y beradi, ya’ni uning temperaturasi o‘zgarmaydi. Bunday holatdagi nurlanish *muvozanatdagi nurlanish* deyiladi.

Sistemaning vaqt o‘tishi bilan termodinamik parametrlari o‘zgarmaydigan holati termodinamik muvozanat deyiladi.

Agar tashqi sharoit o‘zgarmasa, termodinamik sistema o‘z-o‘zidan muvozanat holatidan chiqmaydi.

Issiqlikdan nurlanish xarakteristiklari. Nurlanishning eng asosiy xarakteristikasi W nurlanish energiyasi hisoblanadi.

Nurlanish oqimi Φ_e deb, W nurlanish energiyasining t nurlanish vaqtiga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:

$$\Phi_e = \frac{W}{t}. \quad (17.1)$$

Boshqacha aytganda, nurlanish oqimi vaqt birligidagi nurlanish energiyasi bilan xarakterlanadi va $W = \frac{J}{s}$ larda o‘lchanadi.

Jismning nurlanishi (R_e) deb, jism chiqarayotgan Φ_e nurlanish oqimining jism sirtining S yuzasiga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S}. \quad (17.2)$$

Binobarin, nurlanish – jismning birlik sirtidan chiqayotgan nurlar oqimidir. Nurlanish $\frac{W}{m^2}$ larda o‘lchanadi.

Yuqorida keltirilgan xarakteristikalar butun nurlanish spektriga xos bo‘lgan kattaliklardir. Amalda esa to‘lqin uzunligining biror kichkina intervaliga taalluqli nurlanishni bilish muhim ahamiyatga ega bo‘ladi. Aytaylik, spektrning to‘lqin uzunligi $\Delta\lambda$ bo‘lgan oraliq‘ini qarayotgan bo‘laylik. Energiyaning shu oraliqqa taalluqli qismi nurlanishning spektral zichligi bilan xarakterlanadi.

Nurlanishning spektral zichligi (r_λ) deb, spektrning biror qismiga to‘g‘ri keluvchi ΔR_e nurlanishning shu qismning to‘lqin uzunligi $\Delta\lambda$ ga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:

$$r_\lambda = \frac{\Delta R_e}{\Delta\lambda}, \quad (17.3)$$

ya’ni nurlanishning spektral zichligi birlik to‘lqin uzunligiga to‘g‘ri keluvchi nurlanishdir.

Nurlanishning spektral zichligi $\frac{W}{m^3}$ larda o‘lchanib, jismning temperaturasi bog‘liq bo‘ladi. Jism tomonidan nurlanish energiyasining yutilishini xarakterlash maqsadida yutish koeffitsiyenti tushunchasi kiritiladi.

Yutish koeffitsiyenti (α) deb, shu jism tomonidan yutilgan Φ_e nurlanish oqimining, unga tushayotgan Φ'_e nurlanish oqimiga nisbatiga aytiladi:

$$\alpha = \frac{\Phi_e}{\Phi'_e}. \quad (17.4)$$

α yutish koeffitsiyentini biror $\Delta\lambda$ oraliq uchun ham qarash mumkin:

$$\alpha_\lambda = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\Phi'_{e\lambda}}. \quad (17.5)$$

Kirxgof qonuni. Biz qarayotgan sistema bir nechta jismlardan tashkil topgan va jismlar orasida energiya almashuvi faqat issiqlik nurlanishi va yutilishi orqali amalga oshsin. Boshqacha aytganda, jismlar orasida issiqlik uzatilishi (tegib turgan joylardagi molekulari orqali) va konveksiya (molekulalarning ko‘chishi) mavjud bo‘lmasin. Shunday holda ham, ma’lum vaqtdan keyin, sistemadagi jismlar temperaturalarining tenglashuvi ro‘y beradi. Bunga sabab,

issiqroq jismlar yutganiga nisbatan ko'proq nurlanib, energiyasi-ning bir qismini sovuqroq jismlarga beradi. Bu jarayon sistemada muvozanat qaror topguncha davom etadi va temperatura tenglash- gandan so'ng to'xtaydi.

Faqat nurlanish va yutish orqali energiya almashadigan, termodinamik muvozanat holatidagi jismlar nurlanish spektral zichligining yutish koeffitsiyentiga nisbati o'zgarmas kattalik bo'lib, jismning tabiatiga bog'liq bo'lmaydi. Barcha jismlar uchun u bir xil – to'lqin uzunligi λ va temperatura T ning funksiyasi:

$$\frac{r_{\lambda_1}}{\alpha_{\lambda_1}} = \frac{r_{\lambda_2}}{\alpha_{\lambda_2}} = f(T, \lambda). \quad (17.6)$$

Unga muvofiq: *jism qanday to'lqin uzunlikli elektromagnit to'lqinlarni chiqarsa, shunday to'lqin uzunlikli elektromagnit to'lqinlarni yutadi.*

O'ziga tushayotgan elektromagnit to'lqinlarning barchasini yutadigan jism *absolut qora jism* deyiladi. Absolut qora jism uchun $\alpha_{\lambda} = 1$. O'z xossalriga ko'ra qorakuya, qora baxmal va hokazolar absolut qora jismga misol bo'ladi. Ichki qismi yutuvchi moddadan yasalgan, kichkina tirqishli jism absolut qora jismning yaxshi moduli bo'la oladi (36- rasm). Tirqishdan kirgan nur ko'p marta qaytadi va har bir qaytishda qisman yutila boradi.

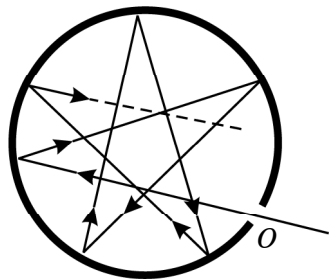
Yutish koeffitsiyenti $\alpha_{\lambda} < 1$ bo'lgan jismlar *kuhrang jismlar* deyiladi.

Endi nurlanishning temperaturaga bog'liqligini o'rganaylik.

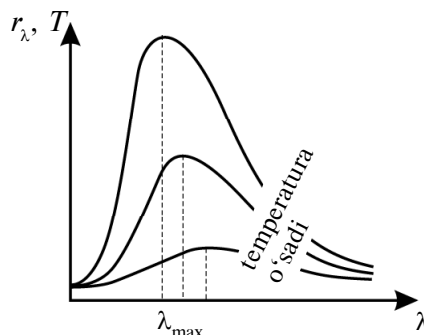
Stefan–Bolsman qonuni. Garchi, Kirxgof qonuni nurlanishning spektral zichligi temperatura va to'lqin uzunligiga proporsionalligini ko'rsatsa-da, bu bog'lanishning oshkor ko'rinishini yozish muhim ahamiyatga egadir. Ushbu masalani qisman yechishga erishgan avstriyalik fiziklar Y. Stefan va L. Bolsman quyidagi o'z nomlari bilan ataluvchi qonunni yaratdilar. *Qora jismning nurlanishi uning termodinamik temperaturasining to'rtinchi darajasiga proporsional:*

$$R_e = \sigma T^4. \quad (17.7)$$

Bu yerda $\sigma = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – Stefan–Bolsman doimiysi. 37- rasmda nurlanish spektral zichligi va to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanishlarning turli temperaturalar uchun o'tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan. Ulardan ko'rinib turibdiki, har bir uzluksiz egri chiziq, temperatura ortishi bilan kichik to'lqin uzunliklar tomon siljiydigan, yaqqol ko'rinib turadigan maksimumlarga ega.



36- rasm.



37- rasm.

Vinning siljish qonuni. Yuqorida ko‘rdikki, temperatura ortishi bilan chiziqlar to‘lqin uzunligining kichik qiymatlari tomonga siljiydi, ya’ni λ_{\max} kamayadi. Ushbu siljishni nemis fizigi V.Vin quyidagi siljish qonuni orqali ifodalagan.

Eng katta to‘lqin uzunligi λ_{\max} qora jismning temperaturasiga teskari proporsional:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{T}. \quad (17.8)$$

Bu qonun *Vinning siljish qonuni* deb ataladi. Vin doimiysi $c = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. Qizdirilgan jism soviy boshlaganda ko‘proq to‘lqin uzunligi katta bo‘lgan nurlanish chiqarishi Vinning siljish qonuni yordamida tushuntiriladi. Masalan, oq rangli qizdirilgan metall soviy boshlaganda qizil tusga kiradi.

Shuni ta’kidlash lozimki, garchi empirik ravishda topilgan Stefan–Bolsman va Vin qonunlari issiqlik nurlanishida muhim rol o‘ynagan bo‘lsa-da, ular xususiy hollarnigina ifodalashlari mumkin. Boshqacha aytganda, Stefan–Bolsman qonuni 37- rasmda keltirilgan va tajriba natijalari asosida chizilgan bog‘lanishning kichik to‘lqin uzunlikli qismini tushuntira olsa, Vin qonuni katta to‘lqin uzunlikli qismi bilan mos keladi. To‘lqin uzunliklarining o‘rta qiymatlariga mos keluvchi tajriba natijalarini esa har ikkala qonun ham tushuntirib bera olmaydi.



Sinov savollari

1. Qanday hodisalar yorug‘likning korpuskular nazariyasini tasdiqlaydi? To‘lqin nazariyasini-chi? 2. Kvant fizikasi qanday muammolarni o‘rganadi? 3. Yorug‘lik qanday xususiyatga ega? 4. M.Plank qanday fikrni

bildirdi? 5. Issiqlikdan nurlanish qanday nurlanish? 6. Issiqlikdan nurlanish natijasida jismning ichki energiyasi qanday o'zgaradi? 7. Nurlanish energiyasini yutganda jismda qanday o'zgarish ro'y beradi? 8. Nurlanayotgan jism temperaturasi pasayishini, nurlanish yutayotgan jism temperaturasi ortishini qanday tushuntirasiz? 9. Muvozonatli nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi? 10. Termodinamik muvozonat deb qanday holatga aytiladi? 11. Nurlanish oqimi va uning birligini ayting. 12. Jismning nurlanishi va uning birligi qanday? 13. Nurlanishning spektral zichligi nima va bunday tushunchaning kiritilishiga qanday zarurat bor? 14. Yutish koeffitsiyenti nima? 15. Kirxgof qonunini ta'riflang. 16. Absolut qora jism deb qanday jismga aytiladi? 17. Absolut qora jismning modelini tushuntiring. 18. Kulrang jism qanday jism? 19. Stefan–Bolsman qonuni va uning ahamiyati qanday? 20. 37- rasmdagi bog'lanishlarni tushintiring. 21. Temperatura ortishi bilan chiziqlar qanday o'zgaradi? 22. Vinning siljish qonunini ta'riflang. 23. Vin qonunining o'rinaligiga misol keltiring. 24. Stefan–Bolsman va Vin qonunlarining qanday kamchiliklari mavjud?

18-§. Reley–Jins qonuni. Plank gipotezasi

M a z m u n i: Reley–Jins qonuni; Plank gipotezasi; foton va uning xarakteristiklari.

Reley–Jins qonuni. Stefan–Bolsman va Vin qonuni yordamida nurlanish spektral taqsimotining ko'rinishini topish yo'lidagi urinishlar muvaffaqiyatsizlikka uchragandan so'ng, ingliz fiziklari D. Reley va J. Jins yangi formulani taklif qildilar. Ular energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimoti haqidagi klassik qonun asosida nurlanishning spektral zichligi uchun quyidagi ifodani yozdilar:

$$r_{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda^2} kT . \quad (18.1)$$

Ammo ushbu ifoda ham 38- rasmdagi bog'lanishlarning katta to'lqin uzunlikli (kichik chastotali) qisminigina tushuntirib bera oldi. U kichik to'lqin uzunliklar (katta chastotalar) uchun mutlaqo yaroqsiz bo'lib chiqdi. Masalan, to'lqin uzunligi nolga yaqinlashganda nurlanishning spektral zichligi cheksiz katta qiymatni qabul qiladi. ((18.1) ifodaning maxraji nolga intilganda, r_{λ} ning qiymati cheksizlikka intiladi). Bu hol fanda «ultrabinafsha halokati» deb nomlanadi.

Shunday qilib, jismlar chiqaradigan energiya uzluksiz ravishda o'zgaradi deb hisoblovchi klassik tasavvurlar asosida, jism nurla-

nish spektrini tushuntirish yoʻlidagi barcha urinishlar oʻtib boʻlmas toʻsiqqa duch kelaverdi. Muammoni yechish yangicha gʻoya, yangicha fikr yuritishni taqozo qildi.

Plank gipotezasi. Bu gʻoya klassik tasavvurga teskari, yaʼni nurlanish energiyasi uzlukli, qiymati sakrab oʻzgaradi, degan tasavvurga asoslangan boʻlishi mumkin edi.

Buni birinchi boʻlib tushunib yetgan nemis fizigi M. Plank quyidagi gipotezani olgʻa surdi.

Jismning nurlanish energiyasi klassik fizikada tasavvur qilinganidek uzluksiz boʻlmay, tebranish chastotasi ν ga proporsional E energiyali kvantlardan, yaʼni alohida energiyali porsiyalardan iboratdir:

$$E = h \cdot \nu, \quad (18.2)$$

bu yerda $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s — Plank doimiysi. U nurlanish energiyasi qancha miqdorda sakrab oʻzgarishini koʻrsatadi.

Bizga maʼlumki, jism koʻplab sondagi atomlardan iborat va bu atomlarning har biri Plank gipotezasiga koʻra elektromagnit toʻlqinlar chiqaradi. Boshqacha aytganda, atomning nurlanish energiyasi kvant energiyasiga karrali ravishda oʻzgarib, E , $2E$, $3E$, ..., nE qiymatlarnigina qabul qilishi mumkin. Aytaylik, $\nu = 10^{10}$ Hz chastotali nurlar ($\lambda = 3 \cdot 10^2$ m radiotoʻlqinlar) kvant energiyasini topish soʻralgan boʻlsin:

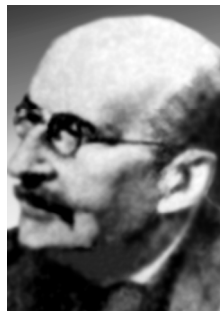
$$E = h \cdot \nu = 6,62 \cdot 10^{-24} \text{ J.}$$

Bu yetarli darajada kichik son boʻlib, bunday qiymatni klassik fizikada uzluksiz ravishda oʻzgaradi, deb hisoblash mumkin.

Agar $\nu = 10^{15}$ Hz chastotali nurlar ($\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ m li ultrabinafsha toʻlqinlar) uchun kvant energiyasi topilsa:

$$E = h \cdot \nu = 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J,}$$

mikrozarralar fizikasi uchun hisobga olish zarur boʻlgan kattalikni hosil qilamiz. Shuning uchun taklif qilgan gipotezasi asosida Plank tomonidan topilgan formula nafaqat jismning nurlanish spektrini toʻla tushuntirib bermay, balki uning yordamida klassik fizika qonunlari, jumladan, Stefan—Bolsman va Vin qonunlarini ham hosil qilish mumkin.



M. PLANK
(1858–1947)

Foton va uning xarakteristikalari. Plank gipotezasi yorug‘lik kvanti haqidagi tushunchaning paydo bo‘lishiga olib keldi va u *foton* deb nom oldi. Foton quyidagi xarakteristikalariga ega.

Fotonning energiyasi:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (18.3)$$

massasi

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}, \quad (18.4)$$

impulsi

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (18.5)$$

Yuqoridagi ifodalarda $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligi e‘tiborga olingan. $c = 3 \cdot 10^8$ m/s – yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi.

Foton yorug‘lik tezligiga teng bo‘lgan tezlik bilan harakatlanadi. Uni sekinlashtirib ham, tezlatib ham bo‘lmaydi. Shuning uchun fotonning tinchlikdagi massasi to‘g‘risida gapirish ma’noga ega emas.



Sinov savollari

1. Reley–Jins formulasini yozing. 2. Reley–Jins formulasi nurlanish spektrining qaysi qismini tushintira oladi? 3. «Ultrabinafsha halokat» deb nimaga aytiladi? 4. Nima uchun Stefan–Bolsman, Vin va Reley–Jins qonunlari jismning nurlanish spektrini to‘la tushuntirib bera olmaydi? 5. Plank gipotezasini ta’riflang. 6. Plank doimiysi va uning fizik ma’nosini aytib bering. 7. Plank gipotezasiga muvofiq atomlarning nurlanish energiyasi qanday bo‘ladi? 8. Turli chastotali elektromagnit to‘lqinlar uchun kvant energiyasini hisoblang. 9. Stefan–Bolsman va Vin qonunlarini Plank formulasidan hosil qilish mumkinmi? 10. Agar mumkin bo‘lsa, uni qanday izohlaysiz? 11. Foton nima? 12. Fotonning energiyasi qanday? 13. Fotonning massasi qanday? 14. Fotonning impulsi qanday? 15. Fotonning tezligi qanday? 16. Fotonni qanday qilib sekinlashtirish mumkin? 17. Fotonning tinchlikdagi massasi qanday?

19-§. Fotoeffekt hodisasi

M a z m u n i: fotoeffekt hodisasi; Stoletov tajribasi; to‘yinish toki; tutuvchi potensial; Stoletov qonunlari; fotoeffekt hodisasining talqini; Eynshteyn tenglamasi; fotoeffektning qizil chegarasi; Stoletov qonunlarining talqini; ko‘p fotonli fotoeffekt; ichki fotoeffekt.

Fotoeffekt hodisasi. *Yorug'lik ta'sirida elektronlarning moddalardan ajralib chiqish hodisasi tashqi fotoeffekt deyiladi.* Bu hodisani 1887- yilda G.Gers kashf qilgan va u 1890- yilda rus fizigi A.Stoletov tomonidan o'rganilgan.

Agar tashqi fotoeffekt asosan o'tkazgichlarda ro'y berishi va ulardagi elektronlarning atom va molekullarga bog'lanish energiyasi juda kichikligini e'tiborga olsak, elektronlar atomlar va molekullardan ajralib chiqishiga ishonch hosil qilamiz.

Agar atom yoki molekuladan ajratib olingan elektron moddaning ichida erkin elektronlar sifatida qolsa, bunday hodisaga ichki fotoeffekt deyiladi. Ichki fotoeffekt asosan yarimo'tkazgichlarda kuzatilib, 1908- yilda rus fizigi A.Ioffe (1880–1960) tomonidan o'rganilgan.

Stoletov tajribasi. Stoletov tomonidan tashqi fotoeffektning o'rganish tajribasining sxemasi 38- rasmda keltirilgan.

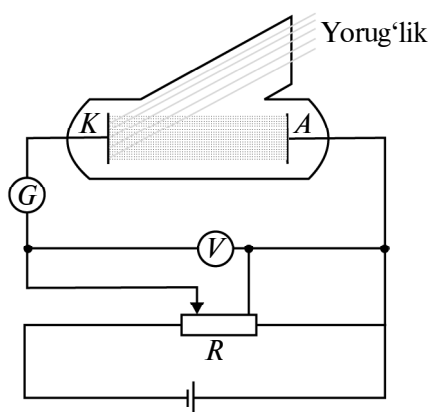
Vakuimli nayda katod vazifasini bajaruvchi tekshirilayotgan K plastinka va anod vazifasini bajaruvchi A elektrod joylashtirilgan. Katod va anod R qarshilik orqali tok manbayiga ulangan. Elektrodlar orasida kuchlanish (anod kuchlanishi) voltmetr V , zanjirdagi tok esa galvanometr (kichik toklarni o'lchay-



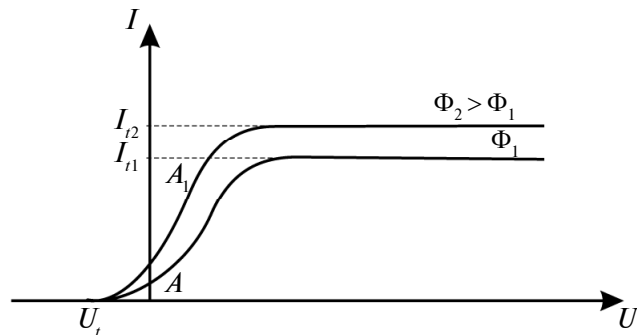
A. G. STOLETOV



A. F. IOFFE
(1880–1960)



38- rasm.



39- rasm.

digan asbob) G yordamida o'lchanadi. Katod yoritilmagan dastlabki paytda zanjirda tok bo'lmaydi. Chunki katod va anod o'rtasidagi bo'shliqda zaryad tashuvchi zarralar bo'lmaydi. Agar katod shisha ko'zgu orqali yoritilsa, galvanometr zanjirda tok paydo bo'lganini ko'rsatadi (unga *fototok* deyiladi). Bunga sabab, katod plastinkasiga tushgan yorug'likning undan elektronlarni (ular *fotoelektronlar* deyiladi) urib chiqarishi va bu elektronlarning elektr maydon ta'sirida anod tomon batartib harakatining vujudga kelishidir. Potensiometr yordamida anod kuchlanishining qiymati va ishorasini o'zgartirish mumkin. Bu paytda galvanometr tok kuchining mos o'zgarishlarini ko'rsatadi.

To'yinish toki. 39- rasmda anod kuchlanishi va fototok orasidagi bog'lanish ko'rsatilgan. Bu bog'lanish *fotoeffektning volt-amper xarakteristikasi* deyiladi. Undan ko'rinib turibdiki, katod va anod orasidagi kuchlanish ortishi bilan fototokning qiymati ham ortib boradi. Kuchlanishning biror qiymatidan boshlab tok kuchi o'zgar-may qoladi. Bunga sabab, yorug'lik ta'sirida katoddan urib chiqari-layotgan elektronlarning barchasi anodga yetib borayotganligidir. Bu tokka *to'yinish toki* (I_t) deyiladi. Shuni ta'kidlash lozimki, to'yinish tokining qiymati katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liq bo'lib, yorug'lik oqimi ko'payishi bilan to'yinish tokining qiymati ham ortadi (39- rasimga q.).

Tutuvchi potensial. Fotoeffektning volt-amper xarakteris-tikasidan ko'rinib turibdiki, anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda ham zanjirda tok bo'laverar ekan. (Anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda fotoelektronlarni anodga tomon harakatlantiruvchi elektr maydon bo'lmaydi.) Bunga sabab, katoddan urib chiqarilayotgan elektronlarning tashqi ta'sir bo'lmaganda ham anodga yetib olish-lari uchun yetarli bo'lgan kinetik energiyaga ega bo'lishlaridir. Bu

elektronlarni to'xtatish uchun tormozlovchi kuch bo'lishi kerak. Bunday kuchni vujudga keltirish uchun oldingisiga teskari yo'nalishda kuchlanish qo'yiladi va hosil bo'lgan elektr maydon elektronlarning anodga tomon harakatiga to'sqinlik qiladi. Natijada tormozlovchi kuchlanishning ma'lum qiymatidan boshlab barcha elektronlar to'xtatib qolinadi va zanjirdagi tok nolga teng bo'ladi. Kuchlanishning bu qiymati *tutuvchi kuchlanish* (U_t) deyiladi. Tutuvchi kuchlanishning qiymatiga qarab chiqayotgan elektronlarning tezligini aniqlash mumkin.

Aytaylik, m massali elektron v tezlik bilan chiqayotgan bo'lsin.

Unda elektronning kinetik energiyasi $\frac{mv^2}{2}$ ga teng bo'ladi. Ikkinchi tomondan, e zaryadli elektron U_t potentsialli tutuvchi maydondan o'tishi uchun eU_t energiya sarflashi kerak. Agar elektronning kinetik energiyasi tutuvchi maydon energiyasidan katta bo'lsa, ya'ni $\frac{mv^2}{2} > eU_t$, elektron anodga yetib boradi.

Aks holda, ya'ni $\frac{mv^2}{2} < eU_t$, bo'lganda, elektron anodga yetolmaydi.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_t \quad (19.1)$$

hol chegaraviy hol hisoblanadi va tutuvchi potentsialning shu qiymatidan boshlab elektron tormozlovchi maydonda tutib qolinadi. Demak, yuqoridagi tenglikdan, elektronning anodga yetib bora olishini ta'minlay olmaydigan chegaraviy tezligini topish mumkin:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_t}{m}} \quad (19.2)$$

Stoletov qonunlari. O'tkazgan juda ko'p nozik tajribalari asosida Stoletov fotoeffektning quyidagi qonunlarini aniqladi.

1. *To'yinish fototokining kuchi katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga proporsional:*

$$I_t = k \cdot \Phi_e \quad (19.3)$$

ya'ni yorug'lik oqimi qancha katta bo'lsa (intensiv bo'lsa), fototok ham shuncha katta bo'ladi. Bu yerda k — katod materialining yorug'likni sezishini xarakterlovchi koeffitsiyent.

2. *Fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan yorug'likning chastotasiga to'g'ri proporsional va yorug'lik oqimiga bog'liq emas.*

3. *Tushayotgan yorug'lik intensivligi qanday bo'lishidan qat'i nazar, fotoeffekt ma'lum chastotadan (to'lqin uzunligidan) boshlab ro'y bera boshlaydi va bu chastota katodning qanday materialdan yasalganiga bog'liq.*

Fotoeffekt hodisasining talqini. Fotoeffekt hodisasini yorug'likning to'lqin xususiyati asosida tushuntirish mumkinmi? Birinchi qonunni tushuntirish mumkin. Chunki katodga tushayotgan yorug'lik metall sirtidagi elektronlarni tebranma harakatga keltiradi. Tebranish amplitudasi esa tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq. U qancha katta bo'lsa, elektronning kinetik energiyasi ham shuncha katta bo'ladi va musbat ionlarning tortish kuchlarini yengib, katodni tark etadi. Intensivlik ortishi bilan katodni tark etuvchi elektronlar soni ham ortadi va demak, to'yinish tokining qiymati ham ortadi.

Shu tariqa mulohaza yuritilganda yorug'lik oqimining ortishi elektron kinetik energiyasining ortishiga ham olib kelishi kerak. Lekin Stoletov tajribasi bu fikrni tasdiqlamaydi. Demak, ikkinchi qonunni yorug'likning to'lqin nazariyasi asosida tushuntirib bo'lmaydi. Uchinchi qonunni tushuntirishga urinishlar ham shunday xulosaga kelishni taqozo etadi.

U holda fotoeffekt hodisasini yorug'likning qanday tabiati nuqtayi nazaridan tushuntirish mumkin, degan savol tug'iladi.

Eynshteyn tenglamasi. Stoletov qonunlari haqidagi chuqur mulohaza yuritgan A. Eynshteyn fotoeffekt hodisasini Plank gipotezasi asosida tushuntirishga qaror qildi. U Plank gipotezasini rivojlantirib, *yorug'lik nafaqat chiqarilganda, balki fazoda tarqalganida ham, boshqa moddalar tomonidan yutilganida ham o'zini fotonlar oqimidek tutadi*, degan fikrni bildirdi.

Eynshteyn fotoeffekt hodisasini shunday tushuntirdi. Katodga tushayotgan foton o'zining $h\nu$ energiyasini elektronga beradi. Agar bu energiya elektronning chiqish ishi A dan katta bo'lsa, elektron katoddan ajralib chiqadi. Lekin u anodga yetib borishi uchun $\frac{mv^2}{2}$ kinetik energiyaga ham ega bo'lmog'i kerak. Aks holda u yana qaytadan katod moddasida yutilishi mumkin (I qism, 81- § ga qarang). Shunday qilib, *fotoeffekt hodisasi ro'y berishi uchun fotonning energiyasi elektronning moddadan ajralib chiqishiga va unga kinetik energiya berishga yetarli bo'lmog'i kerak, ya'ni*

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (19.4)$$

Ushbu ifoda tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi deyiladi va u fotoeffekt hodisasi uchun energiyaning saqlanish va aylanish qonunini ifodalaydi. Eynshteyn o'z mulohazalarida elektron faqat bittagina fotondan energiya oladi, deb hisoblagan.

Fotoeffektning qizil chegarasi. Elektronning metallardan chiqish ishi moddaning tabiatiga bog'liq. U turli metallar uchun turli qiymatlar qabul qiladi. Fotonning energiyasi faqat elektronni moddadan ajratib chiqara olishga, ya'ni chiqish ishini bajarishga yetarli bo'lgan holni qaraylik:

$$h\nu_q = A, \quad (19.5)$$

agar $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\frac{hc}{\lambda_q} = A \quad (19.6)$$

bo'ladi.

Odatda, bu shart fotonning energiyasi kichik bo'lganda ro'y bergani uchun unga *fotoeffektning qizil chegarasi* deyiladi. Bunga sabab, ko'zga ko'rinadigan nurlar orasida to'lqin uzunligi eng katta – chastotasi eng kichik va demak, eng kam energiyali foton qizil nurga taalluqli ekanligidir. Aynan shu qizil chegaradan boshlab fotoeffekt hodisasi ro'y bera boshlaydi. (19.5) va (19.6) ifodalardan

$$\nu_q = \frac{A}{h} \text{ yoki } \lambda_q = \frac{hc}{A} \quad (19.7)$$

ni olamiz. Tushayotgan yorug'lik to'lqinining fotoeffekt hodisasi boshlanishini ta'minlay oladigan chegaraviy chastotasi ν_q yoki to'lqin uzunligi λ_q *fotoeffektning qizil chegarasi* deyiladi.

Stoletov qonunlarining talqini. Endi Eynshteyn tenglamasi yordamida Stoletov qonunlari haqida mulohaza yuritaylik.

I. Agar tushayotgan yorug'lik oqimi qancha katta bo'lsa, undagi fotonlar soni ham shuncha ko'p bo'ladi. Ko'p sondagi fotonlar ko'proq elektronlarni urib chiqaradi va demak, to'yinish tokining qiymati ham katta bo'ladi.

II. Agar elektron bittagina fotondan energiya olar ekan, demak, uning kinetik energiyasi katodga nechta foton tushayotganiga (yorug'lik oqimiga) emas, balki har bir fotonning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun fotonning energiyasi, ya'ni chastotasi ortishi bilan elektronning kinetik energiyasi ham ortadi. Boshqacha aytganda, fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan yorug'lik chastotasiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

III. Fotoeffektning qizil chegarasi uchun topilgan (19.7) ifoda uchinchi qonunni tushintirib beradi. Fotonning energiyasi chiqish ishiga teng bo'lganidan boshlab fotoeffekt hodisasi ro'y bera boshlaydi. Energiyasi chiqish ishidan kichik bo'lgan foton, yorug'lik intensivligi qanday bo'lishidan qat'i nazar, elektronni metallardan urib chiqara olmaydi va shuning uchun fotoeffekt ro'y bermaydi. Turli metallar uchun chiqish ishining qiymati turlicha bo'lganligidan, ular uchun fotoeffektning qizil chegarasi ham turlichadir.

Yuqoridagi mulohazalar – yorug'lik fotonlar (zarralar) oqimidan iborat, deb qarashni taqozo etadi va shuning uchun fotoeffekt hodisasi yorug'likning korpuskular nazariyasini tasdiqlovchi jarayon hisoblanadi.

Ichki fotoeffekt. Yorug'lik ta'sirida atom yoki molekuladan ajratib olingan elektron moddaning ichida erkin elektron sifatida qolsa, bunday hodisa ichki fotoeffekt deyilishini qayd etgan edik. Masalan, bu hodisa yarimo'tkazgichda ro'y bersa, fotoelektronlar erkin zaryad tashuvchi zarralar – erkin elektronlar va teshiklar sonining ortishiga olib keladi. Boshqacha aytganda, foton valent zonadagi elektronni o'tkazish zonasiga o'tkazadi. Natijada o'tkazish zonasidagi erkin elektronlar va teshiklar soni ortadi, ya'ni yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi yaxshilanadi. Shuning uchun ichki fotoeffekt *fotoo'tkazuvchanlik* deyiladi. Shuni ta'kidlash lozimki, fotoo'tkazuvchanlik ro'y berishi uchun fotonning energiyasi man qilingan zonaning energiyasidan katta bo'lmog'i kerak. Aks holda, fotonning energiyasini olgan elektron, man qilingan zonadan sakrab o'tolmaydi va demak, ichki fotoeffekt hodisasi ro'y bermaydi.



Sinov savollari

1. Fotoeffekt deb nimaga aytiladi? 2. Tashqi fotoeffekt deb qanday hodisaga aytiladi? 3. Ichki fotoeffekt deb-chi? 4. Stoletov tajribasini tushuntirib bering. 5. Katod yoritilmaganda zanjirda tok bo'ladimi? 6. Yoritilgandachi? 7. Tokning vujudga kelish mexanizmini tushuntirib bering. 8. Fotoelektronlar deb qanday elektronlarga aytiladi? 9. Fotoeffektning volt-amper xarakteristikasini tushuntirib bering. 10. To'yinish tokini tushuntirib bering. 11. To'yinish toki katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liqmi? 12. Anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda zanjirda tok bo'ladimi? Buni qanday tushuntirasiz? 13. Tutuvchi potensial nima? 14. Elektron anodga yetib borishi uchun kinetik energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 15. Elektron energiyasining qaysi qiymatidan boshlab u tormozlovchi maydonda tutib qolinadi? 16. Elektron katodga yetib bora olmasligi uchun uning chegaraviy tezligi qanday bo'lmog'i kerak? 17. Stoletovning birinchi qonuni nima haqida?

18. Stoletovning ikkinchi qonuni-chi? 19. Stoletovning uchinchi qonuni-chi? 20. Fotoeffektning yorug'likning to'liq xususiyati asosida tushuntirish mumkinmi? 21. Stoletovning ikkinchi va uchinchi qonunlarini-chi? 22. Eynshteyn Plank gipotezasiga qanday qo'shimcha qildi? 23. Fotoeffekt ro'y berishi uchun fotonning energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 24. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi. 25. Eynshteyn fikriga ko'ra elektron nechta fotondan energiya oladi? 26. Elektronning metalldan chiqish ishi moddaning tabiatiga bog'liqmi? 27. Fotoeffektning qizil chegarasi qanday aniqlanadi? 28. Fotoeffektning qizil chegarasi deb nimaga aytiladi? 29. Stoletovning birinchi qonunini tahlil qiling. 30. Stoletovning ikkinchi qonunini tahlil qiling. 31. Stoletovning uchinchi qonunini tahlil qiling. 32. Fotoeffekt hodisasini yorug'likning qanday tabiati asosida tushuntirish mumkin? 33. Yarimo'tkazgichda ichki fotoeffekt qanday ro'y beradi? 34. Fotoo'tkazuvchanlik deb nimaga aytiladi? 35. Fotoo'tkazuvchanlik ro'y berishi uchun fotonning energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 36. Fotonning energiyasi man qilingan zonadan kichik bo'lsa, qanday hodisa ro'y beradi?

20-§. Fotoeffektning qo'llanilishi

Mazmuni: fotoelement; vakuumli fotoelement; gazli fotoelement; fotoelementning qo'llanilishi; fotoqarshilik; fotoelektr yurituvchi kuch; to'siqli fotoelementlar.

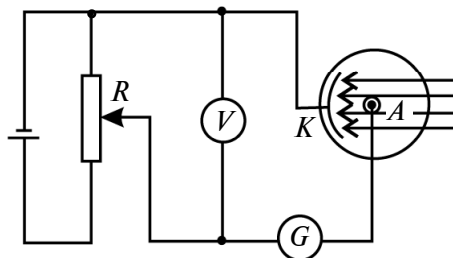
Fotoelement. Fotoeffekt hodisasiga asoslanib ishlovchi qurilmalar – fotoelementlar texnikada juda keng qo'llaniladi. Ulardan eng ko'p tarqalgani – vakuumli va gaz to'ldirilgan fotoelementlar.

Vakuumli fotoelementlar. 40- rasmda ichki qismi katod vazifasini o'tovchi yorug'lik sezuvchi metall qatlami bilan qoplangan shisha kolbadan iborat fotoelement ko'rsatilgan. Kolbaning havosi so'rib olingan. Odatda, yorug'likni sezuvchi metall sifatida chiqish ishi kichik bo'lgan ishqorli metallardan foydalaniladi.

Kolbaning ichida esa anod vazifasini bajaruvchi metall halqa yoki to'r o'rnatilgan bo'ladi. Fotoelementning qo'llanish sxemasi 41- rasmda ko'rsatilgan. Katod (K) batareyaning manfiy qutbga,



40- rasm.



41- rasm.

anod (A) esa musbat qutbiga ulanadi. Voltmetr (V) elektrodlar orasidagi potentsiallar farqini ko'rsatsa, qarshilik (R) yordamida bu kuchlanish o'zgartirib turiladi. Shuningdek, zanjirda fototokni o'lchovchi galvanometr (G) ham ulangan bo'ladi.

Yorug'lik katoddan urib chiqargan elektronlar anodga tomon harakat qiladi va galvanometr zanjirda tok borligini ko'rsatadi. Zamonaviy fotoelementlar nafaqat ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik, hatto infraqizil nurlarni ham sezish qobiliyatiga ega.

Gazli fotoelement. Shunday bo'lsa-da, fotoelementlarning sezgirligi uncha yaxshi hisoblanmaydi (bir lumen yorug'lik oqimi o'n mikroamper atrofida tok vujudga keltirishi mumkin). Natijada vakuumli fotoelement zanjiridagi tok juda kichik bo'ladi. Tokni kuchaytirish, ya'ni fotoelementning sezgirligini oshirish uchun esa kolbaga ozroq gaz kiritiladi va uni *gazli fotoelement* deyiladi. Bunda katoddan urib chiqarilgan elektron fotoelement to'ldirilgan gaz molekulariga urilib, ularni ionlashtiradi, ya'ni urilish ionlashuvi vujudga keladi. Buning uchun, albatta, katod va anod orasidagi kuchlanish yetarli darajada katta va katta tezlikli elektronning kinetik energiyasi gaz molekulasini ionlashtirishga yetarli bo'lmog'i kerak. O'z navbatida, vujudga kelgan ionlar elektrodlar tomon harakatga keladi va yo'lida uchragan molekulariga urilib, ularni ham ionlashtiradi. Shunday qilib, anod tomon harakatlanayotgan elektronlarning soni va demak, anod toki, ya'ni fotoelementning sezgirligi ortadi.

Fotoelementning qo'llanilishi. Tasvirni simsiz uzatish (fototelegrafiya) – fotoelement eng ko'p qo'llaniladigan sohalardan biridir. Bunga televideniya yaxshi misol bo'la oladi. I qism, 126- § da qayd etilganidek, tasvirni elektr signallariga aylantirish ikonoskop deb ataluvchi qurilmada amalga oshiriladi. Ikonoskop – sirti juda ko'p mitti fotoelementlardan iborat asbob. Ular o'zlariga tushayotgan yorug'likka mos bo'lgan elektromagnit to'lqinlar hosil qiladi va bu to'lqinlar uzoq masofalarga uzatiladi. Antenna yordamida qabul qilingan signallar esa kineskopda qaytadan yorug'lik signaliga, ya'ni tasvirga aylantiriladi.

Fotoelement yordamida ishlovchi fotorelelar sanovchi, avtomatik ravishda turli mexanizmlarni ishga tushiruvchi va nazorat qiluvchi qurilmalarning asosini tashkil qiladi. Fotorele – yorug'lik tushganda yoki yorug'lik tushishi to'xtaganda ishlashi mumkin.

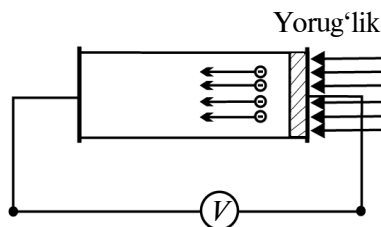
Fotorele – zamonaviy robotlarning sezish qurilmalaridan (ko'zidan) tortib, metrolarga kirishni nazorat qiluvchi qurilmalargacha, shahar ko'chalarining yoritish sistemasi, suv yo'llari

mayoqlarini ishga tushirishdan tortib, detallarning shakli va rangiga qarab ajratishgacha bo'lgan vazifani bajaruvchi qurilmalarning asosini tashkil qiladi.

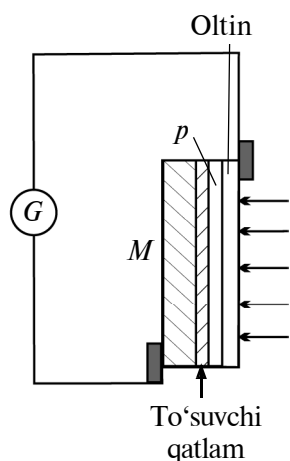
Fotoqarshilik. Fotoqarshilik ichki fotoeffektga asosan ishlaydigan asbob hisoblanadi. Fotoqarshilik deb, qarshiligi unga tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq bo'lgan yarimo'tkazgichli qurilmaga aytiladi. Uning ish prinsipini tushunish uchun yarimo'tkazgichning ish prinsipini tahlil qilaylik. Shuni ta'kidlash lozimki, yoritilmagan (yorug'likdan to'silgan) yarimo'tkazgichda ham ma'lum miqdordagi erkin elektronlar mavjud bo'ladi va ular yarimo'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligini hosil qiladi. Agar yarimo'tkazgichga kuchlanish qo'yilsa, unda elektr toki vujudga keladi va bu tokka xususiy tok (I_x) deyiladi. Agar yarimo'tkazgich yoritilsa, qo'shimcha elektronlar va teshiklar vujudga kelib, uning o'tkazuvchanligi yaxshilanadi va zanjirdagi tok I_{yo} yorug'lik tokigacha ortadi. Yorug'lik toki va xususiy toklarning farqi: $I = I_{yo} - I_x$ - fototok deyiladi. Fotoqarshilik tovushli kinoda, televideniya, teleme-xanikada, avtomexanikada signal beruvchi (xabar beruvchi) vosita sifatida ishlatiladi.

Fotoelektr yurituvchi kuch (foto-EYK). Ichki fotoeffekt prinsipiga asosan ishlaydigan qurilmalarning eng keng tarqalgani fotoelektr yurituvchi kuch vujudga keladigan qurilmalardir. Ba'zan ularga *fotogalvanik elementlar* ham deyiladi. Foto-EYK ning vujudga kelishi ancha sodda. Aytaylik, yarimo'tkazgichning bir bo'lagi yoritilayotgan bo'lsin (42- rasm). Tushayotgan yorug'lik qo'shimcha zaryad tashuvchilarni (elektronlarni va teshiklarni) vujudga keltiradi. Natijada yarimo'tkazgichning yoritilgan qismida zaryad tashuvchilarning soni ko'p, yoritilmagan qismida kam bo'lib qoladi. Bu esa yarimo'tkazgichning har ikkala qismi orasida elektr yurituvchi kuch vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Bunday EYK *diffuzion foto-EYK* deyiladi.

To'siqli fotogalvanik elementlar. Foto-EYK vujudga keluvchi elementlarda metall va yarimo'tkazgich yoki p va n tipidagi yarimo'tkazgichlar orasida bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega bo'lgan to'suvchi qatlam vujudga keltiriladi. Bu jarayonni



42- rasm.



43- rasm.

tasavvur qilish uchun 43- rasmdagi sxemani tahlil qilaylik. Elektrod vazifasini o'tovchi metall plastinka M ga yarimo'tkazgichning yupqa qatlami (p) qoplangan. O'z navbatida, bu qatlam ikkinchi elektrod vazifasini bajaruvchi yupqa metall qatlami bilan qoplangan. Elektrodlar bir-birlariga galvanometr (G) orqali ulangan. Endi yarimo'tkazgich ikkinchi elektrod orqali yoritilsin. Unda p qatlamda ichki fotoeffekt natijasida erkin elektronlar vujudga keladi. Bu elektronlar betartib harakat qilib M qatlamga o'tadi. Metall – yarimo'tkazgich chegarasida hosil bo'lgan to'suvchi qatlam esa teshik-

larning o'tishiga to'sqinlik qiladi. Natijada metall qatlami M da ortiqcha elektronlar, yarimo'tkazgich qatlami p da esa ortiqcha teshiklar hosil bo'ladi. Boshqacha aytganda, to'siqning mavjudligi ikki qatlam orasida foto-EYK ning vujudga kelishiga olib keladi. Agar zanjir yopiq bo'lsa, undan tok oqadi va buni galvanometr yordamida ko'ramiz. Shunday qilib, to'siqli fotogalvanik element – yorug'lik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirib bera oladigan qurilmadir. Bu quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirib bera oladigan qurilma yasashga imkon beradi. Ularning hech qanday tok manbayisiz ham ishlay olishi yanada katta imkoniyatlar tug'diradi. Ayniqsa, p - n tipidagi to'siqli galvanik elementlarning unumdorligi ancha yuqori bo'lib, 10% ni tashkil qiladi. Hozirgi paytda bunday tipdagi elementlar kosmik kemalarning quyosh batareyalarida juda ko'p qo'llaniladi. Toshkent viloyatining Parkent tumanida faoliyat ko'rsatayotgan, quvvati 1000 kW bo'lgan katta quyosh sandoni ham fotogalvanik elementlar majmuasidan iborat. Vatanimizning serquyosh yurt ekanligi shu usul bilan elektr energiya hosil qilishning katta istiqbolga ega ekanligini ko'rsatadi.



Sinov savollari

1. Fotoelement deb qanday qurilmaga aytiladi? 2. Vakuumli fotoelement deb-chi? 3. Vakuumli fotoelementning tuzilishini tushuntiring. 4. Nima uchun katod sifatida ishqorli metallardan foydalaniladi? 5. 41- rasmdagi

sxemani tushuntiring. 6. Voltmetr, qarshilik va galvanometrlarning vazifasi nimadan iborat? 7. Vakuumli fotoelementning sezgirligi qanday? 8. Uning sezgirligini oshirish uchun qanday yo'l tutiladi? 9. Gazli fotoelement nima? 10. Gazli fotoelement sezgirligining ortishiga sabab nima? 11. Ikonoskop qayerda ishlatiladi? 12. Ikonoskopning ish prinsipi qanday? 13. Kineskopning vazifasi nima? 14. Fotorelening ish prinsipi qanday? 15. Fotorelening ishlatilishiga beshta misol keltiring va tushuntirib bering. 16. Fotoqarshilik deb qanday qurilmaga aytiladi? 17. Fotoqarshilikning ish prinsipini tushuntiring. 18. I_x qanday vujudga keladi? 19. I_{yo} yorug'lik toki-chi? 20. Fototok qanday aniqlanadi? 21. Fotoqarshilik qanday ishlatiladi? 22. Fotogalvanik elementlar qanday qurilmalar? 23. 42- rasmdagi manzarani tushuntirib bering. 24. Diffuzion foto-EYK qanday vujudga keladi? 25. To'siqli fotogalvanik elementlarda foto-EYK ni nima vujudga keltiradi? 26. 43- rasmdagi sxemani tushuntiring. 27. Metall qatlamda ortiqcha elektronlar qayerdan paydo bo'ladi? 28. p qatlamda ortiqcha teshiklar-chi? 29. Foto-EYK qanday vujudga keladi? 30. To'siqli fotogalvanik elementlar qanday xususiyatga ega? 31. Ulardan nima maqsadda foydalanish mumkin? 32. Ular ishlashi uchun tok manbayi kerakmi? 33. Quyosh batareyalari qanday prinsipga asosan ishlaydi? 34. Parkent tumanidagi quyosh sandoni-chi? 35. O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish istiqbollari qanday?

21-§. Yorug'likning bosimi

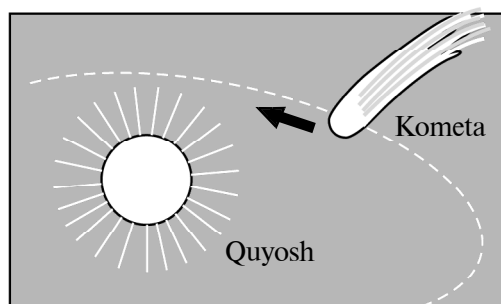
M a z m u n i : yorug'lik bosimi haqidagi fikrning paydo bo'lishi; Lebedev tajribasi; yorug'lik bosimini to'liq nuqtayi nazaridan tushuntirish; yorug'lik bosimini korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish; yorug'lik bosimining qiymati; Lebedev tajribasining ahamiyati; yorug'lik bosimining namoyon bo'lishi.

Yorug'lik bosimi haqidagi fikrning paydo bo'lishi. Astronomlar o'z kuzatishlarida Quyosh yaqinida harakatlanayotgan kometalarning gaz va chang zarralaridan tashkil topgan dumini Quyoshga nisbatan teskari tomonga cho'zilib ketishini aniqlaganlar (44- rasm). I.Kepler bu hodisani Quyosh nurlari bosimining natijasi sifatida tushuntirishga harakat qilgan. Ammo bu fikrning to'g'riligini isbotlash maqsadida o'tkazilgan ko'plab tajribalar kutilgan natijani bermagan.

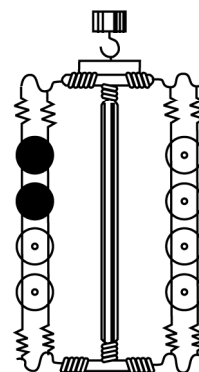
Lebedev tajribasi. Yorug'likning bosimini birinchi bo'lib o'lchash 1899- yilda rus fizigi P. N. Lebedevga nasib etgan. 45- rasm-



P. N. LEBEDEV
(1866–1912)



44- rasm.



45- rasm.

da Lebedev tomonidan, yorug'likning qattiq jismlarga ko'rsatadigan bosimini o'lchash uchun o'tkazgan tajribasining sxemasi ko'rsatilgan. Qurilma havosi so'rib olingan idishda o'rnatilgan bo'lib, ingichka ipga osib qo'yilgan va «qanotchalar» biriktirilgan yengil osmadan iborat. Qanotchalar qalinligi 0,01 mm dan 0,1 mm gacha bo'lgan oq va qoraytirilgan disklar shaklida bo'lgan. Ular osma atrofida aylana oladigan o'qqa nisbatan simmetrik qilib o'rnatilgan. Tushgan yorug'lik oq va qoraytirilgan disklariga turli xil bosim ko'rsatadi. Natijada osmani tutib turgan ingichka ip aylantiruvchi moment ta'sirida buraladi. Yorug'likning bosimi aynan shu ipning burilish burchagi yordamida aniqlanadi. O'z navbatida, bu burilish qanotchalariga tushayotgan yorug'likning bosimi mavjudligini, bu bosim jism sirtining qaytara olish qobiliyatiga va tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liqligini ko'rsatadi.

Xo'sh, yorug'lik bosimini qanday tushuntirib berish mumkin? Shuni ta'kidlash lozimki, yorug'likning bu xususiyati ham to'lqin, ham korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirib berilishi mumkin.

Yorug'lik bosimini to'lqin nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish. *Yorug'lik elektromagnit to'lqinlardan iborat deb hisoblanuvchi nazariyaga muvofiq bu bosimning mavjudligiga sabab, elektromagnit maydonning elektr va magnit tashkil etuvchilarining yoritilayotgan jism elektronlariga ko'rsatayotgan ta'siridir.* Maksvell nazariyasiga ko'ra, tushayotgan elektromagnit to'lqin sirtga

$$p_t = \frac{E_e}{c} \quad (21.1)$$

bosim ko'rsatadi. Bu yerda $E_e = \frac{\Phi_e}{S}$ – sirtning yoritilganligi, c – yorug'likning vakuumdagi tezligi. Shu bilan birga, tushayotgan yorug'likning bir qismi sirtidan qaytadi va bu qaytgan to'lqin sirtga

$$p_q = \frac{E_e}{c} \rho \quad (21.2)$$

bosim ko'rsatadi. Bu yerda ρ – sirtning qaytarish koeffitsiyenti deyilib, sirtidan qaytayotgan yorug'lik oqimining unga tushgan yorug'lik oqimiga nisbati bilan aniqlanadi.

Agar elektromagnit to'lqinlarning sirtga ko'rsatayotgan to'la bosimi tushayotgan va qaytayotgan to'lqinlar bosimlarining yig'indisidan iborat, ya'ni $p = p_t + p_q$ ekanligini e'tiborga olsak, to'la bosim uchun

$$p = \frac{E_e}{c} (1 + \rho) \quad (21.3)$$

ifodani topamiz.

Yorug'lik bosimini korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish. *Yorug'lik fotonlar oqimidan iborat deb hisoblanuvchi nazariyaga muvofiq yorug'lik bosimining mavjudligiga sabab, tushayotgan yorug'lik fotonlari o'z impulslarini yoritilayotgan jism atomlari yoki molekulariga berishidir.*

S yuzali sirtga har sekunda ν chastotali N ta foton tik tushayotgan bo'lsin. Bu fotonlarning $N_q = \frac{N_q}{N} N = \rho N$ tasi sirtidan qaytsa, $N_{yu} = (N - N_q) = \left(N - \frac{N_q}{N} N \right) = (1 - \rho)N$ tasi yutiladi. Agar fotonning impulsi $P_f = \frac{h\nu}{c}$ ekanligini e'tiborga olsak, yutilayotgan fotonlar jism atomlari yoki molekulariga

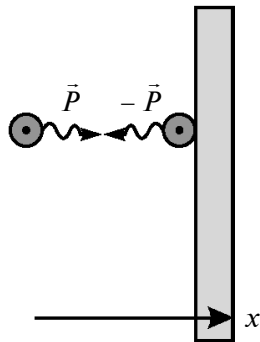
$$P_{yu} = P_f \cdot (1 - \rho)N = \frac{h\nu}{c} (1 - \rho)N \quad (21.4)$$

ga teng bo'lgan impuls beradi.

Har bir qaytayotgan foton jism sirtiga $\vec{P}_f - (-\vec{P}_f) = 2\vec{P}_f$ ga teng impuls beradi (46- rasm). Unda qaytayotgan fotonlarning jism sirtiga berayotgan impulsi

$$P_q = 2P_f \rho N = 2 \frac{h\nu}{c} \rho N \quad (21.5)$$

ifoda bilan aniqlanadi.



46- rasm.

Agar jism oladigan to‘la impuls yutilayotgan va qaytayotgan fotonlardan olinayotgan impuls yig‘indisi $P_t = P_{yu} + P_q$, yorug‘likning bosimi esa birlik yuzaga to‘g‘ri keluvchi impuls bilan aniqlanishini e‘tiborga olsak (buning uchun to‘la impulsni qanotcha yuzasi S ga bo‘lamiz), yorug‘lik bosimi uchun topamiz:

$$p = \frac{P_t}{S} = \frac{1}{3} \left[\frac{h\nu}{c} (1 - \rho) N + 2 \frac{h\nu}{c} \rho N \right] = \frac{h\nu N}{cS} (1 + \rho). \quad (21.6)$$

Bunda

$$\frac{h\nu}{S} N = E_e$$

ekanligidan,

$$p = \frac{E_e}{c} (1 + \rho) \quad (21.7)$$

ifodani hosil qilamiz.

(21.3) va (21.7) larni solishtirish, yorug‘likning bosimi uchun har ikkala nazariya asosida topilgan ifodalar bir xil ekanligini ko‘rsatadi.

Yorug‘lik bosimining qiymati. Tabiiy yorug‘likning bosimi juda ham kichik. Yer sirtida joylashgan va qaytarish koeffitsiyenti birga yaqin bo‘lgan jismga quyosh nurlari tomonidan ko‘rsatiladigan bosim $5 \cdot 10^{-6}$ Pa ($3,7 \cdot 10^{-8}$ mm sim. ust.) atrofida bo‘ladi. Ko‘rinib turibdiki, bu qiymat normal atmosfera bosimidan o‘n milliardlab marta kichikdir. Shuning uchun, kundalik hayotimizda yorug‘lik bosimining bevosita ta‘sirini e‘tiborga olmaslik ham mumkin.

Lebedev tajribasining ahamiyati. Shu bilan birga, bu bosimning kosmik jismlarning harakati va mikroskopik sistemalardagi jarayonlarda tutgan o‘rni juda katta. Aynan shuning uchun ham, shu qadar kichik bosimni aniqlash yo‘lida ko‘rsatgan ulkan mahorati uchun Lebedev yuksak hurmatga sazovordir. Uning tajribada topgan natijalari nazariy hisoblardan yigirma foiz atrofida farq qilgan. Lebedev tajribasining ulkan ahamiyati yorug‘lik bosimi mavjudligini amalda isbotlanganligi va tajriba natijalarining nazariy hisoblar bilan mos kelganligidadir. Bu tajribalar yorug‘lik ham materiyaning boshqa turlari kabi massaga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Yorug‘lik bosimining namoyon bo‘lishi. Yorug‘likning bosimi koinot jismlarining holatiga ulkan ta‘sir ko‘rsatadi. Masalan, yulduzlar o‘lchamlarining ma‘lum chegarada saqlanishiga sabab aynan shu bosimning mavjudligidir. Yulduzning massasi ortishi bilan uning qatlamlarining gravitatsion ta‘sir natijasida markazga tortilishi ortadi. Shuning uchun ham yulduzlarning ichki qatlamlari kuchli siqiladi va u yerdagi temperatura millionlab graduslarga ko‘tariladi. Bu paytda ichki qatlamlardan tashqi tomonga yo‘nalgan yorug‘lik bosimi ham ortadi. Normal yulduzlarda ularni siqishga harakat qiluvchi gravitatsion kuchlar va parchalashga harakat qiluvchi yorug‘lik bosimi orasida ma‘lum muvozanat vujudga keladi. Aynan shu muvozanat yulduzlarni barqaror holatda saqlab turadi.

Mikrozarralar olamida ro‘y beradigan jarayonlarda esa yorug‘likning bosimini hisobga olmaslikning mutlaqo iloji yo‘q. Chunki bunda zarralarning impulsi fotonlarning impulsiga qariyb teng bo‘lib, to‘qnashishlarda olinadigan va beriladigan impulslarning qiymatlari bir xil tartibdagi sonlar bo‘ladi.



Sinov savollari

1. Yorug‘likning bosimi haqidagi fikr qanday paydo bo‘lgan? 2. 44-rasmdagi manzarani tushuntiring. 3. Yorug‘lik bosimini birinchi bo‘lib kim va qachon aniqlagan? 4. 45- rasmdagi sxemani tushuntiring. 5. Nima uchun Lebedev qurilmani havosi so‘rib olingan idishda o‘rnatgan? 6. Qurilmadagi qanotchalarining qalinligi qanday bo‘lgan? 7. Nima uchun disklarning ranglari turlicha qilib olingan? 8. Ular qanday o‘rnatilgan? 9. Yorug‘likning bosimi qanday aniqlangan? 10. Yorug‘likning bosimi mavjudligi elektromagnit to‘lqin nazariyasiga muvofiq qanday tushuntiriladi? 11. Tushayotgan yorug‘lik sirtga qanday bosim ko‘rsatadi? 12. Qaytayotgani-chi? 13. Qaytarish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi? 14. Yorug‘lik to‘lqinlarining sirtga ko‘rsatayotgan to‘la bosimi nimaga teng? 15. Yorug‘likning bosimi mavjudligi korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan qanday tushuntiriladi? 16. Yutlayotgan fotonlarning jismga beradigan impulsi qanday? 17. Qaytayotgan fotonlarniki-chi? 18. 46- rasmdagi manzarani tushuntiring. 19. Yorug‘likning bosimi uchun turli nazariyalar asosida topilgan natijalar mos keladimi? 20. Yorug‘lik bosimining qiymati qanday? 21. Lebedev topgan natijalar nazariy hisoblar bilan mos keladimi? 22. Lebedev tajribasining ahamiyati nimadan iborat? 23. Yorug‘lik bosimi mavjudligining yulduzlar holatidagi ahamiyati-chi? 24. Normal yulduzlarning barqaror holatda saqlanishiga sabab nima? 25. Yorug‘lik bosimining mikrozarralar olamidagi ahamiyati nimadan iborat?

22-§. Yorug‘likning kimyoviy ta’siri

M a z m u n i: fotokimyoviy reaksiya; karbonot kislotaning parchalanishi; fotografiya.

Fotokimyoviy reaksiya. Ba’zi moddalarda yorug‘lik ta’sirida ro‘y beradigan kimyoviy o‘zgarishlar *fotokimyoviy reaksiyalar* deyiladi. Fotokimyoviy o‘zgarishlar turli-tuman bo‘lib, ba’zida murakkab molekulalar tarkibiy qismlarga ajralsa, ba’zida murakkab molekulalar hosil bo‘ladi. Birinchi holga kumush bromidning kumush va bromga ajralishi misol bo‘lsa, ikkinchi holga vodorod va xlor aralashmasining yorug‘lik ta’sirida vodorod xlorid hosil bo‘lish reaksiyasi misol bo‘ladi. Bu reaksiya shunchalar jo‘shqin amalga oshadiki, hattoki portlash ro‘y beradi.

Karbonat kislotaning parchalanishi. Fotokimyoviy reaksiyalarning ko‘pchiligi tabiatda va texnikada muhim ahamiyatga ega. Ularning eng diqqatga sazovori – o‘simliklarning yashil qismida yorug‘lik ta’sirida ro‘y beradigan karbonat kislotaning fotokimyoviy parchalanishidir.

Aynan shu reaksiya uglerodning tabiatdagi aylanishini ta’minlab, yerdagi jonli organizmlarning uzoq vaqt yashashi uchun zarur sharoit yaratadi. Ma’lumki, hayvonot va o‘simliklarning yashashi (nafas olishi) natijasida uglerodning tinimsiz oksidlanishi (CO_2 ning hosil bo‘lishi) ro‘y beradi. O‘simliklarning yashil qismida yorug‘lik ta’sirida $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$ sxemaga muvofiq ro‘y beradigan fotokimyoviy reaksiya natijasida uglerod qayta tiklanadi. O‘z navbatida, bu reaksiya jonli organizmning yashashi uchun zarur bo‘lgan kislorodning vujudga kelishiga olib keladi.

Fotografiya. Kumush bromidning (AgBr) yorug‘lik ta’sirida parchalanishi fotografiyaning (suratga olishning) asosini tashkil qiladi. Umuman olganda, turli ranglarning namoyon bo‘lishiga sabab, bu ranglarning yorug‘lik ta’sirida fotokimyoviy oksidlanishidir. Bu jarayon inson va hayvonlar ko‘zlarining ko‘rish sezgilarini tushunish uchun ham muhim ahamiyatga egadir. Endi suratga olishda fotokimyoviy reaksiyaning ahamiyatiga batafsilroq to‘xtalaylik. Buning uchun fotoplastinkaga kumush bromid surtiladi. Plastinkaga yorug‘lik tushganda u parchalanib, sof kumush zarralari ajraladi. Ularning miqdori tushayotgan yorug‘lik intensivligiga bog‘liq. Shuning uchun plastinkada hosil bo‘lgan sof kumush molekulalari yorug‘lik intensivligiga bog‘liq manzarani, suratga olingan narsaning yashirin (ko‘zga ko‘rinmaydigan) tasvirini hosil qiladi. Fotoplastinka

ochiltirgichga solinganda esa yorug‘lik ko‘p tushgan joy kuchliroq, kam tushgan joy esa kuchsizroq qorayadi va shu usul bilan negativ hosil qilinadi. Shuni ta’kidlash lozimki, juda ko‘p kimyoviy reaksiyalardan hozirgi kunda bevosita ishlab chiqarishda foydalanilib, ular sanoatda muhim ahamiyat kasb etmoqda.



Sinov savollari

1. Fotokimyoviy reaksiya deb nimaga aytiladi? 2. Fotokimyoviy reaksiyalarning turlarini ayting. 3. Karbonot kislota qanday parchalanadi? 4. Karbonat kislota parchalanishining ahamiyati nimadan iborat? 5. Uglerodning tiklanishi qanday ro‘y beradi? 6. Bu reaksiyaning jonli organizmlar uchun ahamiyati nimadan iborat? 7. Fotografiyaning asosini qanday reaksiya tashkil qiladi? 8. Fotokimyoviy oksidlanishning ko‘rish uchun ahamiyati qanday?. 9. Suratga olish uchun fotoplastinkaga nima surtiladi? 10. Negativ qanday hosil bo‘ladi?

23-§. Luminessensiya

Mazmuni: luminessensiya; luminessensiyaning ro‘y berishi; luminessensiyaning qo‘llanilishi.

Luminessensiya. Luminessensiya so‘zi lotincha *luminisessent* — yorug‘likning kuchsiz ta’siri ma’nosini anglatadi. Luminessensiya deb, ba’zi moddalarning yorug‘lik ta’sirida o‘ziga xos bo‘lgan nurlanish chiqarishiga aytiladi. Bunda modda istalgan: qattiq, suyuq va gaz holatida bo‘lishi mumkin. Luminessensiya jarayonida modda o‘ziga tushayotgan yorug‘likni yutadi va, so‘ngra, tarkibi yutayotganidan farqli nurlanishni chiqaradi. Umuman olganda, luminessensiyaning ba’zi turlari oldinlari ham ma’lum bo‘lgan. Masalan, *fluoressensiya* — jismni nurlatish to‘xtatilishi bilan to‘xtaydigan, qisqa vaqt ro‘y beradigan nurlanish (nurlanish vaqti 10^{-8} s) va *fosforessensiya* — nurlatish to‘xtatilgandan keyin ham ma’lum vaqt davom etadigan nurlanish (nurlanish vaqti 10^{-8} s dan katta). Lekin nurlanishning qanday ro‘y berishi to‘g‘risidagi ilmiy tushuncha mavjud bo‘lmay, u qanday vujudga keladi va bir-biridan nimasi bilan farq qiladi, degan savollarga aniq javoblar yo‘q edi.

Luminessensiyaning ro‘y berishi. Luminessensiya qonunlarini izlash turli xil empirik qoidalarning yaratilishiga ham olib kelgan. Bulardan biri G.Stoks qonuni bo‘lib, tajriba natijalari ba’zida bu qonun bilan mos kelmagan.

Luminessensiya jarayonini ham tajribada, ham nazariy ravishda batafsil o'rganib chiqqan rus fizigi S.I.Vavilov (1891–1951) bu jarayonning haqiqiy qonunlarini yaratishga muvassar bo'ldi. Bu qonunlar nafaqat luminessensiya nazariyasining asosi bo'lib qolmay, uning texnikada keng qo'llanilishiga ham olib keldi.

Luminessensiya deb, berilgan temperaturada issiqlik nurlanishidan ortiqcha energiya hisobiga ro'y beradigan nurlanishga aytiladi.

Boshqacha aytganda, moddaga tushgan foton yutiladi. Uning bir qism energiyasi atomning tebranish energiyasiga, ya'ni issiqlik energiyasiga sarflansa, qolgan qismi luminessension nurlanishga sarflanadi.

Luminessensiya jarayoni kvant mexanikasi qonunlari asosida ancha sodda tushuntirilib, siz bu qonunlar bilan kelgusida tanishasiz, degan umiddamiz. Luminessensiya ro'y beradigan moddalar *luminoforlar* deyiladi.

Luminessensiyaning qo'llanilishi. Vavilov simobli lampalarning ultrabinafsha nurlanishidan luminoforlar yordamida ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik hosil qilishni taklif qildi. Natijada u kunduzgi yorug'likka o'xshash yoritish qobiliyatiga ega luminessension lampalarni yaratdi. Past bosimli, simob bug'lari bilan to'ldirilgan bunday lampalar devorlariga turli xil luminoforlar qatlamini surtish bilan istalgan rangdagi yorug'likni hosil qilish mumkin. Bunday lampalarning foydali ish koeffitsiyenti juda yuqori, xizmat qilish davri ham ancha uzoq. Shuning uchun, bunday lampalar ko'chalarni, zavod va fabrikalarni, ta'lim muassasalarini, do'konlarni va boshqa joylarni yoritishda va bezatishda juda keng qo'llaniladi.

Luminessensiya moddalarni analiz qilishda ham qo'llaniladi. Bu usul *luminessension analiz* deyiladi. Masalan, modda tarkibida juda kam miqdorda luminofor mavjud bo'lsa ham, uni aniqlash mumkin. Neft qazuvchilar chuqurdan olingan tuproqni luminessension analiz yordamida o'rganib, neft qatlamigacha qolgan masofani va hattoki neft zaxirasining miqdorini ham aniqlashadi. Bu usul yordamida shishalarning navi aniqlanadi, biologik obyektlar o'rganiladi.



Sinov savollari

1. Luminessensiya so'zining ma'nosi nima? 2. Luminessensiya deb nimaga aytiladi? 3. Luminessensiya qanday ro'y beradi? 4. Fluorensensiya deb nimaga aytiladi? Fosforensensiya deb-chi? 5. Luminessensiya qonun-

larini kim yaratgan? 6. Luminessensiya deb qanday nurlanishga aytiladi? 7. Yutilgan fotonning energiyasi nimalarga sarflanadi? 8. Luminoforlar deb qanday moddalarga aytiladi? 9. Luminessension lampalarning ish prinsipi qahday? 10. Turli rangdagi yorug'lik chiqaradigan lampalar qanday hosil bo'ladi? 11. Ularning FIK va xizmat muddati qanday? 12. Luminessension lampalardan foydalanishga beshta misol keltiring. 13. Luminessension analizning mohiyati nimadan iborat? 14. Luminessension analizning qo'llanilishini tushuntiring.

24-§. Yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi

M a z m u n i : yorug'likning to'lqin tabiati; yorug'likning korpuskular tabiati; yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi.

Yorug'likning to'lqin tabiati. Biz yorug'likning elektromagnit to'lqinlardan iborat ekanligini tasdiqlovchi interferensiya, difraksiya va qutblanish hodisalari bilan tanishdik. Yorug'lik to'lqinlarga xos bo'lgan barcha xarakteristikalariga egaligiga va elektromagnit to'lqinlar shkalasidagi ma'lum oraliqda joylashgan to'lqinlardan iborat ekanligiga ishonch hosil qildik.

Lekin shu bilan birga, yorug'likni elektromagnit to'lqinlar sifatida qarash issiqlikdan nurlanish va fotoeffekt hodisalarini tushuntirib berishga o'zlik qilishini qayd etdik.

Yorug'likning korpuskular tabiati. Issiqlikdan nurlanish va fotoeffekt hodisalarini tushuntirish yorug'likni fotonlar oqimidan iborat, deb qarashni taqozo etdi. Boshqacha aytganda, bu hodisalarini faqat yorug'likning korpuskular nazariyasi asosida tushuntirish mumkin.

Bundan tashqari, yorug'likning sinish qonunlari va yorug'lik bosimini har ikkala nazariya asosida ham tushuntirish mumkin. Unda yorug'lik ham to'lqin, ham korpuskular tabiatga ega emas-mikan, degan savol tug'iladi. Bu esa, o'z navbatida, yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmining tug'ilishiga sabab bo'ldi.

Yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi. Shunday qilib, yorug'likda go'yoki bir-birini inkor etuvchi ikkita: to'lqin va korpuskular tabiatning uyg'unligi namoyon bo'ldi. Ayni paytda, ular bir-birini to'ldirib, yorug'lik bilan bog'liq bo'lgan barcha jarayonlarni tushuntirib bera oldi.

Shuni ta'kidlash lozimki, fotonning energiyasi $E = h\nu$ va impulsi $P = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ uchun yozilgan ifodalar yorug'likning korpuskular xarakteristikalarini — energiya va impulsni, yorug'likning to'lqin

xarakteristikalari – chastota va to‘lqin uzunligi bilan bog‘laydi. Shu sababli, yorug‘likning tabiati haqidagi har ikkala nazariyani bir-biriga qarama-qarshi qo‘yish emas, balki bir-birini to‘ldiruvchi nazariyalar sifatida qarash joizdir. Ularning har biri ma’lum sharoitda o‘zlarini namoyon qilishadi. Masalan, to‘lqin uzunligi katta va demak, energiyasi kichik bo‘lsa, yorug‘likning to‘lqin tabiati namoyon bo‘ladi. Aksincha, to‘lqin uzunligi kichik va demak, fotonning energiyasi va impulsi katta bo‘lsa, yorug‘likning korpuskular tabiati yaqqol namoyon bo‘ladi. *Shunday qilib, yorug‘lik materiyaning murakkab shakli bo‘lib, u ikki xil: ham korpuskular, ham to‘lqin tabiatiga egadir. Bunga yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmi deyiladi.*

Yorug‘likning bu xossasiga 28- § da yana qaytamiz.



Sinov savollari

1. Qanday hodisalar yorug‘likning to‘lqin tabiatini tasdiqlaydi?
2. Korpuskular tabiatini-chi?
3. Qanday hodisalarni har ikkala nazariya asosida ham tushuntirish mumkin?
4. Fotonning energiyasi va impulsi uchun yozilgan ifodalarda yorug‘likning korpuskular va to‘lqin nazariyalarini xarakterlovchi kattaliklar orasidagi bog‘lanish mavjudmi?
5. Yorug‘likning to‘lqin tabiati qachon namoyon bo‘ladi? Korpuskular tabiati-chi?
6. Yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmi nima?



Masala yechish namunalari

1- masala. Qora jismning boshlang‘ich temperaturasi 500 K. Qizdirilgandan keyin nurlanish 4 marta oshsa, jismning oxirgi temperaturasi nimaga teng bo‘ladi?

Berilgan:

$$T_1 = 500 \text{ K};$$

$$n = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = 4.$$

$$T_2 = ?$$

Yechish. Qora jismning nurlanishi Stefan–Bolsman qonuniga muvofiq aniqlanadi. Qonunni har ikkala holat uchun yozamiz:

$$R_{e1} = \delta T_1^4 \quad \text{va} \quad R_{e2} = \delta T_2^4.$$

Bu ifodalardan ko‘rilayotgan jarayon uchun quyidagi munosabatni yozamiz:

$$n = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4.$$

Bundan

$$T_2 = \sqrt[4]{n} T_1.$$

Berilganlarni ushbu ifodaga qo'yib hisoblaymiz:

$$T_2 = \sqrt[4]{4} \cdot 500 \text{ K} \approx 1,41 \cdot 500 \text{ K} = 705 \text{ K}.$$

J a v o b: $T_2 = 705 \text{ K}$.

2- masala. Quyosh nurlanish spektral zichligi maksimal qiymatining to'liq uzunligi $0,48 \mu\text{m}$. Quyoshni qora jism deb qarab, uning sirtidagi temperaturani toping.

Berilgan:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max} &= 0,48 \mu\text{m} = \\ &= 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}. \end{aligned}$$

Yechish. Vinning siljish qonuniga muvofiq, Quyosh sirtidagi temperatura quyidagicha aniqlanadi:

$$T = ?$$

$$T = \frac{c}{\lambda_{\max}}.$$

Bu yerda $c = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ – Vin doimiysi. Hisoblashlar bajarib,

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-7}} \text{ K} = 6040 \text{ K} = 6,04 \text{ kK}$$

ga ega bo'lamiz.

J a v o b: $T = 6,04 \text{ kK}$.

3- masala. Elektronning chiqish ishi $2,3 \text{ eV}$ bo'lgan natriy uchun fotoeffektning qizil chegarasi aniqlansin.

Berilgan:

$$A_{\text{ch}} = 2,3 \text{ eV} = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

$$\lambda_{\text{q}} = ?$$

Yechish. Fotoeffektning qizil chegarasi uchun yozilgan

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{q}}} = A_{\text{ch}}$$

ifodadan λ_{q} ni topamiz:

$$\lambda_{\text{q}} = \frac{hc}{A_{\text{ch}}}.$$

Bu yerda $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ – Plank doimiysi; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ – yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi.

Hisoblashlar bajaramiz:

$$\lambda_q = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8}{3,68 \cdot 10^{-19}} \text{ m} = 5,40^{-7} = 0,54 \mu\text{m}..$$

J a v o b : $\lambda_q = 0,54 \mu\text{m}$.



Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Agar jismning temperaturasi bir protsentga ortsa, uning nurlanishi necha protsentga ortadi? ($\Delta n = 4,06\%$.)
2. Qora jismning nurlanishi o‘n olti marta kamayishi uchun temperaturani necha marta kamaytirish kerak? ($n = 2$ marta.)
3. Quyoshning temperaturasi 5,3 kK ga teng. Quyoshni qora jism sifatida qabul qilib, uning nurlanish spektral zichligining maksimumiga mos keluvchi to‘lqin uzunligi aniqlansin. ($\lambda_{\text{max}} = 0,547 \mu\text{m}$.)
4. Agar fotoelektronlarning tezligi 3000 km/s bo‘lsa, platina plastinkaga tushayotgan fotonlarning to‘lqin uzunligi aniqlansin. ($\lambda = 0,039 \mu\text{m}$.)
5. Rux uchun fotoeffektning qizil chegarasi 0,31 μm . Agar rux plastinkaga 0,002 μm to‘lqin uzunlikli yorug‘lik tushayotgan bo‘lsa, fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi elektron-voltlarda aniqlansin. ($T_{\text{max}} = 2,2 \text{ eV}$.)
6. To‘lqin uzunligi 0,6 μm bo‘lgan yorug‘lik yassi yaltiroq sirtga tik tushib 4 μPa bosim hosil qiladi. Shu sirtning 1 mm^2 yuzasiga 10 s davomida tushayotgan fotonlar soni aniqlansin. ($n = 1,8 \cdot 10^{16}$.)
7. Massasi elektronning massasiga teng bo‘lgan fotonning to‘lqin uzunligi aniqlansin. ($\lambda = 0,024 \mu\text{m}$.)
8. 600 nm to‘lqin uzunlikli fotonlar qaytarish koeffitsiyenti 0,2 bo‘lgan plastinkaga tushadi. Agar nurlar plastinkani 10^{-13} H/m^2 kuch bilan bossa, vaqt birligida plastinkaga tushayotgan fotonlarning soni aniqlansin. ($N = 755 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.)

Test savollari

1. Fotoelektronlarning kinetik energiyasi nimaga to'g'ri proporsional bo'ladi?
 - A. Tushayotgan yorug'likning chastotasiga.
 - B. Tushayotgan yorug'lik oqimiga.
 - C. Nurlanish intensivligiga.
 - D. Tormozlovchi maydonga.
 - E. Tutuvchi kuchlanishga.
2. Berilgan tenglamalar ichidan fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini toping.
 - A. $h\nu_k = A$.
 - B. $E = h\nu$.
 - C. $E = mc^2$.
 - D. $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$
 - E. To'g'ri javob C va D.
3. To'lqin uzunligi $6 \cdot 10^{-7}$ m bo'lgan qizil yorug'lik fotonining energiyasi nimaga teng?
 - A. $3,3 \cdot 10^{-19}$ J.
 - B. $3,2 \cdot 10^{-19}$ J.
 - C. $4,3 \cdot 10^{-19}$ J.
 - D. $2,3 \cdot 10^{-19}$ J.
 - E. $3 \cdot 10^{-18}$ J.
4. Yulduzlar o'lchamlarining ma'lum chegarada saqlanishiga sabab nima?
 - A. Yorug'likning kimyoviy ta'siri.
 - B. Yorug'likning fotografik ta'siri.
 - C. Yorug'likning bosimi.
 - D. Yorug'likning korpuskular tabiati.
 - E. Yorug'likning to'lqin tabiati.
5. Berilgan modda uchun fotoeffekt kuzatiladigan «qizil chegara»ni aniqlash formulasini ko'rsating.
 - A. $m = \frac{h\nu}{c^2}$.
 - B. $\nu = \frac{A}{h}$.
 - C. $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$.
 - D. $E = h\nu$.
 - E. $M = \frac{h\nu}{c}$.

Bobning asosiy xulosalari

Termodinamik muvozanat deb, sistemaning vaqt o'tishi bilan termodinamik parametrlari o'zgarmaydigan holatiga aytiladi.

Plank gipotezasi. *Jismning nurlanish energiyasi klassik fizikada tasavvur qilinganidek uzluksiz bo'lmay, tebranish chastotasi ν ga*

proporsional E energiyali kvantlardan, ya'ni alohida porsiyalardan iborat:

$$E = hv.$$

Foton – yorug'lik kvanti bo'lib, quyidagi xarakteristikalarga ega: energiyasi $E = hv$; massasi $m = \frac{E}{c^2}$; impulsi $P = mc$.

Tashqi fotoeffekt deb, yorug'lik ta'sirida elektronlarning moddalardan ajralib chiqish hodisasiga aytiladi.

Ichki fotoeffekt deb, yorug'lik ta'sirida ajralib chiqqan elektronlar moddaning ichida erkin elektronlar sifatida qolgan holga aytiladi.

Fotoeffekt uchun Eynshteyn formulasi:

$$hv = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Yorug'likning bosimi:

$$p = \frac{F_e}{c} (1 + \rho).$$

Yorug'lik ta'sirida ro'y beradigan kimyoviy o'zgarishlar *fotokimyoviy reaksiyalar* deyiladi.

Luminessensiya deb, berilgan temperaturada issiqlik nurlanishidan ortiqcha energiya hisobiga ro'y beradigan nurlanishga aytiladi.

Yorug'lik materiyaning murakkab shakli bo'lib, u ikki xil: ham *korpuskular*, ham *to'lqin* tabiatiga egadir.