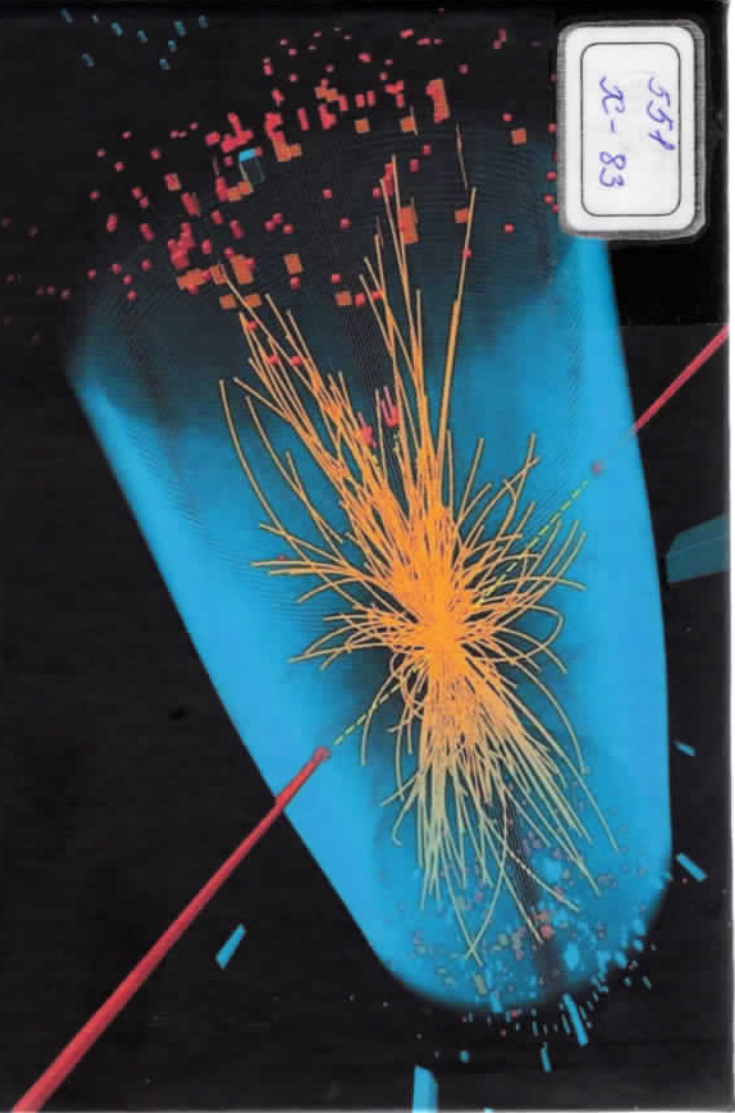


551
X-83



E. N. XUDAYBERDIYEV, K. R. NASRIDDINOV,
L. Q. SAMANDAROV

UMUMIY FIZIKA
(ATOM, YADRO VA ELEMENTAR
ZARRALAR FIZIKASI) DAN
LABORATORIYA ISHLARI

551
2-83

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
TOSHKENT VILOYATI
CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI

E. N. XUDAYBERDIYEV, K.R.NASRIDDINOV,
L. Q. SAMANDAROV

UMUMIY FIZIKA (ATOM, YADRO VA
ELEMENTAR ZARRALAR
FIZIKASI) DAN LABORATORIYA
ISHLARI

O'QUV QO'LLANMA

- 13701/23 -

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIV VA O'RTA
MAXSUS TALIM VAZIRLIGI CHIRCHIQ DAVLAT
PEDAGOGIKA UNIVERSITETI
AXBOROT RESURS MARKAZI

«MALIK PRINT CO»
TOSHKENT-2022

UO'K: 551.510.3
K BK: 22.33ya73

Tag'rizchilar:

I.Xolboyev – O'zMU professori, f.-m.f.d., professor;
K.T.Suyarov – Toshkent Viloyati Chirchiq Davlat Pedagogika
instituti dotsenti, PhD.

Ushbu "Umumiy fizika (Atom, yadro va elementar zarralar fizikasi)dan laboratoriya ishlari" o'quv qo'llanmasida pedagogika oliy ta'lim muassasalari 60110700-"Fizika va astronomiya" ta'lim yo'nalishi uchun so'ngi namunaviy fan dasturiga kiritilgan barcha real va virtual laboratoriya ishlari to'liq bayoni, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari yordamida ularning bajarilishi, ishini bajarishda uchraydigan xatoliklar, mavzular bo'yicha bilimlarni yanada mustahkamlashga xizmat qiluvchi sinov savollari, laboratoriya ishlari o'ld hisobot shakllari to'g'risida to'liq ma'lumotlar keltirilgan.

Uslubiy qo'llanmadan pedagogika oliy ta'lim muassasalarining 60110700-"Fizika va astronomiya" ta'lim yo'nalishi talabalari hamda akademik litsey, kasb-hunar maktablari o'quvchilari ham foydalanishlari mumkin.

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2021 yil 25 dekabrda 538 – sonli buyrug'iga asosan o'quv qo'llanma sifatida nashrga tavsiya etilgan.

ISBN 978-9943-8119-0-4

Mundarija

SO'Z BOSH	5
Fizik kattaliklarni o'lashdagi xatoliklar va ularning turlari	7
№ 1 Laboratoriya ishi: Stefan –Bolsman qonuni: Absolyut qora jism nurlanish intensivligining haroratga bog'liqligini o'lash	13
№ 2 Laboratoriya ishi: Plank doimiyini aniqlash	20
№ 3 Laboratoriya ishi: Ravshanlik pirometri yordamida nurlanayotgan jismlarning haqiqiy temperaturasini aniqlash	23
№ 4 Laboratoriya ishi: Elektronning chiqish ishini aniqlash	32
№ 5 Laboratoriya ishi: Tashqi fotoeffekt hodisasini o'rganish	38
№ 6 Laboratoriya ishi: Tashqi fotoeffekt va Kompton effekti ga doir kompyuter eksperimentlari	45
№ 7 Laboratoriya ishi: Yadroning planetar modeliga doir kompyuter eksperimenti	54
№ 8 Laboratoriya ishi: Atomlarning spektrlariga doir kompyuter eksperimenti	61
№ 9 Laboratoriya ishi: Frank-Gers tajribasini o'rganish (atomlarning uyg'oni sh potensialini aniqlash)	69
№ 10 Laboratoriya ishi: Frank-Gers tajribasiga doir kompyuter eksperimenti	74
№ 11 Laboratoriya ishi: Bir va ikki tirgishli to'siqdan elektronlarning o'tishiga doir kompyuter eksperimenti	77
№ 12 Laboratoriya ishi: Geliy-neon lazerini o'rganish	85
№ 13 Laboratoriya ishi: Yarim o'tkazgichli lazerni o'rganish	92
№ 14 Laboratoriya ishi: Lazer nurining suyuqlikda yutilish qonuniyatlarini o'rganish	100
№ 15 Laboratoriya ishi: Yadroviy nurlanishlarni qayd etuvchi qurilmalar- detektorlarning tuzilishi va ishlash prinsipini o'rganish	105
№ 16 Laboratoriya ishi: Radioaktiv nurlarning turli muhitlarda yutilish ko'effitsiyentini virtual tajribada aniqlash	120
№ 17 Laboratoriya ishi: Alfa zarralarning havoda erkin yugurish masofasini virtual tajribada aniqlash	128

№ 18 Laboratoriya ishi: Alfa zarralar energiyasini virtual tajribada

aniqlash..... 134

№ 19 Laboratoriya ishi: Radioaktiv plutoniý-238 izotopining yarim

yemirilish davrini virtual tajribada aniqlash 137

№ 20 Laboratoriya ishi: Elektronning solishtirma zaryadini magnetron
usulida virtual tajribada aniqlash 140

Laboratoriya ishlarini bajarish va hisobot yozish bo'yicha namunalar 147

Laboratoriya ishlari bo'yicha My-test dasturidagi testlar 158

Hovalar 169

Adabiyotlar 179

SO'Z BOSHI

Uzloksiz ta'lim tizimida fizika kursini o'qitishda nazariy bilimlar bilan birgalikda amaliy hamda laboratoriya ishlarini bajarish muhim ahamiyatga ega, chunki amaliy va laboratoriya mashg'ulotlarida talabalarning nazariy bilimlari tajriba va hisoblashlar orqali yanada mustahkamlanadi.

Hozirgi kunda umumiy fizika fanining Mexanika, Molekulyar fizika, Elektromagnetizm va Optika bo'limlari bo'yicha ko'plab laboratoriya jihozlari va laboratoriya komplekslari mavjud, lekin Atom, yadro va elementar zarralar fizikasi bo'limi bo'yicha laboratoriya ishlari maxsus tayyorlangan xonalar va maxsus qurilmalar zarur bo'lganligi uchun qoniqarli holatda emas. Xususan, Atom, yadro va elementar zarralar fizikasi bo'limini o'qitishda o'quv dasturlarida laboratoriya ishlari ko'zda tutilganligiga qaramasdan ko'pgina ta'lim muassasalarida ularni bajarish uchun sharoit yo'q. Buni hisobga olgan holda bu bo'lim bo'yicha laboratoriya ishlarini hozirgi kunning imkoniyatlaridan foydalanib, kompyuter texnikasi va multimediya vositalarini qo'llagan holda virtual holatda bajarish mumkin. Shu sababli ham bu bo'limning fan dasturida real laboratoriya ishlari bilan birgalikda virtual laboratoriya ishlari va kompyuter eksperimentlaridan foydalanish nazarda tutilgan.

Kompyuter yordamida virtual laboratoriya ishlarini bajarish uchun talaba kompyuter dasturlarini chuqur bilmasa-da, undan foydalanish, malaka va ko'nikmalariga ega bo'lishi yetarli. Shu bilan birga laboratoriya ishini bajarishda uslubiy ko'rsatmalarga amal qilinishi, ishning nazariy qismi bilan tanishishi, o'lov asboblari ishlash prinsipi va eksperimentni o'tkazishda bajariladigan ishlar ketma-ketligini bilishi, hisoblash formulalariga kiradigan fizikaviy kattaliklarning ma'nosini tushunishi, nazorat savollariga javob berishi, ya'ni bajariladigan eksperimentning maqsadini tushunishi lozim. Shunday qilib, kompyuterda virtual laboratoriya ishlarini bajarishda talabalarga qo'yiladigan talablar real fizika laboratoriya ishlarini bajarishga qo'yiladigan talablar bilan deyarli bir xil bo'ladi.

Virtual tajriba ishlarini bajarishning afzalligi shundaki, fanga qiziquvchi talaba yoshlar ma'lum bir tajriba ishini mustaqil bajarib ko'rish uchun maxsus asbob-uskunalar, jihozlar izlab yurishi shart emas, istalgan holatda, xohlagan vaziyatda kerakli tajriba ishini

bajarishi mumkin bo'lad, faqat buning uchun kompyuter bo'lsa yetarli bo'ladi. Qo'lganini nazariy qismdan o'qib, ishini bajarish tartibi va olingan natijalarni hisoblash va ularni tahlil qilish bilan batafsil tanishib chiqishning o'zi kifoya.

Ushbu qo'llanmada laboratoriya ishlari pedagogika oliy ta'lim muassasalari 60110700-"Fizika va astronomiya" ta'lim yo'nalishi fan dasturidagi ketma-ketligi asosida yoritilgan. Fan dasturida ayrim laboratoriya ishlarning real hamda virtual yoki kompyuter eksperimentlarini ham bajarish ko'zda tutilgan. Bunday hollarda talabalarga avvalo bu ishlarning virtual yoki kompyuter eksperimentini bajarish, keyin esa uning real laboratoriya ishini bajarish tavsiya etiladi. Shunda bu ishlarning mazmun-mohiyati talabalar tomonidan yaxshi o'zlashtirilishi ta'minlanadi. Qo'llanma oxirida laboratoriya ishlari bajarish uchun zarur nazariy bilimlarni mustahkamlash maqsadida test savollari MyTest dasturida kiritilgan. Bundan tashqari ayrim virtual laboratoriya ishlari dasturida shu ishga mos test topshiriqlarini bajarish ham ko'zda tutilgan.

O'quv qo'llanmaga kiritilgan barcha virtual laboratoriya ishlarning dasturiy ta'minoti, qo'llanmadan foydalanuvchilarga elektron variantda latifbeksamandarov@mail.ru elektron pochta orqali taqdim etiladi.

Mualliflar ushbu qo'llanma bo'yicha barcha taklif va mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qiladilar.

Fizik kattaliklarni o'lchashdagi xatoliklar va ularning turlari

Laboratoriya tajribalaridagi har qanday o'lchashlar hamma vaqt qandaydir xatolik bilan bajariladi. Bu xatoliklar shartli ravishda sistematik, qo'pol va tasodifiy xatoliklarga ajratiladi.

1. **Sistematik xatolik** – hamma vaqt mavjud bo'ladigan xatolikdir. Asbobning noto'g'ri o'rnatilishidan (asbobning o'lchash aniqligiga bog'liq bo'lgan xatolik) va o'lchash usulining noto'g'ri tanlanishidan kelib chiqadigan xatoliklar sistematik xatoliklardir. Bu xatoliklar ba'zi tashqi omillar ta'sirida, masalan, chizg'ich shkalasining notekis darajalanishi, termometr nolining haqiqiy nol haroratiga mos kelmasligi, termometr kapillyari kesim yuzining kapillyar bo'yicha bir xil bo'lmasiligi, ampermetrdan elektr tok o'tmagan vaqtda uning strelokasining shkala noliga mos kelmasligi va boshqalar tufayli ham paydo bo'ladi. Suyuqlik va gazning hajmini o'lchashda harorat o'zgarishi sababi ularning hajmiy kengayishini, massasini o'lchaganda o'lchanayotgan jismga, tarozi toshlariga havo tomonidan itarib chiqarish kuchi ta'sir qilishini va kalorimetrik o'lchashlarda asbobning tashqi muhit bilan issiqlik almashinishini hisobga olmaslik tufayli sistematik xatolikka yo'l qo'yiladi.

Ba'zi bir fizikaviy kattaliklar qiymatini jadvaldan olganda (zichlik, solishirma issiqlik sig'imi, elastiklik modulli va boshq.), ularni yaxitlaganda, shuningdek, formulaga kiruvchi ba'zi doimiyliklar (π , e – natural logarifmning asosi, g – erkin tushish tezlanishi va boshq.) ning taqribiy qiymatlarini olganda sistematik xatolikka yo'l qo'yiladi. Masalan, $\pi=3,14159265$ deb olish o'rni $\pi=3,1$; $\pi=3,142$ deb, suvning sindirish ko'rsatkichi uchun $n=1,333$ deb olish o'rni $n=1,3$; $n=1,33$ deb olsak ham biz har safar sistematik xatolikka yo'l qo'ygan bo'lamiz. Sistematik xatoliklar aniq sabablar tufayli yuz berib, uning kattaligi takroriy o'lchashlarda o'zgarmay qolishi yoki muayyan qonun bo'yicha o'zgarishi mumkin. O'lchash metodini o'zgartirib, asbobning ko'rsatishlariga tuzatishlar kiritib, sistemali ravishda ta'sir qiluvchi tashqi omillarni hisobga olish bilan bu xatolikni kamaytirish mumkin.

2. **Tasodifiy xatolik** – oldindan hisobga olinishi qiyin bo'lgan va har bir o'lchashga ta'siri har xil bo'lgan tasodifiy sabablarga ko'ra yuz beradigan xatoliklardir. Masalan, elektr o'lchashlarda elektr tarmoqdagi kuchlanishning o'zgarishi, plastinka qalinligini

o'lgandagi qalinlikning hamma joyda bir xil bo'lmisligi, o'lgashlarda asbob shkalasining yetarlicha yoritilmasligi, asboblarining stol ustida yaxshi joylashtirilmasligi, sezgi organlarining tabiiy notakomilligi oqibatida tasodifiy xatolikka yo'l qo'yamiz. Bu xatoliklar tufayli biror fizikaviy kattalikni bir necha marta o'lgashda har xil qiymat olinadi.

Ayrim o'lgashdagi tasodifiy xatolikni yo'qotib bo'lmisada, tasodifiy hodisalar to'g'risidagi matematik nazariyadan foydalanib, bu xatolikning o'lgash natijasiga ta'sirini kamaytirish va xatolik kattaligini hisoblash uchun ma'qulroq bo'lgan ifodani aniqlash mumkin. Tasodifiy xatolikni kamaytirish uchun aniqlanayotgan fizikaviy kattalikni bir marta emas, bir necha marta takroriy o'lgash kerak. Agar tasodifiy xatolik sistematik xatolikdan katta bo'lsa, tasodifiy xatolikni kamaytirish va uning asbob xatoligi bilan bir xil darajada bo'lishi uchun o'lgashlar sonini o'rtirish lozim.

Sistematik va tasodifiy xatoliklardan tashqari yana **qo'pol xatoliklar** ham bo'ladi. Qo'pol xatolik kuzatish va o'lgashlar noto'g'ri bajarilishi tufayli yuz beradi. Hisoblashda bunday natijalar hisobga olinmasligi kerak. Bu xatolik shkala bo'yicha beparvo hisob olishdan, natijalarni pala-partish yozishdan kelib chiqadi. Bunday qo'pol xatolikni yo'qotish uchun yozilganlarni qayta qarang chiqib, o'lgashlarni qayta bajarish kerak. Har qanday o'lgashda qo'pol xatolikni yo'qotishning birdan-bir yo'li — o'lgashni juda puxtalik va e'tibor bilan qayta bajarishdir.

Bevosita o'lgash natijalarining xatoligi

Fizik kattaliklarning o'rtacha qiymati, o'lgashning mutloq (absolyut) va nisbiy xatoliklari

O'lgash davomida o'lgash asbobi beradigan xatolikdan boshqa har xil sistematik xatoliklar va qo'pol xatoliklar yo'qotilgan deb faraz qilib, bevosita o'lgash xatoliklari nazariyasining asosiy qoidalarini qarang chiqamiz. Quyida keltiriladigan xatoliklar nazariyasida tasodifiy xatoliklar son qiymat jihatidan sistematik xatoliklardan katta deb faraz qilingan.

Biror fizikaviy kattalikning o'lgashlar natijasida topilgan $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ qiymatlari ichida haqiqiy qiymatga eng yaqini ushbu

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

ifodadan aniqlanadi, bu yerda n — o'lgashlar soni, $\langle x \rangle$ — fizik kattalikning o'rtacha qiymati.

1. O'lgash vaqtida topilgan qiymatlar bir-biridan farqli bo'lib, ularning o'rtacha qiymatdan farqi ayrim o'lgashning *mutloq (absolyut) xatoligi* deyiladi

$$\Delta x_i = |x - x_i|$$

Qaysi o'lgashning mutloq xatoligi kichik bo'lsa, shu o'lgash aniqroq bajarilgan deb hisoblanadi. O'rtacha qiymatdan katta farq qiluvchi qo'pol xatoliklar xatolikni hisoblash vaqtida tushirib qoldiriladi.

Agar n ta takroriy o'lgash natijasida $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$ mutloq xatoliklar yuz bergan bo'lsa, o'lgashlarning o'rtacha mutlaq xatoligi shu xatoliklar mutloq qiymatlarining o'rtacha arifmetik qiymatiga tengdir

$$\langle \Delta x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} \quad (2)$$

Tabiiyki, fizikaviy kattalikning haqiqiy qiymati topilgan o'rtacha qiymatdan $\pm \langle \Delta x \rangle$ qadar farq qiladi, ya'ni $x = \langle x \rangle \pm \langle \Delta x \rangle$.

2. Agar tajriba vaqtida bir qator fizikaviy kattaliklarni o'lgash zarur bo'lsa, ularning har biri uchun o'lgash xatoligini aniqlash kerak bo'ladi. Biroq har bir kattalikka oid mutloq (absolyut) xatolikni bilganimiz holda kattaliklar bir jinsli bo'lmaganligi sababli ularni o'zaro solishtirish mumkin emas. Bunday hollarda xatolikning nisbiy qiymati bilan ish ko'rish lozim. Biror kattalikning o'lgashlar natijasida topilgan o'rtacha qiymati $\langle x \rangle$, mutloq (absolyut) xatolikning o'rtacha qiymati $\langle \Delta x \rangle$ bo'lsa, nisbiy xatolik $\varepsilon = \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle}$ yoki foizlarda ifodalasak,

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle} \cdot 100\%$$

bo'ladi.

O'lgashlar soni n yetarlicha katta bo'lganda ayrim o'lgashlar mutloq (absolyut) xatoligining $\langle \Delta x \rangle$ o'rtacha mutloq (absolyut)

xatolikka ta'siri juda kichik bo'ladi. Shunday sharoit uchun $\langle \Delta x \rangle$ ning taqsimoti quyidagi qonun ko'rinishida ifodalanshi mumkin:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\langle x \rangle}} e^{-\frac{(\Delta x)^2}{2\sigma_{\langle x \rangle}^2}}, \quad (3)$$

$$\sigma_{\langle x \rangle}^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n (\langle x \rangle - x_i)^2}{n(n-1)} \quad \text{bundan,}$$

$$\sigma_{\langle x \rangle} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle x \rangle - x_i)^2}{n(n-1)}}; \quad (4)$$

$\sigma_{\langle x \rangle}$ -kattalik o'rtacha xatolik yoki o'rtacha arifmetik qiymatning o'rtacha kvadratik xatoligi deb ataladi.

Turti sabablarga ko'ra o'lchashlar sonini juda katta qilib ($n \geq 15$) olishning imkoniyati bo'lmaydi. O'lchashlar soni chekli bo'lganda ishonch intervalining chegaraviy qiymatini belgilovchi Gosset tomonidan 1908-yilda kiritilgan va Student koeffitsiyenti deb ataluvchi $t_{\alpha}(n)$ koeffitsiyent qo'llaniladi. Bu koeffitsiyentlar o'lchashlar soni va ishonchlik intervali bilan quyidagicha bog'langan

$$t_{\alpha}(n) = \frac{\Delta x}{S_{\langle x \rangle}} \quad (5)$$

bu yerda,

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle x \rangle - x_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (6)$$

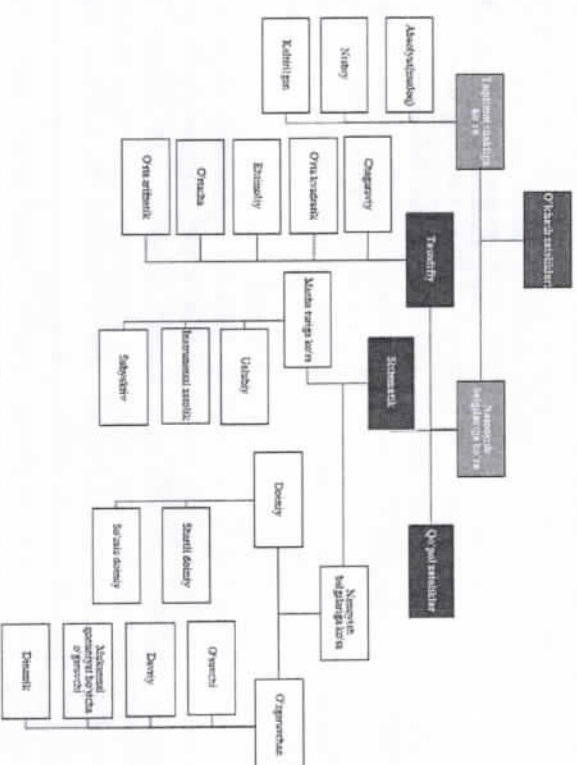
(6) kattalik n ta o'lchash uchun o'rtacha kvadratik xatolikdan iborat bo'lib, u taqriban $\sigma_{\langle x \rangle}$ ga teng. (5) va (6) lar asosida o'lchashlarning mutloq (absolyut) xatoligi uchun

$$\Delta x = t_{\alpha}(n) \cdot S_{\langle x \rangle} = t_{\alpha}(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle x \rangle - x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (7)$$

ifoda kelib chiqadi.

Fizikadan laboratoriya ishlarini bajarishda kuzatiladigan xatoliklar va ularning turlari haqidagi umumlashgan ma'lumotlar quyidagi 1-rasmdagi sxemada keltirilgan.

Atom va yadro fizikasi bo'yicha laboratoriya ishlarini bajarishda



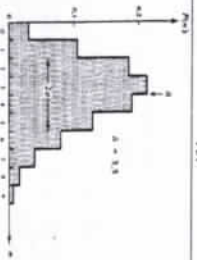
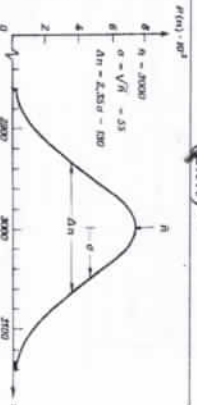
1-rasm. O'lchash xatoliklari va ularning klassifikatsiyasi.

tasodifiy jarayonlar bilan ish ko'riladi. Masalan, har biri mustaqil ravishda yemirilayotgan radioaktiv yadrolar to'plami yoki ssintilyatsion detektor fotoko'paytirgichi katodidan elektronlar hosil bo'lish jarayonlar bunga yaqqol misol bo'ladi. Bunday hollarda olingan natijalar matematik statistika usullari yordamida tahlil qilinishi kerak. Faraz qilaylik har bir tushayotgan foton fotokatodda n ta fotoelektron urib chiqarsin. Agar o'lchashlar soni N marta takrorlansa va har bir i -o'lchashda n_i elektron urib chiqarilsa o'rtaacha urib chiqarilgan elektronlar soni

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$$

Ifodadan aniqlanadi. Eksperimental natijalarni statistik tahlil qilishning maqsadi olinayotgan natijalar bu o'rtaacha qiymat atrofida qanday

taqsimlanishini aniqlashdan iborat. Bu holda ikkita holat mavjud: a) olingan o'rtacha qiymat kichik sondan iborat; b) urb chiqarilgan elektronlar soni ancha katta; Bunda birinchi holda n qiymatini kuzatishning ehtimoli $P(n)$ Puasson taqsimoti bilan ikkinchi holda esa normal yoki Gauss taqsimotiga bo'ysinadi. Qaralayotgan holatlar uchun taqsimot funksiyalari va grafiklari quyidagi 2-rasmda keltirilgan.

№	Kam sonli zarralar statistikasi	Ko'p sonli zarralar statistikasi
1	Taqsimot formulasi $P(n) = \frac{(\bar{n})^n}{n!} e^{-\bar{n}}$	Gauss taqsimoti $P(n) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^{1/2}} e^{-(\bar{n}-n)^2/2\bar{n}}$
2	Taqsimot grafigi 	
3	O'rtacha kvadratik xatolik $\sigma^2 = \sum_{n=0}^{\infty} (\bar{n} - n)^2 P(n); \sigma^2 = \bar{n}, \sigma = \sqrt{\bar{n}}$	
4	O'lchash natijasi $\bar{n} \pm \sigma$	

* Δn -taqsimot maksimumi yarmidagi to'la kenglik; ($\Delta n = 2,35\sigma$)

2-rasm. Eksperiment natijalarining statistik tahlili.

№ 1 Laboratoriya ishi: Stefan –Bolsman qonuni: Absolyut qora jism nurlanish intensivligining haroratga bog'liqligini o'lchash

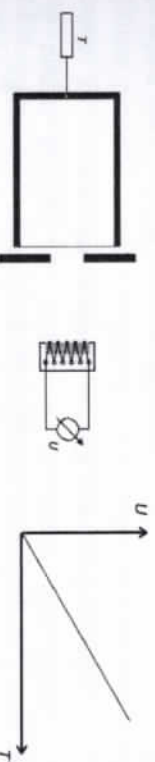
Ishtirakchi maqsad: Moll termoelementidan foydalanib, 300-750 K haroratlar intervalida "absolyut qora jism" sifatida qaralayotgan elektr pechdagi nurlanishning nisbiy intensivligini o'lchash. Stefan-Bolsman qonunini tekshirish uchun nurlanish intensivligining absolyut haroratga bog'liqligi grafigini tuzish.

Kerakli jihozlar: 220 V da ishlovchi elektr pechi, absolyut qora jism detallari, elektr pech jihozlari, bir tarafi ochiq kirishli raqamli termometr, NiCr-Ni harorat datchigi, moll termoelementi, mikrovoltnetr, kichik optik kursi.

Qo'shimcha tavsiya qilinadi: Immersion suyuqlikli nasos, silikon quvurlar.

Nazariy qism

Barcha qizdirilgan jismlar o'zidan issiqlik nurlantiradi. Bu issiqlik elektromagnit nurlanishning intensivligi harorat ortishi bilan ortadi hamda shu jismlar sirtiga ham bog'liq. Berilgan to'liq uzunligida jism nurri qanchalik yaxshiroq yutsa, shunchalik ko'proq issiqlik nurlantiradi. Barcha to'liq uzunlikdagi issiqlik nurlanishini yutuvchi jism *absolyut qora jism* deb ataladi. Aynan *Kirxgoff* birinchi bo'lib, berk bo'shliqdan virtual absolyut qora jism sifatida foydalanishni taklif qilgan. Absolyut qora jism eng katta yutish koefitsiyentiga ega va shu bilan, berilgan haroratda va to'liq uzunlikda maksimal mumkin bo'lgan nurlanishga ham ega.



Stefan-Bolsman qonuni absolyut qora jismlar umumiy chiqarayotgan nurlanishi T absolyut haroratining to'rtinchi darajasiga proporsional ekanligini tasdiqlaydi. Yanada aniqroq ifodalasak nurlanish manbasining nurlanuvchanligi ϵ , ya'ni sirtning bir tomonidagi nurlanishning umumiy quvvati nurlanayotgan sirt sohasiga nisbatan quyidagicha aniqlanadi:

$$\epsilon = \sigma \cdot T^4; \quad (1)$$

$$(\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{V}{m^2}\right) K^4 \text{ Stefan-Boltsman doimiyisi})$$

Shu bilan bir vaqtda absolyut qora jisim atrofi muhitdan nur ham yutadi. Shunday qilib biz umumiy nurlanuvchanlik — ϵ ni emas, aniqrog'i absolyut qora jisim nurlanishidan olingan ϵ' nurlanish manbasining nurlanuvchanligini o'lishimiz. Atrof muhitdan yutilgan nurlanishning nurlanuvchanligi quyidagiga teng:

$$\epsilon_0 = \sigma \cdot T_0^4; \quad (2)$$

Shuning uchun, quyidagini yozish mumkin:

$$\epsilon' = \sigma(T^4 - T_0^4); \quad (3)$$

Mazkur tajribada "absolyut qora jisim" sifatida elektr pechdan foydalaniladi. Absolyut qora jisim detallari jilvirlangan (silliqlangan) mis silindr va ekrandan iborat. Bir uchi izolyasiya qilingan mis silindr, elektr pechga kiritiladi va talab qilingan haroratgacha qizdiriladi. Zarur bo'lganda suv bilan sovutiladigan ekran elektr pechning oldiga shunday o'rnatilganki, qaynoq pechning tashqi devorlarining nurlanishini emas, faqat jilvirlangan (silliqlangan) silindrning issiqlik nurlanishini o'lish mumkin. Harorat datchigi NiCr-Ni mis silindrdagi haroratni o'lish uchun qo'llaniladi. Issiqlik nurlanishi mikrovolmetrga ulangan Moll termoelementidan foydalanib o'linadi. Termoelement ulangan termoparalar seriyasidan tashkil topgan. O'linayotgan nuqtalar tushayotgan nuri to'liq yutadi, qiyoslash nuqtalari esa atrof muhiti haroratida bo'ladi. Biz shunday qilib, termoelektrik batareyalarning chiqish kuchlanishini nurlanish manbasining M' -nisbiy nurlanuvchanligi o'lishi sifatida olishimiz mumkin.

Tajriba qurilmasi haqida qisqacha izohlar:

- O'linayotgan intensivlik juda past va shuning uchun u atrofdagi jismlardan nurlanish interferensiyalariga nihoyatda sezgir;
- O'lish vaqtda termoelektrik batareyalarga aslo qo'l tegizilmang.
- Termoelektrik batareyalarga yaqin joyda, ayniqsa ular oldida ishlamang.
- Tajriba davomida xona haroratining o'zgarishidan xoli bo'ling.
- Boshqa nurlanish manbalarning aralashishiga yo'l qo'ymang; zarur bo'lsa, harorat datchigi (yig'ma) ni karton qog'oz bilan ekranlashtiring.

- Zarur bo'lsa, xonani qorong'ulashitiring.

Texnika xavfsizligi bo'yicha ko'rsatmalar

- Ushbu laboratoriya ishida kuyib qolish xavfi bor: elektr pechi tashqi devorining harorati 200 °C dan ortiq bo'lishi mumkin.

- Qaynoq elektr pechda terining kuyib qolishidan saqlanang.

- Elektr pechini faqat jihozlar bilan boshqaring.

- Elektr pechdan foydalanish bo'yicha yo'rliqnomalarni batafsil o'qib chiqing va yo'rliqnomaga to'liq rioya qiling.

Immersion nasos dvigateli ichiga sizib kirgan suv qisqa tutashuvni keltirib chiqarishi mumkin.

- Botirish chuqurligini 17 sm dan oshirmang.

- Ishlatib bo'lingan ho'l immersion nasosni kallagi bilan qo'ymang.

Immersion nasosdan foydalanish bo'yicha yo'rliqnomalarni batafsil o'qib chiqing va yo'rliqnomaga to'liq rioya qiling.

- Termoelektr batareya jisimidan bevosita issiqlik nurlanishi, nurlanishning akslantiruvchi yuzalardan qaytishi (masalan: oqish rangli kiyim), issiqlik uzatgichlar, quyosh nuri va boshqa yorug'lik manbalari hisobiga *interferension nurlanish* kelib chiqishi mumkin.

Tajribani boshlashdan oldin, mikrovolmetrning 10 minut davomida qizishiga imkon bering.

Qurilmaning orqa qismida joylashgan asosiy kalit yordamida mikrovolmetrni elektr tarmog'iga ulang.

Suv bilan sovutishdan foydalanilganda:

- Silikon quvurni immersion nasosga va ekranga shunday biriktiringki, ekranga suvning oqib kelishi pastki naydan, chiqishi esa ekraning asosiy nayi orqali bo'lsin.

- Idishni suv bilan to'ldiring va immersion nasosni suvi idishning gardishiga montaj qisqichdan foydalanib shunday mahkamlangki, kirish teshigi to'liq suvga botsin va maksimal botish chuqurligi 17 sm dan ortiq bo'lmasin (1.2-rasmga qarang; boshqa imkon bor montaj uchun foydalanish bo'yicha yo'rliqnomaga murojaat qiling)

Shundan so'ng:

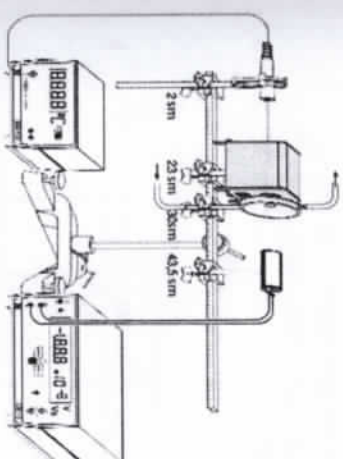
- Elektr pechini, absolyut qora jisim komplekti ekranini va termoelektrik batareyani 1.1-rasmida keltirilganidek shunday o'rnatginki,

termoelektrik batareyaning sterjeni elektr pechning ochiq tarafi oldidan taxminan 15 sm da joylashsin.

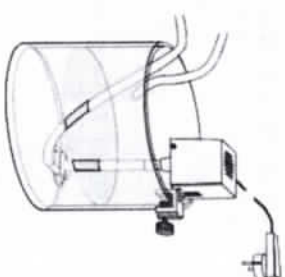
Absolyut qora jism komplekti ekranini metall tarafi bilan termoelektrik batareyaga qaratilgan holda elektr pechning oldida taxminan 5-10 mm da joylashtiring.

Izoh: Shisha tuyuk qisqa to'liq uzunlikli nurlanishga ko'ra uzun to'liq uzunlikli nurlanishni ko'proq yutadi va shuning uchun nurlanish intensivligining haroratga bog'liqligi o'lchashlarini sistematik tarzda soxtalashiradi.

- Termoelektr batareyaning shisha tuyugini olib tashlang.
- Harorat datchigini NiCr-Ni raqamli termometr bilan ulang va uni jilvirlangan (silliqlangan) mis silindrning markazidagi teshikka iloji boricha chuqurroq joylashtiring.
- Harorat datchigini universal qichqich(S) bilan montaj qiling va raqamli termometrni ulang (o'lchash diapazoni $> 200^{\circ}\text{C}$).
- Elektr pechning ochiq tarafini, absolyut qora jism komplekti ekranini va termoelektrik batareyani shunday to'g'ri rangki, issiqlik nuri bevosita ochiq termoelektrik batareyaga tushsin.
- Suvi bilan sovuqishdan foydalanilganda, immersion nasosini qo'llang.
- Termoelektr batareyani mikrovoltnetr bilan (1.1-rasmda keltirilganidek) ulang (o'lchash diapazoni 10^{-4}V); termoelektr batareyadagi qizil klemma mikrovoltnetrdagi qizil klemma bilan ulanganiga ishonch hosil qiling.
- Siljishni "avto kompensasiya" tugmasini bosish orqali kompensasiyalang; zarur bo'lsa, raqamli displeyni nolga keltirish uchun potensiometr yordamida aniq sozlashni bajaring (mikrovoltnetr uchun yo'riqnomaga qarang).



1.1-rasm: Stefan-Bolsmannning issiqlikdan nurlanish qonunini o'rganish uchun tajriba qurilmasi.



1.2-rasm: Suvli idishga immersion nasosni o'rnatish namunasi.

Ishni bajarish tartibi

1. Mis silindrning harorati (t) ni va termoelektrik batareyaning boshlang'ich chiqish kuchlanishi (U) ni o'lchang va bu qiymatlarni o'z tajriba daftaringizga yozib oling.
2. Elektr pechini ulang va harorat har 25°C ga oshganda, t va U ning qiymatlarini o'lchang va ularni o'z tajriba daftaringizga yozib oling. Harorat 400°C va 500°C oralig'i darajasiga erishganda:
3. Elektr pechini uzing; va harorat har bir 25°C ga pasayganda, t va U ning qiymatlarini o'z tajriba daftaringizga yozib boring.
4. Harorat 100°C bilan xona harorati oralig'igacha pasayganda, elektr pechdan harorat datchigini oling, xona haroratini o'lchang va bu qiymatni o'z tajriba daftaringizga yozib oling.
5. Termoelektr batareyani qoramitir karton bilan ekranlashtiring, voltnetrning nol ko'rsatishini tekshiring va bu qiymatni o'z tajriba jadvalingizga yozib oling.

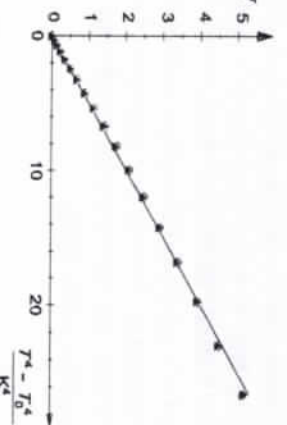
O'lash namunalari

1-jadval. Qizish va sovushidagi o'changan qiymatlar.

t (°C)	T (K)	$T^4 - T_0^4$ (K ⁴)	U_{η} (mV)	U_{θ} (mV)
24	297	0	0	0
50	323	0,31	0,06	0,06
75	348	0,69	0,13	0,14
100	373	1,16	0,23	0,24
125	398	1,73	0,35	0,36
150	423	2,42	0,51	0,52
175	448	3,25	0,7	0,67
200	473	4,23	0,92	0,89
225	498	5,37	1,15	1,13
250	523	6,7	1,43	1,41
275	548	8,24	1,74	1,72
300	573	10	2,11	2,07
325	598	12,01	2,51	2,46
350	623	14,29	2,93	2,89
375	648	16,85	3,41	3,38
400	673	19,74	3,94	3,92
425	698	22,96	4,52	4,5
450	698	26,55	5,15	5,16

Doiralarda qizishdagi, U uchburchaklar esa sovushidagi o'changan qiymatlarga mos keladi.

1.3-rasmda termoelektrik batareyani U chiqish kuchlanishining pechning to'rtinchi darajali absolyut harorati T bilan to'rtinchi darajali absolyut xona harorati T_0 orasidagi farqning funksiyasi sifatidagi bog'lanishi keltirilgan. Bu



1.3-rasm: U chiqish kuchlanishining $T^4 - T_0^4$ funksiyasi sifatidagi grafi.

munosabat *Stefan-Bolsman qonuni* boshorat qilganidek, taxminan

to'g'ri chiziqqa yaqin. Agar, egrilik sinchkovlik bilan o'rganilsa, yaxshi mos kelgan to'g'ri chiziqdan bir oz chetlanishni kuzatishimiz mumkin. Buning sababi quyidagi effektlarning natijasidir: termoelektr batareya bilan o'lchashlarga konveksiya va muhida nurlanish yo'qotishlari, ayniqsa shisha tuyuk olib tashlanganda, ta'sir qiladi. Bundan tashqari biz pech harorati ortganda, termoelektr batareya qiyoslash punktlarida issiqlikning ortib borishini to'liq bartaraf eta olmaymiz.

Nazorat savollari

1. Jismining nurlanish qobiliyati va va nur yutish qobiliyati deb nimaga aytiladi?
2. Absolyut qora jismining nurlanish qonunlarini aytib bering.
3. Nurlanishning yana qanday turlarini bilasiz?
4. Pirometrning tuzilishi va uning elektr hamda optik sxemasini chizib bering. Pirometrning yana qanday turlarini bilasiz?
5. Ravshanlik harorati deb qanday haroratga aytiladi?

Nº 2 Laboratoriya ishi: Plank doimiysini aniqlash

Ishning maqsadi: Plank doimiysining qiymatini eksperimental baholash usullaridan biri bilan tanishish, talabalarda fizik tajribalar o'tkazish malaka va ko'nikmalarni shakllantirish.

Kerakli jihozlar: Yarim o'tkazgichli yorug'lik diodi, tok manbai, voltmeter, reostat va ulovchi simlar.

Nazariy qism

Yorug'lik diodi (LED) ning ishlash prinsipi elektr energiyasini elektromagnit nurlanishga aylantirishga asoslangan bo'lib, uning spektri spektrining ko'rinadigan (optik) yoki infraqizil sohasida bo'lishi mumkin. Yorug'lik diodi (LED) ning tuzilishi elektron-teshikli o'tishdan iborat bo'lib, undagi sohalaridan biri masalan n – emitter, boshqasi p — soha bazadir. Bazaga yarim o'tkazgichda qo'shimcha erkin zaryadlarni hosil qilmaydigan lekin yorug'lik hosil bo'lishiga olib keladigan maxsus aralashma qo'shildi. p-n o'tishga to'g'ri qubli kuchlanish berilganda elektronlarning emitterdan bazaga o'tishi boshlanadi. Ayni shu vaqtda teshiklarning bazadan emitterga o'tishi boshlanadi. Zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi bazada ham, emitterda ham ro'y beradi, lekin bazada unga kelgan elektronlar energiyasining nurlanish energiyasiga aylanishi kuzatiladi. Kvant nazariyasiga ko'ra, baza sohasiga o'tgan elektron teshik bilan rekombinatsiyalanish jarayonida nurlanish energiyasining kvantini chiqaradi. Bunda hosil bo'lgan yorug'lik kvantining energiyasi ($h\nu$) taqirlangan energetik zonasi kengligiga (valent va erkin energetik zonalar energiya farqi) ga teng. Rekombinatsiya jarayonida elektron beradigan energiya (E_{el}) ni p-n o'tishda oladi. Bu energiyaning qiymati elektron zaryadi (e) ni yorug'lik diodi(LED) p-n o'tishiga qo'yilgan to'g'ri kuchlanish qiymati (U_d) ko'paytmasi bilan aniqlanadi:

$$E_{el} = eU_d.$$

$$h\nu = E_{el}, \text{ ekanligida } h\nu = eU_d$$

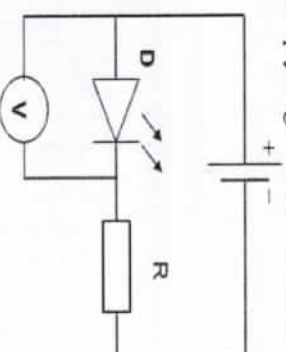
Bu ifodadan Plank doimiysini aniqlash ishchi formulasi kelib chiqadi.

$$h = eU_d / \nu \quad (1)$$

(1) formuladan ko'rinadiki Plank doimiysini aniqlash uchun elektron zaryadi (e) ni bilgan holda, yorug'lik diodiga qo'yilgan kuchlanish (U_d) ni hamda yorug'lik diodi (LED) nurlanish chastotasi (ν) ni o'lchash kerak bo'ladi.

Tajriba qurilmasi

Plank doimiysini yorug'lik diodi orqali aniqlash eksperimental qurilmasining sxemasi quyidagi 2.1-rasmida keltirilgan.



2.1-rasm. Laboratoriya qurilmasining tuzilish sxemasi.

Ishni bajarish tartibi

1. Tavsiya etilgan sxemada yorug'lik diodi (LED) ni tok manbaiga tok o'tadigan yo'nalishda to'g'ri ulang. Sxemaga qarshiligi $R = 10\Omega$ bo'lgan rezistor, kuchlanishi 9 V li tok manbai va raqamli voltmeter yoki multimetrdan foydalaning.
2. Yorug'lik diodining to'g'ri kuchlanishini o'lchang.
3. Yorug'lik diodi nurlanish chastotasi(ν)ni davri 1mm da 100 da shtrix bo'lgan difraksiyon panjara yordamida aniqlang (optika bo'limida difraksiyon panjara yordamida yorug'lik chastotasini aniqlash bo'yicha laboratoriya ishini takroran o'rganing).
4. Difraksiyon panjaradan ekrangacha bo'lgan masofa (L), shkala markazidan k-tartibli difraksiyon maksimumigacha bo'lgan masofa (x_k) va difraksiyon panjara doimiysi (d) belgilasak yorug'lik diodi chastotasi(ν)ni quyidagi formuladan aniqlaymiz. $\nu = \frac{kc}{\lambda \cdot d}$ bu yerda c - yorug'likning vakuumdagi tezligi.
5. Tajribani sxema elementlarining turli parametrlarida yoki yorug'lik diodi nurlanish chastotasini aniqlashda tajriba parametrlarini (difraksiyon panjara davrini, difraksiyon panjaradan shkalagacha bo'lgan masofani) o'zgartirish bilan kamida uch marta takrorlang.
6. Kerakli o'lchashlar bajarilgandan so'ng, yorug'lik diodi nurlanish chastotasining o'racha qiymati $\nu_{\text{eksp,orta}}$ uchun (1)

formuladan foydalanib Plank doimiysini aniqlang. $h_{\text{eksp, o'rtta}} = eU_d / v_{\text{eksp, o'rtta}}$

7. Olingan qiymatni jadval qiymati (h_{naz}) bilan taqqoslang va o'lchashlarning nisbiy xatosini ε ni aniqlang:

$$8. \varepsilon = \frac{|h_{\text{eksp}} - h_{\text{naz}}|}{h_{\text{naz}}} \cdot 100\%, \text{ bu yerda } h_{\text{eksp}} \text{ va } h_{\text{naz}} \text{ navbati bilan,}$$

tajriba davomida va jadvaldan olingan Plank doimiysining qiymatlari.

No	$U_m(V)$	$R(\Omega)$	$U_d(V)$	$h_{\text{eksp}}(U \cdot s)$	$h_{\text{naz}}(U \cdot s)$	$h_{\text{eksp o'rtta}}(U \cdot s)$	$\varepsilon \%$
1							
2							
3							

9. Ish bo'yicha xulosa va hisobot yozing.

Nazorat savollari

1. Plank doimiysining fizik mohiyatini tushuntiring.
2. Yorug'lik diodining tuzilishi va ishlash prinsipi tushuntiring.
3. Tajriba qurilmasining sxemasi hamda unga kiruvchi elementlarning funksiyalarini tushuntiring.
4. Yorug'lik diodi nurlanish chastotasini aniqlash bo'yicha tajriba sxemasini chizing va tushuntiring.
5. Tajribani o'zgaruvchan tok manbai bilan o'tkazish mumkinmi?
6. Yorug'lik diodi teskari ulangan holda tajribani o'tkazish mumkinmi? Fizikaviy jarayonini tushuntirib bering.
7. Plank doimiysini aniqlashning qanday usullarini bilasiz?
8. Yorug'lik nuri chastotasini aniqlashning qanday usullarini bilasiz?

№ 3 Laboratoriya ishi: Ravshanlik pirometri yordamida nurlanayotgan jismlarning haqiqiy temperaturasini aniqlash

Ishning maqsadi: Harorati nurlanish hodisasiga asoslangan optik pirometrlarning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishish, uning yordamida absolyut haroratni aniqlash.

Kerakli jihozlar: Optik pirometr, nurlanayotgan jism, tok manbai, kalit, reostat.

Nazariy qism

Modda atomlari va molekularining issiqlik harakati tufayli yuzaga keladigan elektromagnit nurlanish issiqlik nurlanishi deb ataladi.

Barcha qizdirilgan qattiq va suyuq moddalarning issiqlik nurlanishi tutash spektrni beradi. Spekrda energiya taqsimoti haroratga bog'liq bo'lib, past haroratlarda issiqlik nurlanishi asosan infraqizil nurlanishdan, yuqori haroratlarda esa ko'zga ko'rinadigan va ultrabinafsa nurlanishdan iboratdir.

Agar biror jism o'z atrofidagi jismlardan chiqqan nurlarni yoki issiqlikni yutish yo'li bilan o'zining nurlanish energiyasini tiklaydigan bo'lsa, unda nurlanish jarayoni muvozanat tarzda o'tadi. Shu vaqtda nurlanuvchi jism holatini aniq bir o'zgarmas T harorat bilan xarakterlash mumkin. Shuning uchun issiqlik nurlanishini *muvozanatli nurlanish* deb ham yuritiladi. Issiqlik nurlanishi muvozanatli jarayon bo'lgani uchun termodinamika prinsiplaridan kelib chiqadigan ba'zi umumiy qonunlarga bo'ysunadi. Bu qonunlar bilan qisqacha tanishib chiqamiz.

1. *Kirxgoff qonuni.* Bu qonunni ta'riflashdan oldin quyidagi ikki tushuncha bilan tanishib chiqamiz. Nur chiqarish va nur yutish jarayonlarini kattalik jihatdan baholash uchun jismlarning nur chiqarish va nur yutish qobiliyati degan tushunchalar kiritiladi. Nurlanayotgan jism sirtining birlik yuzidan birlik vaqtda nurlanadigan yorug'lik energiyasi jismlarning to'la (integral) nurlanish qobiliyati R_E yoki energetik yorituvchanligi deb ataladi. Jismda yutilgan yorug'lik energiyasining shu jismga tushayotgan yorug'lik oqimiga nisbati bilan o'lchanadigan A_E kattalik jismlarning to'la (integral) nur yutish qobiliyati deb ataladi. R_E va A_E ning qiymatlari jismlarning tabiatiga va haroratiga bog'liq. Tajribalarning ko'rsatishicha, jismlarning chiqargan hamda

yutgan yorug'lik energiyasi turli xil to'liqin uzunliklari uchun turlicha taqsimlanadi. Shuning uchun ham jismining $\gamma_{\lambda T}$ spektral nurlanish va $a_{\lambda T}$ spektral nur yutish qobiliyati degan tushuncha kiritiladi. Jismining spektral nur chiqarish (nur yutish) qobiliyati deb to'liqin uzunliklarining $\lambda - \frac{\Delta\lambda}{2}$ dan $\lambda + \frac{\Delta\lambda}{2}$ gacha bo'lgan qisqa $\Delta\lambda$ intervalidagi nur chiqarish (nur yutish) qobiliyatiga aytiladi. Barcha real jismlarning nur yutish qobiliyatlari birdan kichik. Sirtiga tushayotgan hamma yorug'lik energiyasini istalgan haroratda to'liq yuta oladigan jisim absolyut qora jisim deb ataladi. Absolyut qora jismlar uchun $a_{\lambda T} = 1$. Kirxgoff qonunini yuqorida keltirilgan tushunchalarga asosan quyidagicha ta'riflash mumkin. Jismlarning nurlanish qobiliyatining nur yutish qobiliyatiga nisbati ularning tabiatiga bog'liq bo'lmay, barcha jismlar uchun o'zgarmas kattalikdir va u to'liqin uzunligi hamda haroratning birday (universal) funksiyasi hisoblanadi, ya'ni:

$$\gamma_{\lambda T}/a_{\lambda T} = f(\lambda, T) \quad (1)$$

Absolyut qora jisim uchun $a_{\lambda T} = 1$ ekanligini nazarda tutsak, (1) formuladan $\gamma_{\lambda T}$ ning $f(\lambda, T)$ ga tengligi kelib chiqadi. Demak, Kirxgoffning $f(\lambda, T)$ universal fuksiyasi absolyut qora jismining nurlanish qobiliyatining o'zinasidir.

2. *Stefan — Bolsman qonuni.* Absolyut qora jismining R_e to'la nurlanish qobiliyati uning absolyut haroratning to'rtinchi darajasiga to'g'ri proporsionaldir:

$$R_e = \sigma T^4 \quad (2)$$

bu yerda, σ — Stefan — Bolsman doimiyisi bo'lib, uning qiymati $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot K^4$ ga teng.

3. *Vinning siljish qonuni.* Absolyut qora jisim nurlanish spektrining maksimum qiymatiga to'g'ri kelgan λ_{max} to'liqin uzunligi jisim absolyut haroratning o'rtacha borishi bilan unga teskari proporsional holda qisqa to'liqlar sohasi tomon siljib boradi, ya'ni:

$$\lambda_{max} = b/T \quad (3)$$

bu yerda, b — Vin doimiyisi deb ataladi, uning qiymati $b = 0,28979 \cdot 10^{-2} m \cdot K$.

4. *Plank formulasi.* Absolyut qora jismining spektral nurlanish qobiliyati

$$\gamma_{\lambda T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (4)$$

formula yordamida aniqlanadi. Bunda λ — nurlanish to'liqin uzunligi, c — yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi, k — Bolsman doimiyisi, h — Plank doimiyisi, T — absolyut harorat. (4) formulani nurlanishning barcha to'liqin uzunliklari bo'yicha integrallansa, absolyut qora jismining integral nurlanish qobiliyati (yoki energetik yorituvchanligi) kelib chiqadi, ya'ni

$$R_e = \int_0^\lambda \gamma_{\lambda T} d\lambda = \int_0^\lambda \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (5)$$

Integrallash natijasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R_e = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \cdot T^4 \quad (6)$$

(6) ifodani (2) Stefan — Bolsman qonuni bilan taqqoslash natijasida Stefan — Bolsman doimiyisi $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$ kelib chiqadi, bundan Plank

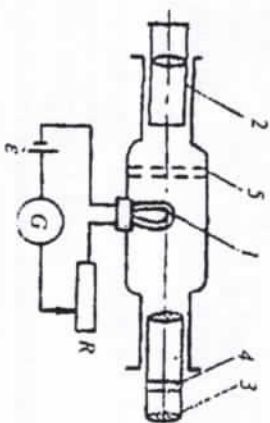
doimiyisini $h = \sqrt{\frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 \sigma}}$ ni topish mumkin.

Qizdirilgan jismlarning haroratini ularning nurlanish spektridan foydalanib aniqlash mumkin. Haroratni bunday aniqlash usuli *optik pirometriya*, tegishli asboblarga ega *optik pirometrlar* deb ataladi.

Haroratni aniqlashning keng tarqalgan usuli nurlanuvchi jisim spektrining ma'lum bir $\Delta\lambda$, to'liqin uzunligi intervalidagi nurlanishini absolyut qora jisim spektrining o'sha intervaldagi nurlanishi bilan taqqoslashga asoslangan. Odatda, spektrning $\lambda = 0,66 \mu$ atrofida yotuvchi qizil qismidan foydalaniladi. Haroratni bunday usulda aniqlashda yo'qolib boruvchi to'la pirometr deb ataluvchi ravshanlik pirometridan foydalaniladi.

Pirometrning sxemasi 3.1-rasmda ko'rsatilgan.

Bunda 1-lampaning yarim aylana shaklidagi to'lasi asbob o'qiga tik bo'lgan tekislikda yotadi.



3.1 — rasm. Optik pirometrning ichki tuzilishi.

monoxromatik nurri o'tkazadi.

Pirometr okulyaridan qarab, uning R reostat yordamida tola ravshanligi nurlanayotgan jism ravshanligi bilan bir xil bo'lguncha o'zgartirib boriladi. Tolaning ravshanligi nurlanayotgan jism ravshanligiga tenglashganda tola nurlanish fonida sezilmay qoladi, ya'ni «yo'qoladi». Asbob absolyut qora jism haroratiga nisbatan darajalangan bo'lib, Gegalvanometr shkalasi bo'limlarining to'g'risiga haroratning tegishli qiymatlari °C larda ko'rsatilgan bo'ladi.

Agar kuzatilayotgan jism absolyut qora bo'lsa, aniqlangan harorat uning T haqiqiy harorati bo'ladi. Absolyut qora bo'lmagan jismlar uchun bu usulda aniqlangan T_{rav} harorat ravshanlik harorati deb ataladi. Bu ikkala harorat orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun energetik ravshanlik deb ataladigan B_E kattalik kiritiladi. Φ -yorug'lik oqimi, R - yorituvchanlik va B -ravshanlik kabi fotometrik kattaliklar orasidagi bog'lanish Φ_E — energiya oqimi, R_E -energetik yorituvchanlik va B_E -energetik ravshanlik kabi energetik kattaliklar uchun ham o'rinni bo'ladi. Shuning uchun

$$R_E = \pi B_E \quad (8)$$

deb yozish mumkin. U holda (2) ni nazarda tutib, absolyut qora jismining B_E^* energetik ravshanligi uchun

$$B_E^* = \frac{\sigma}{\pi} T^4 \quad (9)$$

ifodani hosil qilamiz. Energetik ravshanlik ham to'liq uzunligi bilan haroratning funksiyasidir. Absolyut qora bo'lmagan jismlar uchun pirometr absolyut qora jismining λ to'liq uzunligiga to'g'ri kelgan $B_E^*(\lambda, T_{rav})$ ravshanligi tekshirilayotgan jismining T haqiqiy haroratidagi $B_E(\lambda, T)$ ravshanligiga teng, ya'ni

$$B_E^*(\lambda, T_{rav}) = B_E(\lambda, T) \quad (10)$$

bo'lgan vaqtdagi T_a harorati ko'rsatadi. (9) munosabat har bir spektral tashkil etuvchi uchun o'rinni. Shuning uchun (8) ni har bir spektral tashkil etuvchi uchun quyidagi $B_E(\lambda, T) = \frac{1}{\pi} r_{\lambda T}$ ko'rinishda yoza olamiz. Bu ifodani Kirxgof qonuniga asosan

$$B_E(\lambda, T) = \frac{1}{\pi} a_{\lambda T} \cdot f(\lambda, T) \quad (11)$$

ko'rinishda yozish mumkin, bunda $a_{\lambda T}$ — nurlanuvchi jismining nur yutish qobiliyati. Absolyut qora jism uchun $a_{\lambda T} = 1$ ekanini nazarda tutsak,

$$B_E^*(\lambda, T_{rav}) = \frac{1}{\pi} \cdot f(\lambda, T_{rav}) \quad (12)$$

bo'ladi. (10), (11) va (12) formulalardan

$$a_{\lambda T} = \frac{f(\lambda, T_{rav})}{f(\lambda, T)} \quad (13)$$

ekani keltirib chiqadi, bu ifodadagi $a_{\lambda T}$ — tekshirilayotgan jismining λ to'liq uzunligini o'tkazadigan yorug'lik filtri uchun T haqiqiy haroratdagi yutish qobiliyatini bildiradi. (4) Plank formulasiga asosan (13) ifodani $f(\lambda, T) = r_{\lambda T}$ absolyut qora jismining spektral nurlanish qobiliyati ekanligini nazarda tutgan holda quyidagicha yozish mumkin:

$$a_{\lambda T} = \frac{e^{\frac{hc}{\lambda k T_{rav}}} - 1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1}$$

Bu ifodada $e^{\frac{hc}{\lambda k T}}$ kattalik $\lambda = 0,66 \mu$, $T \approx T_{rav} \approx 3000 K$ da birdan ancha katta bo'lganligi uchun birni nazarga olmasak ham bo'ladi. U holda

$$a_{\lambda T} = e^{\frac{hc}{\lambda k T} - \frac{1}{T_{rav}}}$$

bo'ladi, bunda logarifmlash natijasida T haqiqiy harorat uchun

$$T = \frac{c_1 \cdot T_{rav}}{\ln a_{\lambda T} + c_1} \quad (14)$$

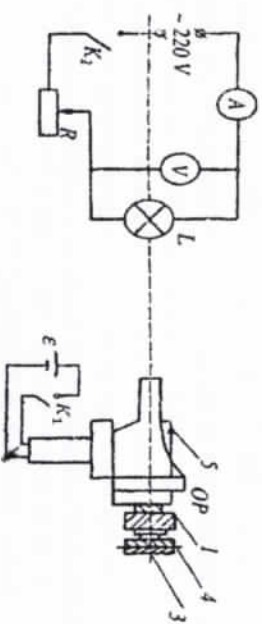
munosabatga ega bo'lamiz, bu ifodada $c_1 = 1,432 \cdot 10^{-2} mK$, $a_{\lambda T}$ — kattalikning qiymati jadvallarda beriladi. Masalan, volfram uchun 900°C dan 2000°C gacha bo'lgan harorat oralig'ida $a_{\lambda T} = 0,43$.

Pirometr yordamida T_{rav} ni o'lchab, (14) formuladan nurlanayotgan jismining T haqiqiy haroratini hisoblash mumkin. Pirometrdagi haroratning ikkita shkalasi bo'lib, bittasi 700÷1400°C oralig'idagi, ikkinchisi esa 1200÷2000°C oralig'idagi haroratlarni o'lchash uchun mo'ljallangan. Pirometr lampasi tolasining harorati 1500°C dan oshmasligi kerak. Shuning uchun ikkinchi shkaladan foydalanilganda 2 obyektiv bilan 1-tola (3.1-rasm) orasiga 5 xiralovchi filtri kiritiladi.

Ishni bajarish tartibi:

1. 3.2-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha zanjir tuzing.
2. OP pirometri L elektr cho'g'lanma lampadan 1 m masofaga o'rnatib va pirometr obyektivini lampaga tolasiga to'g'irlang.

3. Piroметр reostatining 1 buralma halqasidagi oq rangli nol belgisini uning qobig'idagi xuddi shunday belgi qarshisiga qo'ying (3.3-rasm), bu holda pirometrning strekasi shaklaning nol belgisi qarshisiga kelishi kerak.



3.2 – rasm. Qurilmaning sxemasi.

4. K_1 kalitni ulang va piroметр lampasi tolasining harorati taxminan 1200°C bo'lganga qadar 1 halqani soat mili yo'nalishi bo'yicha burang. Harorat qiymatini 6 shkaladan (3.3-rasm) yozib oling.

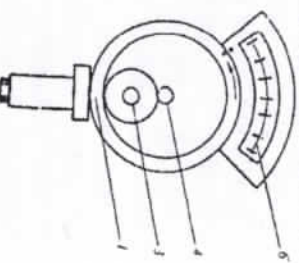
5. 3 okulyarni asbobning optik o'qi bo'yicha surish bilan piroметр lampasi tolasining aniq ko'rinishiga erishing, so'ng K_1 kalitni uzing.

6. 4 kallak yordamida ko'rinish maydoniga qizil rangli filtr kiriting.

7. 5 kallakning «20» deb yozilgan indeksidan chorak aylana burab xiralovchi filtni chetlashiring.

8. K_2 kalit yordamida L cho'g'lanna lampani manbaga ulang.

9. K_1 kalitni ulang va halqani piroметр (3.2-rasm) lampasi tolasining o'rta qismining ravshanligi L cho'g'lanna lampasi tolasining ravshanligi bilan bir xil bo'lguncha asta-sekin burang. 6 — shkaladan (3.3-rasm) haroratni yozib oling.



3.3 – rasm. Optik ko'paytirish yoki kamaytirish yo'li bilan L cho'g'lanna lampasi tolasining haroratini uch pirometrni darajalash.

10. Piroметр lampasining ravshanligini bir oz ko'paytirish yoki kamaytirish yo'li bilan L cho'g'lanna lampasi tolasining haroratini uch marta o'ichab, o'rta qiymatini oling.

11. R reostat yordamida L lampaga turli kuchlanishlar berib, tokning turli qiymatlari uchun lampaga tolasi haroratini aniqlang.

12. L cho'g'lanna lampasi tolasining harorati 1400°C dan yuqori bo'lganda o'ichashni xiralovchi 5 filtr (3.1-rasm) kiritilgan holda

buqaring. Xiralovchi filtni kiritish uchun 5 kallakdagi (3.2-rasm) nuqtani «20» indeksning to'g'risiga qo'ying.

13. (14) formuladan foydalanib cho'g'lanna lampasi tolasining haqiqiy haroratini hisoblab toping.

No	$T_{\text{rav}}(K)$	C_1	$\lambda(\text{nm})$	$a_{\lambda T}$	$T(K)$	$T_{\text{ort}}(K)$	$\epsilon(\%)$
1							
2							
3							

14. Harorat bilan tokning bog'lanish grafigini chizing.

Mustaqil o'rganish uchun topshiriq

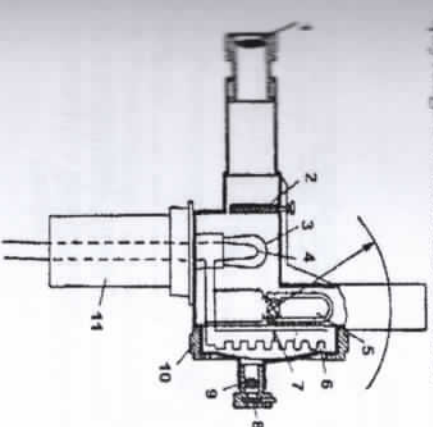
Zamonaviy optik pirometrlarning tuzilishi va ishlash prinsipini o'rganish:

Pirometrlar — jismlarning haroratini kontaktsiz usul yordamida aniqlash uchun qo'llaniladi. Pirometrlar ishlash prinsipiga ko'ra ikki turga bo'linadi:

1. Ko'rinadigan nurlarda ishlaydigan

2. Infraqizil nurlanishda ishlaydigan

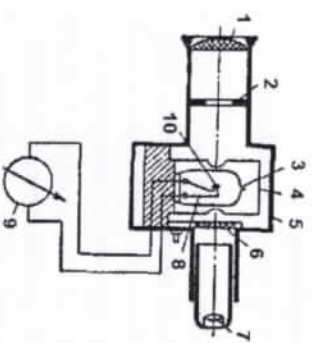
Optik (ko'rinadigan) diapazonda ishlovchi pirometrning tuzilishi quyidagi 3.4-rasmga keltiriladi.



- 1 — Obyektiv
- 2 — Kuchsizlantiruvchi yorug'lik filtri
- 3 — Lampasi
- 4 — Lampaning cho'g'lanna tolasi
- 5 — Millivoltmetr
- 6 — Reostat
- 7 — Reostatning harakatlanuvchi qismi
- 8 — Monoxromatik yorug'lik filtri
- 9 — Okulyar
- 10 — Reostatning halqali dastasi
- 11 — Asbobning tutqichi

3.4-rasm. Ko'rinadigan nurda ishlovchi piroметр tuzilishi.

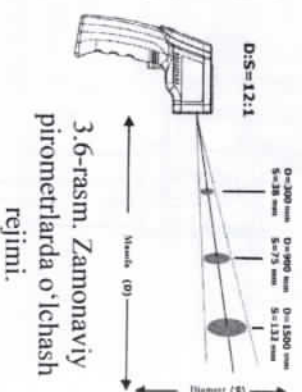
Optik pirometrning ishlash prinsipi obyekt nurlanish yorqinligini nurlanishi oldindan ma'lum bo'lgan to'laning yorqinligi bilan taqqoslashga asoslangan. Bunda qizdirilgan jismdan chiqayotgan nur asbob obyektiviga tushadi, okulyar orqali jisim yorqinligi va cho'g'lanna tola yorqinligi bilan taqqoslanadi. Bunday taqqoslash maxsus yorug'lik filtri yordamida olingan monoxromatik yorug'likda amalga oshiriladi. Cho'g'lanish to'lasini akkumulyator yordamida qizdiriladi va reostat yordamida boshqariladi. Jisimning harorati pirometrdagi haroratga darajalangan millivoltmetr yordamida aniqlanadi. Radiometr (infraqizil nurlanishda ishlovchi pirometr)lar tuzilishi quyidagi 3.5-rasmga keltirilgan.



- 1 – Obyektiv
- 2 – Diafragma
- 3 – Lampa
- 4 – Mis qoplama
- 5 – Korpus
- 6 – Yorug'lik filtri
- 7 – Okulyar
- 8 – Qizdirgich
- 9 – Millivoltmetr
- 10 – Cho'g'lanna tola

3.5-rasm. Infraqizil diapazonda ishlovchi pirometrning tuzilishi.

Bu pirometrning ishlash prinsipi quyidagicha: qizdirilgan jismdan chiqayotgan issiqlik nurlanishi asbobning termopara bilan ulangan sezgir elementiga fokuslanadi, asbob obyektivli korpusdan tashkil topgan. Pirometrning sezgir qismini termopara shaklida tayyorlangan 4 ta termopara mahkamlangan xochsimon platina plastinka ko'rinishida tayyorlangan. Pirometrning sezgir elementi sovuganda yoki qiziganda termoparalar ham qiziydi. Termopara platina plastinkalar sezgir elementga nurlanishni o'tkazuvchi tirqishli mis qoplama bilan o'ralgan shisha lampa ichida joylashgan. Lampa chiqishlari va termopara



3.6-rasm. Zamonaviy pirometrlarda o'lchash rejimi.

chiqishlari qisqichlarga ulangan. Zamonaviy pirometrar ishlatilish sohasi bo'yicha ko'chma yoki stasionar, yuqori harorati ($> 400^{\circ}\text{C}$) yoki past harorati ($> -30^{\circ}\text{C}$ gacha) turlarga bo'linadi.

Zamonaviy pirometrlarda o'lchovlarni amalga oshirishda obyektning yuzasi o'lchash kesim yuzasidan kattaroq bo'lishi kerak (3.6-rasm). Obyekt qanchalik kichik bo'lsa, pirometr yaqinroq joylashishi kerak. Zamonaviy pirometrar uchun obyektgacha bo'lgan masofaning o'lchash kesimi yuzasiga nisbati (12:1), (10:1) bo'lishi mumkin. Bu nisbat pirometrning yo'riqnomasida va asbobning o'zida ko'rsatilgan bo'ladi.

Standart pirometrar ko'rinishi 3.7.a,b-rasmga ko'rsatilgan. Bu pirometrlarda suyuq kristalli indikator bo'lib o'lchanayotgan harorat parametrlari haqidagi ma'lumotlarni ko'rsatadi.



3.7-rasm. a) Ko'chma pirometrar b) stasionar

Nazorat savollari

1. Jisimning nurlanish qobiliyati va va nur yutish qobiliyati deb nimaga aytiladi?
2. Absolyut qora jisimning nurlanish qonunlarini aytib bering.
3. Nurlanishning yana qanday turlarini bilasiz?
4. Pirometrning tuzilishi va uning elektr hamda optik sxemasini chizib bering.
5. Pirometrning yana qanday turlarini bilasiz?
6. Ravshanlik harorati deb qanday haroratga aytiladi?
7. $T = f(I)$ grafigini chizishdan maqsad nima?

№ 4 Laboratoriya ishi: Elektronning chiqish ishini aniqlash

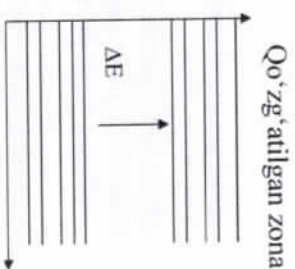
Ishning maqsadi: Metallardan elektronlarning chiqish ishini tajriba orqali aniqlash va qo'yilgan savollarga javob berish, o'lash xatoliklarini baholash.

Kerakli jihozlar: Kompyuter, elektronlarning chiqish ishini aniqlovchi qurilma, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

Qattiq jism holatidagi materiallarda atomlar orasidagi masofa juda kichik bo'lgani uchun ular bir-birlari bilan q'zaro elektromagnit ta'sirlashadilar. Natijada, atomlar tashqi-valentli elektronlarini yo'qotib, ionlarga aylanadi va bu ionlar metall kristall panjarasini hosil qiladi. Valent elektronlar esa butun kristal panjaraga tegishli bo'lib qoladi va panjara ichida erkin harakatlanadi. Atomlarda valent elektronlar ruxsat etilgan diskret energetik sathlarga ega bo'ladi. Kristalda esa bu energetik sathlar birlashib va o'zaro ta'sir natijasida kengayib ruxsat etilgan energetik zonalarini hosil qiladi. Energetik zonalar esa bir-birlardan taqiqlangan zonalar bilan ajralgan bo'lishlari mumkin (yarim o'tkazgichlar va dielektriklarda). Taqiqlangan energetik zonalar sohasidagi energiyalarga elektronlar ega bo'lmaydi (kristallida nuqsonlar va aralashmalar bo'lsagina shunday holat yuz berishi mumkin). Energetik va taqiqlangan zonalar kengligi har xil moddalarda har xil bo'lib, ular qattiq jismning turli xususiyatini, masalan, elektrik va fotoelektrik xususiyatini belgilaydi. 4.1-rasmda kristallardagi energetik zonalarining eng soddacha chizmasi ko'rsatilgan. Rasmda ΔE kenglikdagi taqiqlangan zona, valent zona va qo'zg'atilgan energetik holatlar zonasi ko'rsatilgan.

Qo'zg'atilgan zona yana o'tkazuvchanlik zonasi deb ham ataladi. Valent zonadagi elektronlar tashqi elektr maydon ta'sirida tok



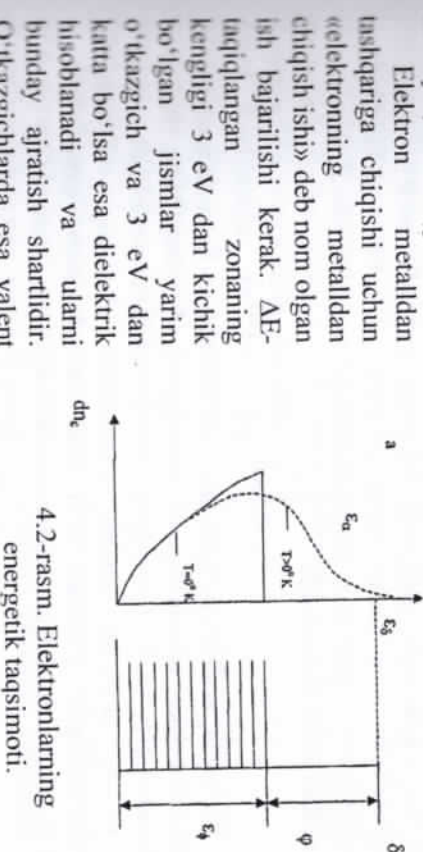
4.1-rasm. Kristallardagi energetik zonalar.

hosil qilmaydi. Valent elektron tashqi kuch ta'sirida qo'zg'atilgan zonaga o'tib qolsa, u tashqi elektr maydon ta'sirida tok hosil qilishi mumkin.

Metall qizdirilganda panjara tugunlarida joylangan ionlarning issiqlik tebranishi kuchayadi va ular bilan to'qnashib harakat qilayotgan erkin elektronlarning ham kinetik energiyasi ortadi. Natijada erkin elektronlarning energetik taqsimoti o'zgaradi. 4.2-rasmda $T=0$ K da elektronlarning energiya bo'ylab taqsimlanishi uzluksiz egri chiziq bilan ko'rsatilgan. Bu taqsimot Fermi-Dirak statistikasi yordamida olingan. Punktir chiziq bilan esa $T>0$ K dagi elektronlarning energiyaviy taqsimoti ko'rsatilib, bu taqsimot quyidagi formula bilan ifodalangan:

$$dn_e = C \frac{e^{1/2} d\varepsilon}{\exp \left[\frac{\varepsilon - \varepsilon_\phi}{kT} \right] + 1} \quad (1)$$

Bu yerda, dn_e — energiyasi ε va $\varepsilon + d\varepsilon$ oralig'ida bo'lgan birlik hajmli metallardagi erkin elektronlar soni, T — metall harorati, k — Boltzman doimiyi, S — doimiy kattaik.



4.2-rasm. Elektronlarning energetik taqsimoti.

Elektron metallardan tashqariga chiqishi uchun «elektronning metallardan chiqish ishi» deb nom olgan ish bajarilishi kerak. ΔE — taqiqlangan zonaning kengligi 3 eV dan kichik bo'lgan jismalar yarim o'tkazgich va 3 eV dan katta bo'lsa esa dielektrik hisoblanadi va ularni bunday ajratish shartidir. O'tkazgichlarda esa valent zona elektronlar bilan butunlay to'lmagan bo'ladi yoki valent va qo'zg'atilgan zonalar qo'shilib ketgan bo'lishi mumkin.

Metall bo'ylab erkin harakat qilayotgan elektronlar undan tashqariga chiqib keta olmaydi. Metall erkin elektronlar uchun potensial o'ra vazifasini bajaradi (4.2-rasm). Potensial o'ra chuqurligi

Metali ichidagi elektronlar har xil energiyaga ega. Lekin Fermi energiyasiga yaqin energiyaga ega bo'lgan elektronning metallardan chiqishi osonroq. Shuning uchun ham energiyasi Fermi energiyasiga teng bo'lgan elektronning metallardan chiqishi uchun zarur bo'lgan energiya elektronning chiqish ishiga teng deb olinadi. 4.2-rasmda elektronning chiqish ishi ϕ bilan ko'rsatilgan va $\phi = \epsilon_F - \epsilon_r$ ga teng. Har xil metallar uchun ϕ turli qiymatga ega bo'lib, umuman metallar uchun elektronning chiqish ishi bir necha eV intervalda yotadi. Metall qizdirilganda esa elektronlarning energetik taqsimoti o'zgaradi va ularning metallardan chiqishi ishi kamayib, metallardan chiqishi osonlashadi. (4.2-rasm)

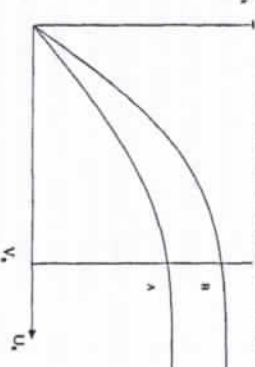
Elektronlarning chiqish ishini turli usullar bilan o'lash mumkin. Biz bu yerda ikki elektrodi elektron lampada hosil bo'luvchi termoelektronlar to'yinish tokini o'lash yo'li bilan elektronning chiqish ishini o'laymiz. Termoelektronlar to'yinish toki Richardson formulasi bilan ifodalanadi:

Bu yerda, A-doimiy, T-harorat. (2) formuladan ko'rinib turibdiki, termoelektronlar to'yinish toki haroratga kuchli bog'liqdir. Katod haroratining T_1 va T_2 qiymatlariga mos keluvchi termoelektronlarning J_1 va J_2 to'yinish toklari qiymatlarini diodning volt-ampere xarakteristikasini o'tchash yo'li bilan aniqlab, katod materialidan elektronning chiqish ishini topish mumkin. Haqiqatan ham,

$$J_2 = AT_2^{-2} \exp \left[-\frac{\varphi}{kT_2} \right]$$

$$\frac{J_1}{J_2} = \exp \left[-\frac{\phi}{k} \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right] \quad (3)$$
$$\varphi = -k \frac{T_2 T_1}{T_2 - T_1} \ln \left[\frac{T_2}{T_1} \right] \ln \left[\frac{J_1}{J_2} \left[\frac{T_2}{T_1} \right]^2 \right] \quad (4)$$

V oraliq'ida o'zgartirish mumkin. Anod kuchlanishi va toki U_a voltmeter va A ampermetr yordamida o'lchanadi. U_1 va U_2 manba sifatida UJP-2 dan foydalaniladi.



rasmda ko'rsatilgan volt-ampet xarakteristikalarini olinadi. Rasmda ikkita volt-ampet xarakteristika egri chiziqlari ko'rsatilgan. Volt-ampet xarakteristikalarining biror U_a anod kuchlanishiga mos keluvchi to'yinish toklari qiymati J_1 va J_2 aniqlanadi. (4.4-rasmdagi A va V nuqtalariga mos keluvchi to'yinish toklari).

Anod to'yinish tokiga mos keluvchi katod harorati quyidagi formula asosida aniqlanadi:

$$R_f = R_0(1 + \alpha t) \quad (5)$$

Bu formulada R_0 -diodning ichki qarshiligi, α -qarshilikning harorat koeffitsiyenti. R_0 va α berilgan diod uchun ma'lumdur. U holda

$$t = \frac{R_f - R_0}{\alpha R_0} \quad (6)$$

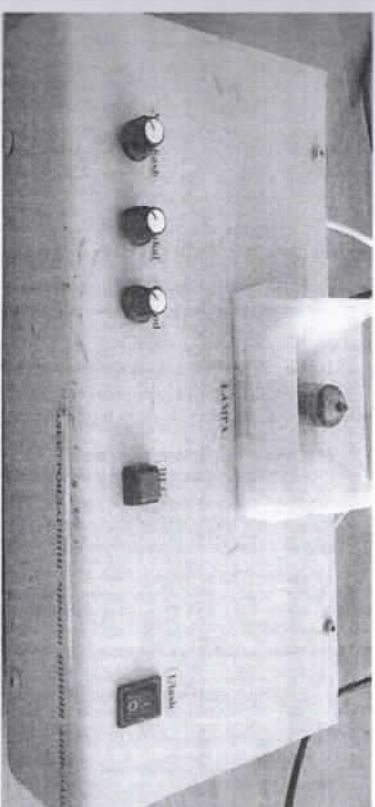
(6) formuladagi R_f ning qiymati quyidagi formuladan topiladi:

$$R_f = \frac{U_n}{J_n}$$

(J_n -A ampermetr yordamida o'lchanadi, U_n esa voltmeter yordamida o'lchanadi). (4) formuladagi Kelvinlarda o'lchanuvchi katod haroratining qiymati (6) dan aniqlangan va selsiyalarda kelib chiquvchi haroratning qiymati asosida hisoblanishini nazarda tutish kerak, albatta. Shunday qilib, J_1 va J_2 hamda T_1 va T_2 larni bilgan holda (4) formula yordamida elektromning chiqish ishi hisoblanadi.

Ishni bajarish tartibi:

1. Laboratoriya qurilmasini tok manbaiga, kompyuterga ulang va qurilmani ish jarayoniga tayyorlash uchun 2 daqiqa kuting (4.5-rasm).
2. "Optika" laboratoriya dasturidan "Elektronlarning chiqish ishini aniqlash" nomli ishini tanlang.
3. "Вход" tugmasini bosing.
4. "Выбор" tugmasidan "COM 1" ni tanlang va "Подключить" tugmasini bosish orqali ishga tushuntiring.
5. Qurilmadagi "O'lchash" tugmasini №1 ga qo'ying va "nakal" tugmasi orqali nakal kuchlanishini "Rec" tugmasi orqali kiriting.
6. "Anod" tugmasi orqali anod kuchlanishini o'rnatib borish bilan "Rec" tugmasini bosish orqali natijani jadvalga kiritib boring.
7. 5-6 punktini qayta bajarish orqali o'lchashlarni 1-jadvalga kiriting.
8. "Отключить" tugmasi orqali laboratoriya qurilmasini o'chiring.



4.5-rasm. Laboratoriya qurilmasi
O'lchash namunalari

1-jadval

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, V	2.4	3.1	4.1	4.7	5.2	5.6	6.1	6.5	6.8	7.0
I, A	225	185	203	217	231	244	257	269	282	294
U _{an} , V	100	115	130	145	160	175	190	205	220	235
I _{an} , A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U _{kat} , V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I _{kat} , A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U _{rec} , V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I _{rec} , A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U _{opt} , V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I _{opt} , A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U _{av} , V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I _{av} , A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U _{av} , V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I _{av} , A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nazorat savollari

1. Elektron emissiya turlarini tushuntiring.
2. Termoelektron emissiya hodisasini tushuntiring.
3. Elektromning chiqish ishi nima?
4. $I_a = f(U_a)$ bog'lanishni tushuntiring.
5. Ishchi formulani keltirib chiqaring.
6. To'yinish toki va uning haroratga bog'lanishi tushuntiring.
7. Chiqish ishini aniqlashning boshqa usullarini bilasizmi?
8. Katod turlari deganda nimani tushunasiz?

№ 5 Laboratoriya ishi: Tashqi fotoeffekt hodisasini o'rganish

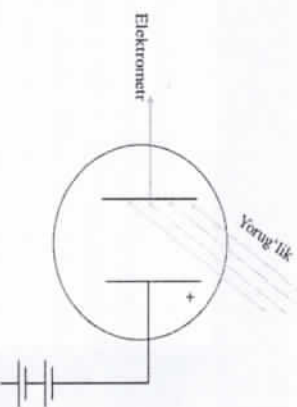
Ishung maqsadi: Tashqi fotoeffekt qonunlarini tajribada o'rganish.

Kerakli jihozlar: Kompyuter, videoprojektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

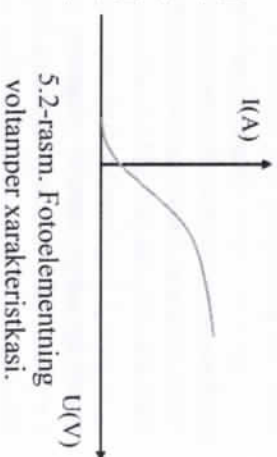
Nazariy qism

Yorug'lik nuri ta'sirida jismlardan elektronlarning urib chiqarilishi hodisasi fotoelektrik effekt yoki qisqa fotoeffekt hodisasi deb ataladi. Bu hodisani 1887-yilda G.Gers gazlarda razryad hodisasini o'rganish paytida kuzalgan. Fotoeffekt hodisasini o'rganishda qo'llanadigan tajriba qurilmasining prinsipal chizmasi 5.1-rasmida ko'rsatilgan.

Katod yorug'lik nuri



5.1-rasm. Fotoeffekt hodisasining kuzatilish prinsipi



5.2-rasm. Fotoelementning voltamper xarakteristikasi.

Kuchlansh $U=0$ bo'lganda ham fototokning mayjud bo'lishi katoddan chiqayotgan elektronlarning ma'lum tezlikka ega bo'lishi bilan tushuntiriladi. B muqadadan boshlab U ning yanada o'tishi bilan

fototok kuchi o'zgarmay qoladi. Fototokning o'zgarmay qolgan qiyamiga to'yinish fototoki deyiladi. Karod va anod orasidagi kuchlanishning $U > U_B$ qiyamatlarida yorug'lik urib chiqargan barcha fotoelektronlar anodga yetib kelishi sababli to'yinish fototok kuchi hosil bo'ladi.

Rus olimi A.G. Stoletov fotoeffekt hodissasini o'rganib, quyidagi qonuniyatni kashf etdi: Fotoeffekt vaqtida hosil bo'ladigan to'yinish tokining qiymati yutilgan yorug'lik intensivligiga proporsional o'zgaradi.

Lenard va boshqa olimlar o'tkazgan qator tajribalar natijasida fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan yorug'lik nurining intensivligiga bog'liq bo'lmagan, u faqat yorug'lik chastotasiga bog'liqligi aniqlandi. Shunday qilib, fotoelektronlarning kinetik energiyasi yorug'lik chastotasiga proporsional ravishda o'zgarar ekan. Bu holatni yorug'likning korpuskulyar tabiati asosida, ya'ni yorug'lik fotonlar oqimidan iborat degan nuqtai nazar asosida tushuntirish mumkin. Tushayotgan yorug'lik fotoni metall yoki atom tarkibida bog'langan elektronga o'z energiyasini butunlay beradi va elektron atom yoki metallidan uzilib, tashqariga ma'lum kinetik energiya bilan uchib chiqadi. Agar fotoeffekt hodisasi metall ichida ko'p uchraydigan erkin elektronlarda yuz berayotgan bo'lsa, elektron kinetik energiyasining bir qismi elektronni metallan urib chiqarish uchun zarur bo'lgan *A_{chiqish}*-chiqish ishiga sarflanadi. Fotoelektron metall atomlari bilan to'qnashib, bir qism energiyasini yo'qotadi, va uning ishiga sabab bo'ladi. Agar bu yo'qotish sodir bo'lmasa, elektron metallan maksimal kinetik energiya bilan uchib chiqadi:

$$\frac{1}{2}m_e v_{\max}^2 = h\nu - A_{\text{chiqish}} \quad (1)$$

Bu yerda, A-ko'riyotgan metall uchun xarakterli bo'lgan chiqish ishi, m_e -elektronning massasi, $h\nu$ -foton energiyasi. Bu formulani birinchi marta Eynshteyn olgan va shuning uchun bu formula Eynshteyn nomi bilan yuritiladi.

Eynshcyn formulasidan tajribada tasdiqlanuvchi quyidagi ikkita xulosa kelib chiqadi:

1. Fotoelektrik effekt natijasida urib chiqarilgan elektronlarning maksimal kinetik energiyasi yorug'likning chastotasiga chiziqli bog'langan bo'lib, uning intensivligiga bog'liq emas. Shuniisi qiziqki, (1) formulani xarakterlovchi to'g'ri chiziqning chastota o'qiga nisbatan

og'ish burchagining tangensi Plank doimiyini beradi. Bu usul bilan Plank doimiyini o'lchash mumkin.

2. Fotoeffektning shunday ν_0 kichik chastotali chegarasi mavjudki, undan kichik chastotalarda fotoeffekt kuzatilmaydi.

Haqiqatan ham, (1) formuladagi A ni $h\nu_0$ ga teng deb olsak,

$$\frac{1}{2} m_e v_{max}^2 = h(\nu - \nu_0) \quad (2)$$

bo'ladi.

$\nu < \nu_0$ da bu tenglamaning o'ng tomoni manfiy bo'ladi. Lekin bunday bo'lishi mumkin emas, chunki fotoelektronning kinetik energiyasi $\frac{1}{2} m_e v_{max}^2 > 0$ bo'lishi kerak. Demak, $\nu < \nu_0$ da fotoeffekt hodisasi yuz bermaydi. ν_0 esa fotoeffekt hodisasining past chastotali chegarasiga mos keladi. Shunday qilib, yorug'lik fotonining energiyasi $h\nu_0$ minimal energiyadan katta bo'lgandagina fotoeffekt hodisasi ro'y berar ekan. Bu energiyaga mos keluvchi yorug'lik to'lqin uzunligining qiymati λ_0 - fotoeffektning qizil chegarasi deb ataladi.

Biz yuqorida ko'rib chiqqan metallarda yuz beradigan fotoeffekt hodisasi *tasvifi fotoeffekt* deb ataladi. Bundan tashqari, ichki fotoeffekt deb ataluvchi fotoeffekt hodisasi ham mavjud bo'lib *ichki fotoeffekt yarin o'tkazgich va dielektriklarda sodir bo'ladi*. Bunda yorug'lik ta'sirida elektronlarning bir qismi valent zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. Natijada yarin o'tkazgich yoki dielektrik ichida zaryad tashuvchi elektronlar konsentratsiyasi ortadi va fotoo'tkazuvchanlik hosil bo'ladi, ya'ni yorug'lik ta'sirida moddalarning elektr o'tkazuvchanligi ortadi.

Fotoeffekt hodisasining yuz berish ehtimolligi elektronning atomdagi bog'lanish energiyasiga qarab o'zgaradi. Elektronning atomdagi bog'lanish energiyasi qancha katta bo'lsa, fotoeffektning yuz berish ehtimolligini xarakterlovchi fotoeffektning effektiv kesimi δ_f shuncha katta bo'ladi. Shuning uchun ham atomning turli qobiqlarida joylashgan elektronlarda fotoeffektning yuz berish ehtimolligi har xil bo'ladi. Buning natijasida fotoeffekt effektiv kesimining foton energiyasi (E_f) ga bog'lanishini ko'rsatuvchi egri chiziqda keskin o'zgarishlar kuzatiladi (5.3-rasm).

Rasmdagi J_K, J_L, J_M lar K, L va M qobiqdagi elektronlarning bog'lanish energiyasi (ionizatsiya potentsiali). $E_f > J_K$ da $\delta_f \sim Z/E_f^{7/2}$ bo'ladi, ya'ni fotoeffekt kesimi muhit atomlarining tartib nomeri Z ga kuchli bog'liq va foton energiyasining $E_f^{7/2}$ qiymatiga teskari proporsional o'zgaradi. $E_f < J_K$ bo'lganda K qobiqdagi elektronlar foton ta'sirida urib chiqarilmaydi va fotoeffekt L, M va boshqa qobiqda joylashgan elektronlarda yuz berishi mumkin. Shu kabi $E_f < J_L$ bo'lganda fotoeffekt jarayonida K va L qobiqlardagi elektronlar qatnashmaydi va h.k. Turli atomlarning har xil qobiqlarida joylashgan elektronlar uchun fotoeffekt kesimining foton energiyasiga bog'lanishini ko'rsatuvchi formulalar kvant-mexanik hisoblashlar asosida keltirib chiqarilgan. Masalan, E_f kichik bo'lgan hol uchun

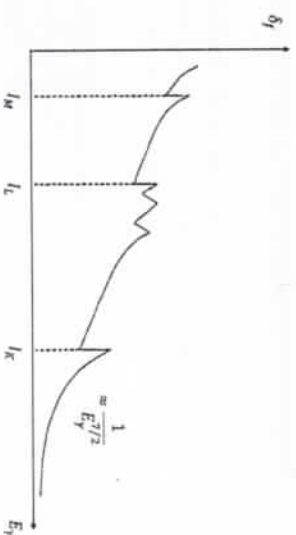
$$\delta_f^K = 1,09 \cdot 10^{-16} Z^3 \left[\frac{13,61}{E_f} \right]^{1/2} \quad (3)$$

va $E_f \gg m_e c^2$, ya'ni foton energiyasi elektronning tinchlikdagi energiyasiga mos keluvchi $m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV}$ energiyadan ancha katta bo'lganda

$$\delta_f^K = 1,34 \cdot 10^{-33} \frac{Z^5}{E_f} \approx n\gamma \quad (4)$$

kabi ifodalalanadi.

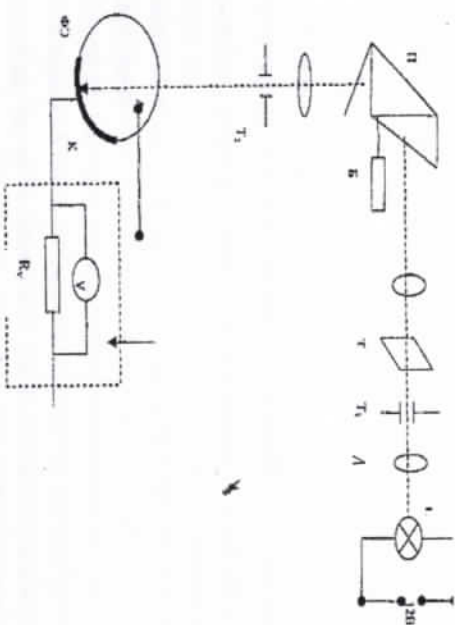
Bu yerda, δ_f^K - K qobiqdagi elektronlarda sodir bo'luvchi fotoeffektning effektiv kesimi. E_f (3) formulada eV larda, (4) formulada esa MeV larda olingan.



5.3-rasm. Fotoeffektning effektiv kesimi (δ_f) ning elektronlarning bog'lanish energiyasi (E_f) ga bog'liqlik grafiqi.

Eksperiment qurilmasining ishlash prinsipi va sxemasi

Bu ishda to'yinish fototokining (yoki kuchlanishining) tushayotgan yorug'lik intensivligiga va to'liqin uzunligiga bog'liq ravishda qanday o'zgarishi o'rganiladi. Qurilma chizmasi 5.4-rasmda berilgan.



5.4-rasm. Tashqi fotoeffekt hodisasi qonunlarini o'rganish qurilmasi.

Uning asosiy qismlarini UM-2 monoxromator, STSV-4 fotoelement, L-cho'g'lanma lamp va V lampali voltmeter tashkil etadi. L-cho'g'lanma lampadan chiqayotgan yorug'lik Λ linzadan o'tib, monoxromatorning T_1 kirish tirgishiga tushadi. Monoxromator ichida joylashgan T to'siq yordamida yorug'lik nurining P prizmalar sistemasiga boradigan yo'lini to'sish va ochish mumkin. P prizmalar holati B barabanli vint yordamida o'zgartiriladi. Prizmalar holati barabanda joylashgan va graduslarga bo'lingan shkala yordamida aniqlanishi mumkin. P prizmadan o'tib spektrga ajralgan monoxromatik yorug'lik nuri monoxromatorning T_2 tirgishidan chiqib, havosi so'rib olingan shisha balon ichida joylashgan — fotoelementning K fotokatodiga tushadi. Fotoelement anodi A shisha balon markaziga joylashgan.

Fotoelementda hosil bo'lgan to'yinish fototokining kuchi lampali voltmeter yordamida o'lchanadi.

Lampali voltmetrning ishlash prinsipi quyidagicha. Lampali voltmetrda qo'sh triodlarning to'rtlariga tashqi kuchlanish berilmaganda ularning anodlaridagi potensial bir xil bo'lib, anodlari orasiga tok o'tmaydi. Agar triodlarning biror to'rtiga tashqi kuchlanish berilsa, anod tokining kuchi o'zgarishi tufayli, tegishli anod kuchlanishi ham o'zgaradi va milliampermetr orqali to'rtiga berilgan kuchlanishga proporsional bo'lgan tok oqib boshlaydi.

Triod to'rtiga ulangan qarshilik orqali fototokning o'tishi tufayli to'rtiga berilgan kuchlanish o'zgaradi. Triod to'rtiga ulangan qarshilik juda katta bo'lgani uchun (10^7 om), kichik fototok ham to'rt kuchlanishining katta o'zgarishiga sabab bo'ladi. Bu esa triod anodlari orasidagi tokning o'tishiga sabab bo'ladi.

Shunday qilib, lampali voltmeter fotoelement anodida hosil bo'lgan susil (kichik) tokni kuchaytirib, uni o'lchash imkonini yaratadi.

Ishni bajarilish tartibi:

1. Ikkinchi vazifada to'yinish fototokining yorug'lik intensivligiga bog'lanishi o'rganiladi. Buning uchun T_1 tirgish maksimal ochiladi va barabanli vintni burab, fototokning maksimal qiymatiga mos keluvchi holati topiladi. So'ng T_1 tirgish oralig'i ma'lum qadam bilan kamaytirilib, unga mos keluvchi fototok yozib olinadi. Fotoelementga tushayotgan yorug'lik nurining intensivligi T_1 tirgish kengligi (d) ga to'g'ri proporsional bo'lgani uchun, T_1 tirgish kengligi bilan fototok orasidagi bog'lanishni aniqlash kifoya. O'lchashlarda tirgish oralig'ini 0,2 mm qadam bilan o'zgartirib borish ma'qul.

2. Fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi λ_0 ni aniqlab, unga mos keluvchi fotoelektronlarning chiqish ishi quyidagi formula asosida hisoblanadi.

$$\varphi = \frac{hc}{\lambda_0}$$

Bunda tirgish 2 mm, baraban 3500°; fototok bilan λ orasidagi bog'lanish chizib o'rganiladi.

3. Ish bajarilib bo'lingach, qurilmaga berilayotgan tok manbalarini o'chirish esdan chiqmasligi kerak.

Nazorat savollari

1. Fotoeffekt hodisasini tushuntiring?
2. Ichki va tashqi fotoeffekt hodisasida umumiylik va farqlar.
3. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini tushuntiring?
4. Fotoeffektning qizil chegarasini tushuntiring?
5. Erkin elektronda fotoeffekt hodisasi yuz bermasligini saqlanish qonunlari yordamida isbotlang.

№ 6 Laboratoriya ishi: Tashqi fotoeffekt va Kompton effekti ga doir kompyuter eksperimentlari

Ishtning maqsadi: *1-tajriba:* Tashqi fotoeffekt hodisasini kompyuter eksperimenti orqali kuzatish, savollarga javob berish va o'lichash xatoliklarini baholash;

2-tajriba: Kompton effekti kompyuter eksperimenti orqali kuzatish, savollarga javob berish va o'lichash xatoliklarini baholash:

Kerakli jihozlar: Kompyuter, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

1-tajriba. Tashqi fotoeffektga doir kompyuter eksperimenti

Nazariy qism

Kichik energiyali fotonning atom elektroni bilan o'zaro ta'sirida ikkita holatni alohida qarash kerak: 1) elektron atom bilan kuchli bog'langan bu holda asosan fotoeffekt hodisasi kuzatiladi; 2) elektron atom bilan kuchsiz bog'langan bu holda asosan Kompton effekti kuzatiladi;

Fotoeffekt hodisasi bo'yicha to'liq ma'lumotlar №5 laboratoriya ishida keltirilgan.

Qurilmaning tuzilishi va ishini bajarish bo'yicha ko'rsatmalar

Agar fotoelementning emitteri (elektron chiqaruvchi elektrodi) ga yetarlicha qisqa to'liq uzunlikdagi yorug'lik tushsa, u holda bu elektroddan elektronlar chiqishi kuzatiladi. Eynshteyn nazariyasiga ko'ra, foton metall yuzasida elektroni urib chiqadi. Bunday holda fotonning barcha energiyasi elektronga o'tadi va foton yo'qoladi. Barcha elektronlar Kulon tortishish kuchlari bilan metallda ushlab tutilganligi sababli, metall yuzasidan elektroni urib chiqarish uchun ma'lum bir A_0 ishini bajarish talab qilinadi (*bu ish chiqish ishi* deb nomlanadi va ko'pchilik metallar uchun bu qiymat bir nechta elektron-volt tartibida bo'ladi). Atomning tubida joylashgan elektronlar ajralib chiqishi uchun tashqi atom elektronlariga qaraganda ko'proq energiya talab qilinadi.

Agar tushayotgan nurning chastotasi kichik bo'lsa, u holda $h\nu < A_0$ bo'lib, foton energiyasi metall sirtidan elektroni urib chiqarishi uchun yetarli emas. Agar $h\nu > A_0$ bo'lsa, unda elektronlar

metall yuzasidan chiqadi va bunday jarayonda energiyaning saqlanish qonuni quyidagi ko'rinadi.

$$h\nu = W_{kin} + A_0 \quad (1)$$

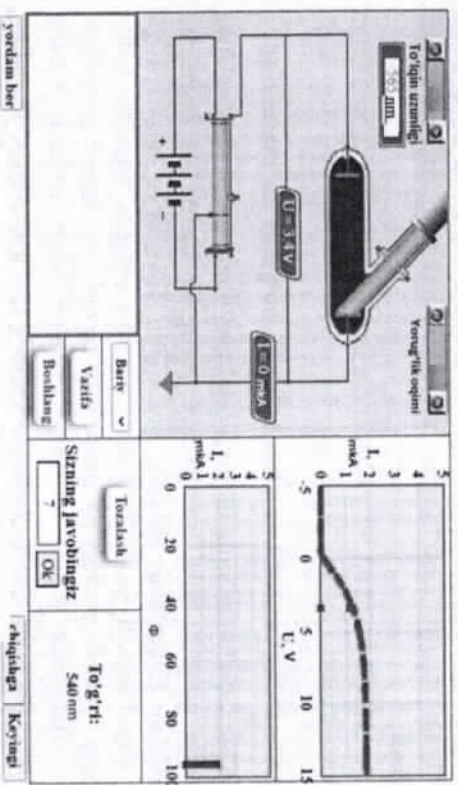
yoki

$$h\nu = m\nu^2/2 + A_0, \quad (2)$$

bu yerda m — elektronning massasi, ν — uning tezligi.

Monoxromatik nurlar dastasida, hamma fotonlar bir xil $h\nu$ energiyaga ega. Yorug'lik nurining intensivligining oshishi nurdagi fotonlar sonining ko'payishini anglatadi, lekin chastota o'zgarishsiz qolsa, ularning energiyasiga ta'sir qilmaydi.

Shunday qilib, fotonlar nazariyasi yorug'likning odatdagi xususiyatlariga yangi xususiyatlarni qo'shadi (difraksiya va qublanish). Bu eski yorug'lik g'oyasidan voz kechishni talab qilmaydi; bu faqat fotonlar tushunchasini elektromagnit to'lqinlar tushunchasi bilan birlashtirishni talab qiladi.



6.1-rasm. Virtual tajriba qurilmasi.

Fotoeffekt deganda, nurlanish ta'sirida metall yuzasidan elektronlar uchib chiqishiga aytiladi. Fotoeffekt boshqa materiallarda ham kuzatilsada, metallarda oson kuzatiladi.

Fotoeffekt elektromagnit nurlanishning kvant tabiatini tushuntirish uchun muhimdir. Eynshteyn 1921-yilda Nobel mukofotini "nazariy fizikaga qo'shgan hisssasi va ayniqsa fotoeffekt qonunini kashf etganligi uchun" olgan.

Ushbu tajriba ishida fotoeffekt hodisasini o'rganish uchun qurilma mavjud. Havosi so'rib olingan shisha balon ichida kuchlanish manbai ulangan ikkita plastinka mavjud va tokni o'lchash qurilmasi suudi shu zanjirga ulangan. Yorug'lik oqimi diafragma tomonidan boshqariladi. Tajribalarni bajarang va "vazifa" tugamasini bosib virtual tajriba bo'yicha ekranda chiqadigan savollarga javob bering (6.1-rasm).

2-tajriba. Kompton effekti ga doir kompyuter eksperimenti

Ishning maqsadi: Kompton effekti hodisani kompyuter eksperimenti orqali kuzatish, savollarga javob berish va o'lchash natijalarini baholash.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoprojektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

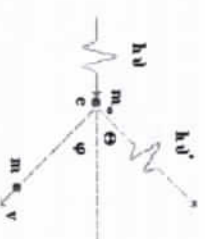
Fotoeffekt bo'yicha o'tkazilgan tajribalardan ma'lum bo'ladi, elektronlar modda atomiga bog'langan bo'lib bu bog'lanish energiyasi bir necha elektron-volt tartibida bo'lar ekan. Kompton o'z tajribasida energiyasi 17,5 keV bo'lgan rangen fotonlaridan foydalangan. Ushbu energiya elektronlarning bog'lanish energiyasidan ancha yuqori bo'lgani uchun, bu elektronlarni erkin zarralar deb hisoblash sezilarli xatoga olib kelmaydi.

Energiyasi $h\nu$ bo'lgan foton tinch holatdagi elektronga tushayotgan bo'lsin (6.2-rasm). Energiya va impulsning saqlanish qonunlarini ifodalovchi tenglamalarni yozamiz:

1) energiyaning saqlanishi: to'qnashuvga cha bo'lgan energiya (foton energiyasi $h\nu$ va elektronning tinchlikdagi energiyasi) to'qnashuvdan keyingi energiya (sochilgan foton $h\nu'$ va tepki elektronning umumiy energiyasi) ga teng bo'lishi kerak.

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2, \quad (3)$$

bu yerda, m_0 — tinchlik holatidagi elektronning massasi, m — harakatlanayotgan elektronning massasi, c — yorug'lik tezligi; 2) impulsning tushayotgan foton yo'nalishidagi komponentasining saqlanishi: tushayotgan fotonning impulsi $p = E/c = h\nu/c$ elektron va



6.2-rasm. Fotonning elektronda Kompton sochilishi

sochilgan foton impluslarining, tushayotgan foton yo'nalishidagi implus tashkili etuvchilari yig'indisiga teng bo'lishi kerak

$$p = p' \cos \theta + m v \cos \varphi; \quad (4)$$

3) tushayotgan foton yo'nalishiga perpendikulyar impuls tashkili etuvchilarning saqlanishi: agar to'qnashuvga ko'ndalang yo'nalishlarda impuls mavjud bo'lmasa, to'qnashuvdan keyin foton va elektronning to'la impulsi nolga teng bo'lishi kerak. Boshqacha qilib aytganda, sochilgan foton va tepki elektron impulslarining ko'ndalang tashkili etuvchilari miqdor jihatdan teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'lishi kerak.

$$0 = p' \sin \theta + m v \sin \varphi; \quad (5)$$

4) tepki elektronlarining tezligi katta bo'lganligi sababli, nisbiylik nazariyasiga ko'ra, harakatlanayotgan elektron massasining relyativistik o'zgarishini hisobga olish kerak:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (6)$$

Kerakli matematik amallarni bajarib sochilgan foton chastotasining, tushayotgan foton chastotasiga hamda sochilish burchagiga bog'lanish ifodasini topamiz:

$$\frac{1}{v'} = \frac{1}{v} + \frac{h(1 - \cos \theta)}{m_0 c^2}, \quad (7)$$

yoki chastotalardan to'liq uzunliklariga o'tsak,

$$\lambda = \lambda' + \frac{h(1 - \cos \theta)}{m_0 c}. \quad (8)$$

$h/m_0 c$ — kattalik *elektronning Kompton to'liq uzunligi* deyiladi, uning son qiymati $\lambda = \frac{h}{m_0 c} = 2,4263096(15) \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

Bu to'liq uzunligi elektronning tinch holatdagi energiyasiga teng energiyali fotonning to'liq uzunligidir.

Tepki elektron harakat yo'nalishini ifodalovchi φ burchagini topish uchun yuqoridagi tenglamalardan quyidagi ifodani olamiz.

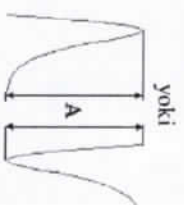
$$\tan \varphi = \frac{1}{1 + \frac{h\nu}{m_0 c^2}} \tan \left(\frac{\theta}{2} \right). \quad (9)$$

Qurilmaning tuzilishi va ishini bajarish bo'yicha ko'rsatmalar

Foton detektorga tushganda, detektor chiqishida elektr impulsi (tok va kuchlanishning qisqa vaqtdagi o'zgarishi) hosil bo'ladi. Bu impulsning amplitudasi (A) (6.3-rasm) yutilayotgan foton energiyasi $h\nu$ ga proporsional bo'ladi.

Tajriba davomida ekranda impuls analizatori bajarilgan ishning natijasi chiqadi: absissa o'qi bo'yicha — impulsning amplitudasi, ordinata o'qi bo'yicha —

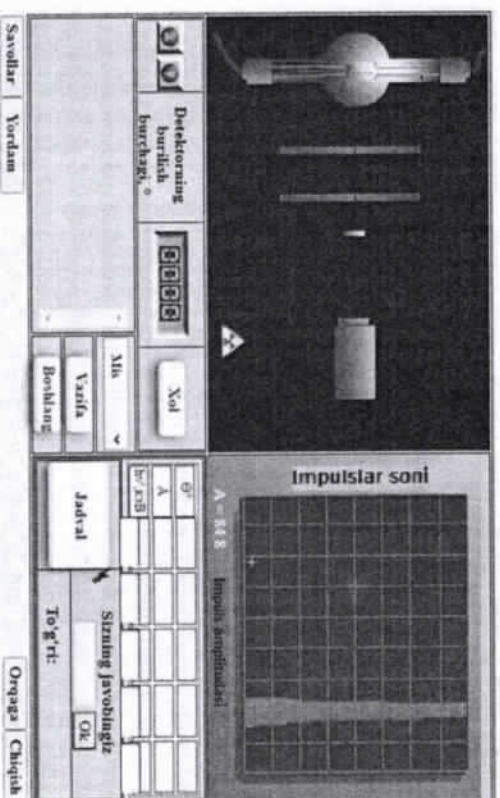
6.3-rasm.



shunday amplitudali impulslar soni (aniqrog'i $A \pm \Delta A$) joylashtiriladi. Foton detektorda qayd etilganda analizator detektor chiqishidagi impulsning amplitudasini o'lchaydi va olingan qiymat bo'yicha shu amplitudali impulslar soniga birni qo'shadi. Analizatorni darajalash uchun energiyasi ma'lum bo'lgan fotonlarni o'lchash kerak. Bizning qurilmada sochilmagan fotonlarning energiyasi 100 keV ga teng deb qabul qilingan. Barcha tajribada detektor to'g'ri turgan holda o'lchash kerak. Impuls amplitudasi energiyaga to'g'ri proporsional deb faraz qiling va amplitudaning energiyaga bog'lanish koeffitsiyentini aniqlang. Qat'iy belgilangan foton energiyasining turli fluktuatsiyalari tufayli amplitudalarning ma'lum bir taqsimoti hosil bo'ladi. Shuning uchun energiyani o'racha amplituda orqali aniqlaymiz.

To'liqlar qaytadigan yoki to'siqlarni aylanib o'tadigan hollarda, to'liq uzunligi yoki chastota o'zgarmaydi. Shuning uchun, atomlarda sochilgan rentgen nurlari bilan o'tkazilgan Kompton tajribasida doimiy v_0 chastotadan farq qiluvchi v' chastotaning hosil bo'lishi tushunarsiz edi. Chastotaning bunday o'zgarishi (siljishi) bilan kuzatiladigan sochilish Kompton effekti deb ataladi. Δv qiymati juda kichik bo'lgani uchun, Kompton effekti faqat qisqa to'liqlini nurlanishda kuzatiladi. Ushbu tajriba natijalarini fotonning impulsiga ega ekanligi, hamda u elektronlarni o'zaro to'qnashgan ikkita shar kabi o'zaro ta'sirlashadi deb tushuntirish mumkin.

Kompton effekti o'rganish qurilmasi (6.4-rasm) rentgen trubkasidan (1), monoxromatik rentgen nurlanishining ingichka chastotasi ajratuvchi ikkita diafragmadan (2), o'rganilayotgan moddan tayyorlangan folgadan (3) va nurlanishni qayd etuvchi detektor (4) dan iborat.



6.4-rasm. Kompton effekti o'rganish tajriba qurilmasi

Detektori folgaga nisbatan burish mumkin. Artur Kompton o'zining tajribalari va ularning natijalarini talqin qilganligi uchun (1922) 1927-yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi.

Virtual tajriba ishi qurilmasidagi "vazifa" tugmasini bosib savollarga javob bering va "savollar" tugmasini bosib ekranda chiqadigan quyidagi test savollariga javob bering.

Test savollari

1-savol. Fotoeffekti natijasida biror gaz bilan to'ldirilgan kamera elektron urib chiqariladi, uning energiyasi kvant energiyasidan 13,6 eV kam. Kamera qanday gaz bilan to'ldirilgan?

- ☐ to'g'ri javob uchun ma'lumot yetarli emas
- ☐ natiriy bug'i
- ☐ seziriy bug'i
- ☐ geliy
- ☐ vodorod

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

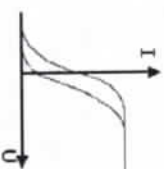
2-savol. To'liq uzunligi 200 nm bo'lgan ultrabinafsha nurlanish bilan nurlantirish orqali boshqa jismlardan uzoqda turgan rux sharchani

qanday Φ potensialgacha zaryadlash mumkin? Ruxning chiqish ish 3,74 eV.

- ☐ teshilish(dielektrik teshilish, chaqnash) hosil bo'lganicha
- ☐ 4.0 V
- ☐ 2.5 V
- ☐ 6.2 V
- ☐ sharcha zaryadlanmaydi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

3-savol. Grafikda vakuumli fotoelementning volt-ampere xarakteristikalari ko'rsatilgan. Nikel katodi monoxromatik nur bilan yoritilgan. Egri chiziqlardagi farqlarning sababi nimada?



- ☐ tushayotgan yorug'lik intensivligi
- ☐ anodli material
- ☐ yorug'lik chastotasi
- ☐ aniq javob yo'q
- ☐ savolga javob berish uchun ma'lumot yetarli emas
- ☐ *To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing*

4-savol. Kompton sochilishida elektron impulsi ... ga teng.

- ☐ ortadi
- ☐ γ -kvantining impulsiga teng bo'ladi
- ☐ nolga kamayadi
- ☐ o'zgarishsiz qoladi
- ☐ nolga teng bo'lmagan qiymatgacha kamayadi
- ☐ *To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing*
- ☐ **5-savol.** Kompton effekti natijasida atom elektronlaridan biri energiya oldi. Elektromagnit energiyasi γ -kvantining energiyasiga teng bo'lishi mumkinmi?
- ☐ bu atomning tartib soniga bog'liq
- ☐ bo'lishi mumkin emas
- ☐ mumkin
- ☐ bu elektronning asosiy kvant soniga bog'liq
- ☐ u γ -kvantining boshlang'ich energiyasiga bog'liq
- ☐ *To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing*

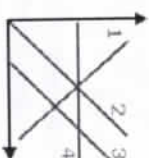
6-savol. 10 keV energiyali rentgen nurlanishidan himoya qilish uchun, alyuminiydan emas, qo'rg'oshin ekrandan foydalanish yaxshiroqdir, chunki

- ☐ to'g'ri javob berilmagan.
- ☐ qo'rg'oshin atomida elektronlar ko'p.
- ☐ qo'rg'oshin yadrosi katta zaryadga ega va elektronlar kuchi bog'langan.
- ☐ qo'rg'oshin nurlanishni kuchliroq tarqatadi.
- ☐ qo'rg'oshin atomi o'ljhami katta.

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

7-savol. Rasmda to'g'ri chiziqlardan biri fotoelektronlar maksimal kinetik energiyasining yorug'lik chastotasiga bog'liqligini ko'rsatadi. Qaysi biri?

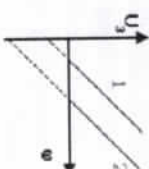
- ☐ aniq javob yo'q
- ☐ 2
- ☐ to'rt
- ☐ bitta
- ☐ 3



To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

8-savol. Rasmda tormozlash kuchlanish Uning tushayotgan yorug'lik chastotasiga bog'liqligi ko'rsatilgan. Bu chiziqlar olingan shartlari qanday farq qiladi?

- ☐ tushayotgan yorug'lik intensivligi
- ☐ yorug'lik chastotasi
- ☐ savolga javob berish uchun ma'lumot yetarli emas
- ☐ kатod moddasi
- ☐ aniq javob yo'q



To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

9-savol. Fotoeffekt tajribasi natijalariga ko'ra qaysi fundamental doimiyning qiymatini topish mumkin?

- ☐ Ridberg doimiyi
- ☐ Bolsman doimiyi
- ☐ Plank doimiyi

☐ bularning barchasi

☐ yo'q

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

10-savol. Kompton sochilishida γ -kvantning to'liq uzunligi ...

- ☐ o'zgarishsiz qoladi
- ☐ uzluksiz nolgacha kamayadi
- ☐ diskret ravishda $h/2\pi$ ga karali ko'payadi
- ☐ ortadi
- ☐ minimal darajaga tushadi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

Nazorat savollari

1. Fotoeffekt hodisani ta'riflang.
2. Kompton effektini ta'riflang.
3. Kompton effektini o'rganish bo'yicha tajriba qurilmasi va ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Fotoeffekt va Kompton effekti farqi nimada?

№ 7 Laboratoriya ishi: Yadroning planetar modeliga doir kompyuter eksperimenti

Ishning maqsadi: Tomson modeli va Rezerford tajribasini kompyuter eksperimenti orqali kuzatish, va qo'yilgan savollarga javob berish, o'ljash xatoliklarini baholash.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

Atom so'zi "bo'linmas" degan ma'noni anglatadi. Bunga qadim zamonlardan beri ishonishgan. XIX asrning so'nggi o'n yilligida bir qator kashfiyotlar qilindi (rentgen nurlari, tabiiy radioaktivlik, elementar zaryad tashuvchisi — elektron mavjudligi), bu atomlarning murakkab tuzilishiga ega ekanligini anglashga olib keldi.

Atomning birinchi modeli J. Tomson tomonidan taklif qilingan: musbat zaryad atomning butun hajmini egallaydi va unda elektronlar tekis taqsimlangan. Rezerford va uning hamkasblari ishning haqiqiy holatini aniqlashni o'z zimmlariga oldilar. Ular atomlarni alfa zarralari bilan tekshirish bo'yicha tajribalar o'tkazdilar. Ushbu zarralar radiy va boshqa elementlarning parchalanishi vaqtida hosil bo'ladi va g'etli yadrolari, ya'ni to'liq ionlashgan g'etli atomlaridan iborat. Alfa zarrahaning massasi elektronikidan deyarli 8000 marta ko'pdir. Shuning uchun ular elektronlar bilan to'qnashganda yo'nalishda sezilarli o'zgarish bo'ladi deb kutmaslik kerak. Sochilish (harakat yo'nalishi o'zgarishi) faqat atomning musbat zaryadlangan qismida kelib chiqishi mumkin. To'qnashuvda itarish burchagi qiymani, aniqrog'i sochilgan zarralar soni $N(\varphi)$ ning sochilish burchagiga bog'liqligi, atom ichidagi musbat zaryad va massaning taqsimlanish xususiyatini aniqlay oladi. 180° ga yaqin burchak ostida sochilishlar kuzatilganligi sababli, Rezerford atomning asosiy qismi va musbat zaryad juda kichik hajmda — atom yadrosida to'plangan deb g'unon qildi. Yadro o'ljahmini atom o'ljahmiga nisbatan ahamiyatsiz deb faraz qilib, Rezerford nazariy $N(\varphi)$ bog'liqlikni hisoblab chiqdi. Olingan natijalarning eksperiment natijalari bilan qanchalik to'g'ri kelishini, kompyuter tajribasini o'tkazish orqali tekshirish mumkin. Ekrandan tajriba qurilmasining qisqacha tavsifi ko'rsatildi.

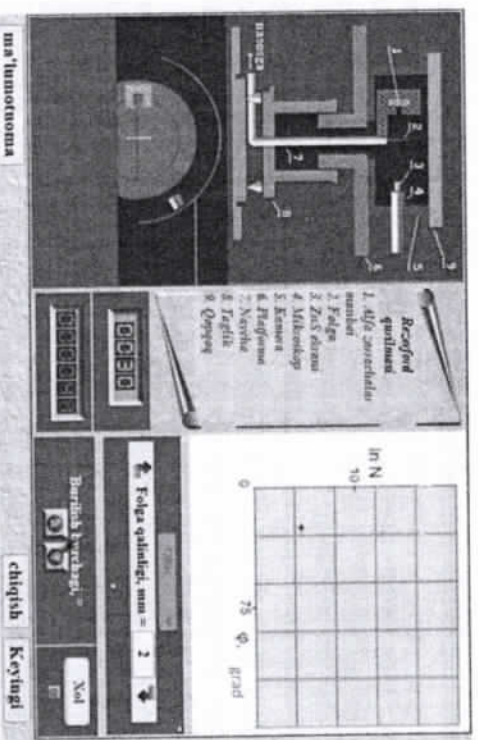
Tajribalar va hisoblashlar natijasida, atomning markazida musbat zaryadlangan yadro joylashgan, va uning atrofida elektronlar harakat qilishi ma'lum bo'ldi. Quyidagi savol tug'iladi: elektronlar atomda qanday harakatlanaadi? Ularning yadro atrofidagi turli nuqtalarda topilish ehtimoliyati qanday?

Nils Bor elektronlar stasionar orbitalarda harakat qiladi deb taxmin qildi. Bu faraz unga o'sha paytgacha ma'lum bo'lgan vodorod spektridagi qonuniyatlarni tushuntirishga imkon berdi. Chastotani hisoblashning aniqligi milliondan bir ulushda tajriba bilan mos tushadi. Ammo keyingi tajribalar shuni ko'rsatdiki, atomdagi elektronlar harakatining tabiati Quyosh tizimi sayyorolari bilan umuman bir xil emas. Buni zarrahalarning sochilish tajribalari natijalarini turli nazariy modellarni asosida hisoblashlar orqali tekshirish mumkin. Tajribada nurlantiruvchi zarralar sifatida yengil elektronlarni olish maqsadga muvofiq. Ular harakatining dastlabki yo'nalishidan chetlanishi atom elektronlari soni va joylashishiga sezgir. Alfa zarralaridagi kabi, sochilgan elektronlarning $N(\varphi)$ burchak taqsimlanishini o'ljash kerak bo'ladi. Shunday qilib tajriba g'oyasi oddiy bo'lib quyidagi tartibda bajariladi: biz atomlarda elektronlar harakatining u yoki bu usulini o'rnatamiz, sochilgan elektronlarning burchak taqsimotini hisoblaymiz, va tajriba o'tkazamiz. Nazariy va eksperimental bog'liqliklarni taqqoslagandan so'ng biz harakat modelini qabul qilamiz yoki rad etamiz va yangi modelga ega bo'lamiz.

Zarralarning sochilishi. Rezerford tajribasi

Ushbu laboratoriya ishida atom tuzilishini o'rganish maqsadida zarralarning sochilishi bo'yicha kompyuter eksperimenti (7.1-rasm) taklif etiladi. Bu tajriba birinchi marta 1906-yilda Rezerford tomonidan bajarilgan bo'lib yuqqa folgada sochilgan α -zarralar soni N ning sochilish burchagi φ ga bog'lanishi o'rganilgan. Olingan eksperimental bog'lanish chizig'ini Tomson modeli (musbat va manfiy zaryadlarning atomda bir tekis taqsimlanishi) va Rezerford modeli (musbat zaryadlar atom markazida to'plangan) bilan taqqoslanadi.

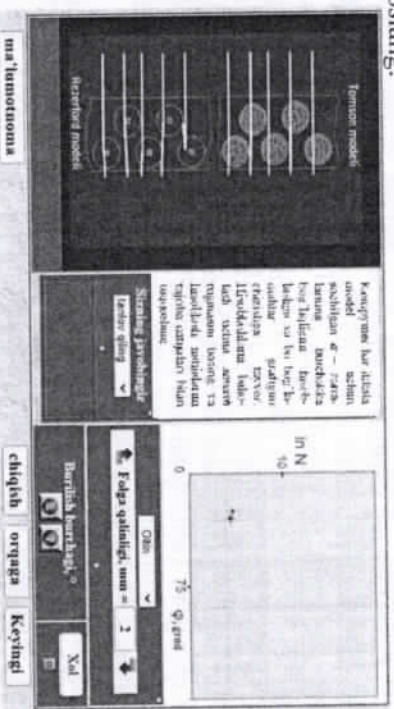
Tajriba ishini bajarishni folga materiali va qalinligini tanlashdan boshlang. Keyin esa detektorning turli holatlarida (φ ning turli qiymatlarida) sochilgan α -zarralar sonini o'ljahng. Eksperiment natijalari bo'yicha xulosalarni yozing.



7.1-rasm. α – zarralarning sochilishi bo'yicha kompyuter eksperimenti.

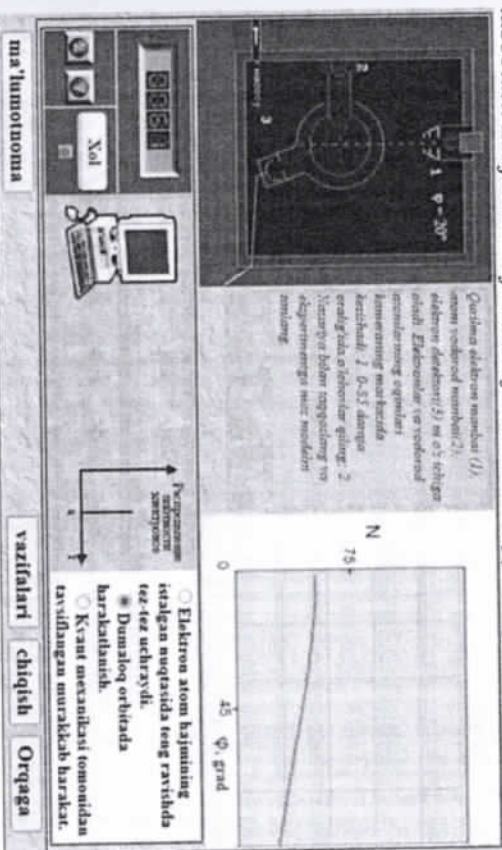
“Keying” tugmasini bosib va Tomson modeli va Rezerford modelini solishtirib.

Kompyuter har ikkala model uchun sochilgan α – zarralarning burchakka bog'liqligini hisoblashga va bu bog'lanishlar grafigini chizishga imkon beradi (7.2-rasm). Hisoblashlarni baholash uchun *sanash* tugmasini bosib va hisoblash natijalarini tajriba natijalari bilan taqqoslang.



7.2-rasm. Virtual tajriba davomida Tomson va Rezerford modellari solishtirish.

“Keying” tugmasini bosib va ekranda 7.3-rasmdagi tasvir paydo bo'ladi. Hisoblashlarni baholash uchun *sanash* tugmasini bosib va hisoblash natijalarini tajriba natijalari bilan taqqoslang.



7.3-rasm. Elektronlarning vodород atomlarida sochilishi bo'yicha kompyuter eksperimenti.

Elektronlarning sochilishi

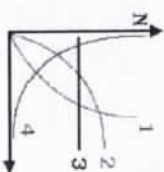
Endi “Atomda elektronlar harakati qanday?” — degan savolga javob beramiz. Elektronlar qanday hajmini egallaydi, qayerda kamroq uchraydi? Bu savollarga javob berish uchun elektronlarning sochilishi bo'yicha tajribalar o'tkazib o'lish natijalarini turli modellar bo'yicha hisoblash natijalari bilan taqqoslaymiz. Buning uchun yengil zarralar — elektronlar bilan atomni nurlantirish lozim, chunki ularning dastlabki yo'nalishidan og'ishi atom elektronlari joylashuviga juda sezgir bo'ladi. Alfa zarralar bilan o'tkazilgan tajribalardagi singari sochilgan elektronlarning burchak taqsimoti $N(\varphi)$ o'lanadi.

Dastlab elektronlar sochilishi bo'yicha tajribani o'tkazib va bu natijalarni atomda elektronlar harakatiga doir biror model bilan taqqoslang. Nazariy va eksperimental $N(\varphi)$ bog'lanishlarning mosligiga qarab tanlangan modelning yaroqliligi haqida xulosa chiqaring. Bu tajribani boshqa model uchun takrorlang. “Vazifalar” tugmasini bosib kompyuter ekranida ko'rinadigan test savollarga javob berib va tajriba bo'yicha bilimingizni baholang.

Test savollari

1-savol. Sanash tezligining yadrolarning zaryadiga bo'liqligini qaysi egri chiziq ko'rsatishi mumkin?

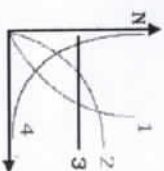
1. ☐ to'rt
2. ☐ 3
3. ☐ Hammasi mumkin
4. ☐ T.J.Y
5. ☐ bitta



To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

2-savol. Grafikdagi qaysi egri chiziq sanash tezligining sochilish burchagiga bog'liqligini ko'rsatishi mumkin?

1. ☐ 2
2. ☐ Hammasi mumkin
3. ☐ T.J.Y
4. ☐ 3
5. ☐ to'rt



To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

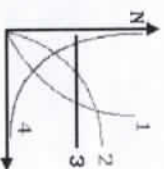
3-savol. Agar yadrolarning kattaligi bir xil zaryadga ega bo'lgan atomlar o'ichaniga oshgan bo'lsa, biz buni aniqlay olamizmi?

1. ☐ aniq javob yo'q
2. ☐ yo'q, chunki detektorni sanash tezligi juda kam o'zgaradi
3. ☐ ha, chunki detektorning sanash tezligi juda kam o'zgaradi
4. ☐ yo'q, chunki detektorning sanash tezligi o'zgarmaydi
5. ☐ ha, chunki detektorning sanash tezligi oshadi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

4-savol. Grafikning qaysi egri chizig'i sanash tezligining nishon qalinligiga bog'liqligini ko'rsatadi?

1. ☐ 2
2. ☐ T.J.Y
3. ☐ to'rt
4. ☐ Hammasi mumkin
5. ☐ 3



To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

5-savol. Sochilish burchagini 5 dan 10 darajagacha oshirish ...

1. ☐ sochilgan zarrachalar sonini 2 barobar ko'paytiradi
2. ☐ sochilgan zarrachalar sonini taxminan 16 baravar kamaytiradi
3. ☐ sochilgan zarrachalar sonini 2 baravar kamaytiradi
4. ☐ sochilgan zarrachalar sonini o'zgartirmaydi
5. ☐ sochilgan zarrachalar sonini 4 baravar kamaytiradi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

6-savol. Rezerford formulasi neytronlarning sochilishini tavsiflash uchun o'rinlimi?

1. ☐ bu ularning dastlabki energiyasiga bog'liq
2. ☐ ha, chunki ularning massasi taxminan protonlarning massasiga teng
3. ☐ bu nishon materialga bog'liq
4. ☐ ha, chunki ular, protonlar singari, yadroviy ta'sirga ega
5. ☐ yo'q, chunki neytronlar Kulon ta'sirlashuvida qatnashmaydi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

7-savol. Nishonga tushayotgan zarralar tezligi o'zgarmagan holda, nishon materiali va qalinligi o'zgartirildi. Bu holda sochilgan zarralarni namash tezligi o'zgarmasligi mumkinmi?

1. ☐ ha, agar siz faqat nishon qalinligini oshirsangiz
2. ☐ bu ularning dastlabki energiyasiga bog'liq
3. ☐ bu nishon materialga bog'liq
4. ☐ bu o'zgarishlar sanash tezligiga ta'sir qilmaydi
5. ☐ ha, agar Z ning ortishi bilan nishonning qalinligi pasaysa

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

8-savol. Nishon qalinligini 5 dan 10 mkm gacha oshirish ...

1. ☐ sochilgan zarrachalar sonini o'zgartirmaydi
2. ☐ sochilgan zarrachalar sonini ko'paytiradi
3. ☐ sochilgan zarrachalar sonini kamaytiradi, chunki zarrachalarning detektorga yetib borishi qiyinroq
4. ☐ aniq javob yo'q
5. ☐ sochilgan zarrachalar sonini kamaytiradi, chunki nishondagi energiya yo'qotishlari ko'payadi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

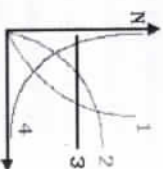
9-savol. Birlamchi nurning energiyasini boshqa parametrlar o'zgarishsiz holda oshirish ...

1. ☐ detektorni sanash tezligini pasaytiradi
2. ☐ zarralar turiga qarab sanash tezligini o'zgartiradi
3. ☐ nishon materialga bog'liq holda sanash tezligini o'zgartiradi
4. ☐ detektorning sanash tezligini o'zgartirmaydi
5. ☐ detektorni sanash tezligini oshiradi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

10-savol. Grafikdagi qaysi chiziq nishondagi yadrolar soni o'zgarishsiz holda, uning zichligiga bog'lanishini ko'rsatadi?

1. ☐ Hammasi mumkin
2. ☐ T.J.Y
3. ☐ to'rt
4. ☐ 3
5. ☐ 2



To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

Nazorat savollari

1. Yadroning planetar modeli haqida nimalarni bilasiz?
2. Tomson modeli qanday?
3. Rezerford modelini tushuntiring?
4. Tomson modeli bilan Rezerford modelining farqi nimada?

№ 8 Laboratoriya ishi: Atomlarning spektrlariga doir kompyuter eksperimenti

Ishning maqsadi: Atomning nurlanish spektrlari hodisani kompyuter eksperimenti orqali kuzatish, va savollarga javob berish, o'ljash xatoliklarini baholash.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoprojektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

Siyrak gazlarni ular o'zlaridan nur chiqaradigan qilib uyg'otish mumkin. Bunga kuchli qizdirish yoki gaz razryad trubasiga yuqori kuchlanish berish orqali erishish mumkin. XIX asrning boshlarida siyraklashgan gazlarning nurlanish spektri chiziqli ekanligi, ya'ni nurlanish intensivligi ma'lum bir to'liq uzunliklar uchun noldan farqli bo'lishi aniqlandi. Shu bilan birga, har bir atom uchun o'zining to'liq uzunligi to'plami mavjud. Vodorod eng oddiy atom bo'lib, u yadro va bita elektronidan iborat. Vodorodning spektri eng oddiy ko'rinishda bo'ladi. Spektning ko'rinishidagi qismidagi chiziqlar orasidagi masofalar 1885-yilda Shveytsariya maktab o'qituvchisi va ayuni paytda Bazel universiteti doktori logann Balmer tomonidan topilgan qonunga muvofiq kamayib boradi,

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

bu yerda, $m = 3, 4, 5, \dots$

$R = 1,097 \cdot 10^7 m^{-1}$ (Ridberg doimiysi).

Keyinchalik ultrabinafsa va infraqizil sohalarida to'liq uzunligi shunga o'xshash formula bilan tavsiflangan boshqa chiziqlar seriyasi mavjudligi aniqlandi. Nurlanish spektrining chiziqli xarakterini tushuntirish uchun. N. Bor atomning diskret energiyali stasionar holatlari tushunchasini kiritdi. Shunga o'xshash spektral qonuniyatlar vodorodsimon atomlarda ham kuzatiladi. Atomga katta energiya berilganda uning ionlanishi, ya'ni atomdan elektronning ajralish kuzatiladi.

Vodorod atomi spektridagi nurlanish seriyalari (8.1-rasm) to'liq uzunliklari uchun Balmerning umumlashgan formulasidan foydalanish mumkin.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

bu yerda, $n = 1, 2, 3, \dots, m = n + i, i = 1, 2, \dots$

Layman seriyasi: $n = 1, m = 2, 3, 4, \dots$

Balmer seriyasi: $n = 2, m = 3, 4, 5, \dots$

Pashen seriyasi: $n = 3, m = 4, 5, 6, \dots$ va hokazo.

N. Bor atomdagi elektron yuqori energiyali holatdan kichikroq energiyali holatga o'tishida nurlanish chiqarishini hamda bu holatlar energiyalari diskret ekanligini taxmin qildi. Har bir o'tishda chiqayotgan fotonning energiyasi quyidagi formuladan aniqlanadi (energiyaning saqlanish qonuni).

$$h\nu = E_m - E_n,$$

bu yerda, m -yuqori energiyali holat tartibi, n — past energiyali holat tartibi.

Agar kvant energiyasi elektronvoltlarda ifodalangan bo'lsa, unda foton energiyasi uchun quyidagi ifodadan foydalanish mumkin:

$$h\nu = 13,6 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{ eV}.$$

Agar ikkita zaryad bir-biridan cheksiz uzoqda bo'lsa, ularning o'zaro ta'sir kuchi nolga teng. Zaryadlarni bir-biriga yaqinlashtirish uchun energiya sarflash kerak bo'lsa potensial energiya (o'zaro ta'sir energiyasi) musbat hisoblanadi. Atomga bog'langan elektronlar yadroga tortilganligi uchun energiyasi manfiy ($E < 0$) bo'ladi:

$$E = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV},$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Yadroga bog'langan bita elektroni bo'lgan ionlashgan atomlar (He^+ , Li^{++} , ...), vodorodsimon atomlar deyiladi va ularning spektrlari vodorod spektriga o'xshash bo'lsada, mos chastotalari vodorod spektridagi chastotadan Z^2 marta katta bo'ladi (Z -yadrodagi protonlar soni):

$$h\nu = 13,6 Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{ eV},$$

bu yerda, $n = 1, 2, 3, \dots$

$m = n + i, i = 1, 2, \dots$

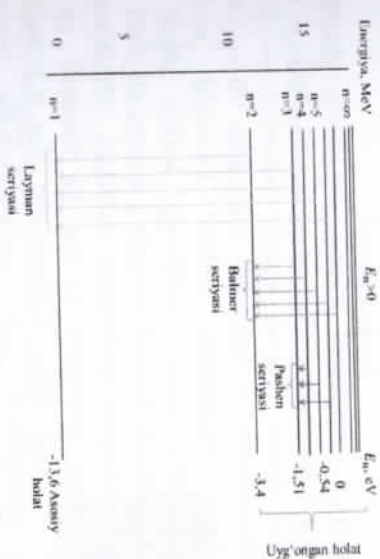
Atomdan elektronlarni ajratish uchun zarur bo'lgan minimal energiya elektronning bog'lanish energiyasi yoki E_i — atomning ionizatsiya energiyasi deb ataladi. Agar yutilgan kvantning energiyasi

elektronning bog'lanish energiyasidan kattaroq bo'lsa, u holda bu energiyalar farqi kinetik energiya ko'rinishida uzatiladi (energiya muqolamasi qonuni amal qiladi!)

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - E_i$$

Simob spektrining eng yorqin chiziqlari

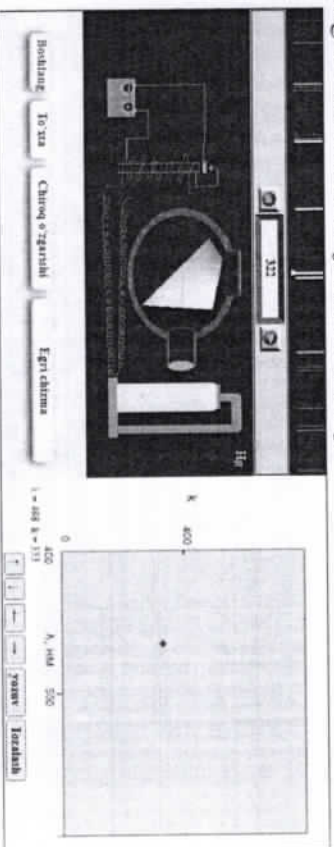
Spektr chizig'i	To'liq uzunligi (nm)
Birinchi binafshta rang	404.6
Ikkinchi binafshta rang	407.8
Moviy (ko'k oilasining eng yorqin rangi)	435.8
Birinchi ko'k	491.6
Ikkinchi ko'k	494.0
Yashil rangli	546.1
Birinchi sariq	577.0
Ikkinchi sariq	579.0
Qizil (oxirgi qizil)	690.7



8.1-rasm. Vodorod atomi nurlanishining spektral seriyalari.

Qurilmaning tuzilishi va ishini bajarish tartibi

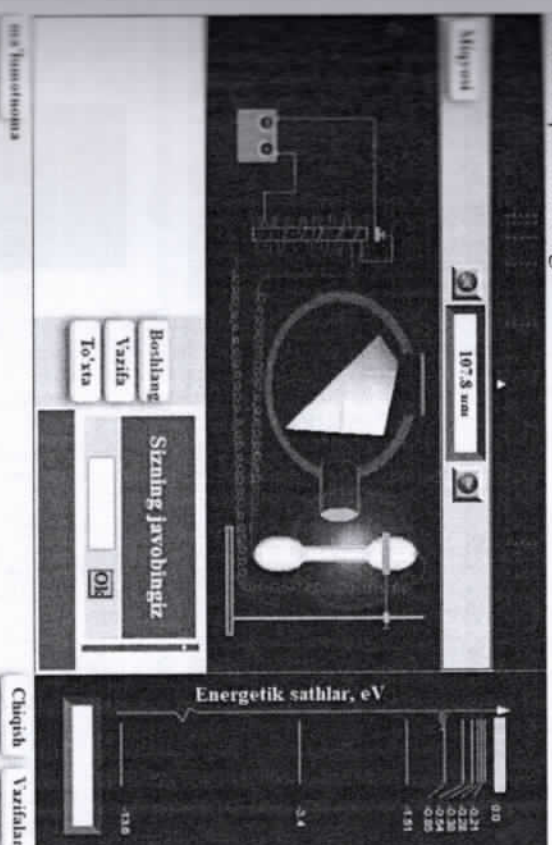
Ekspirimental qurilma(8.2-rasm) dastlab simob bug'lari bilan to'ldirilgan naychadan (kvars shisha), yuqori volti konvertor — Runkorff g'altaklari va 400 ~ 700 nm diapazondagi to'liq uzunligida ishlovchi spektrografdan iborat. Zanjirdagi kalitni ulash orqali, naychaga yuqori kuchlanish beriladi va unda gaz razryadi hosil bo'ladi. Gaz atomlarining nurlanishi spektrlarga ajratiladi. Siz ixtiyoriy chiziqning to'liq uzunligini bu spektr chizig'ini siljitish va bu chiziqni ko'rsatgich to'g'risiga keltirish orqali nisbiy k birliklarda aniqlashingiz mumkin. Spektrografni darajalash uchun simobli lampa kerak (simobning eng yorqin chiziqlarining to'liq uzunligi "ma'lumotnoma" da keltirilgan). Grafikda darajalash chizig'i chiziladi. "Boshlash" tugmachasini bosib tajribani boshlang.



8.2-rasm. 400 ~ 700 nm diapazondagi to'liq uzunligida ishlovchi spektrograf.

"Davom ettirish" tugmasini bosib. Bu holda eksperimental qurilma yuqoridagi holatdan farq qilib simob bug'lari bilan to'ldirilgan naychadan (kvars shisha), yuqori volti konvertor — Runkorff g'altaklari ultrabinafshtadan to'liq uzunligi sohagacha 90 ~ 5000 nmli bo'lgan spektrlarni kuzatishga imkon beruvchi mukammal spektrografdan iborat(8.3-rasm). Zanjirdagi kalitni ulash orqali, naychaga yuqori kuchlanish beriladi va unda gaz razryadi hosil bo'ladi. Gaz atomlarining nurlanishi spektrlarga ajratiladi. Ultrabinafshta va infraqizil diapazonning chiziqlari ko'zga ko'rinmaydi va shartli ravishda uzluqli chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Siz o'z xohishingiz bo'yicha tasvir masshtabini yoki spektrografning ajrata olish qobiliyatini o'zgartirishingiz, spektrni tugmachani bosish orqali siljitib

ko'rilgan chiziqni ko'rsatkich ostiga joylashtirish va uning to'liq uzunligini aniqlashingiz mumkin. Tajribani "boshlash" tugmachasini bosish orqali boshlang.



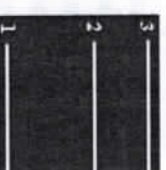
8.3-rasm. 90 ~ 5000 nm diapazondagi to'liq uzunligida ishlovchi spektrograf.

"Vazifalar" tugmasini bosib kompyuter ekranida ko'rinadigan test savollari javob bering va tajriba bo'yicha bilimingizni baholang.

Test savollari

1-savol. Rasmda atomning energiya sathlari diagrammasi keltirilgan. Keltirilgan qaysi sathlar orasida maksimal chastotali foton chiqishi sodir bo'ladi?

1. $1 \rightarrow 2$
2. $3 \rightarrow 2$
3. $2 \rightarrow 3$
4. $2 \rightarrow 1$
5. $3 \rightarrow 1$



To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

2-savol. Vodorod atomidagi elektronning beshinchi energetik sathdan ikkinchi energetik sathga o'tishda chiqadigan elektromagnit nurlanishining to'liq uzunligini aniqlang.

1. ☐ 411 nm
2. ☐ 434 nm
3. ☐ 365 nm
4. ☐ 486 nm
5. ☐ 656 nm

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

3-savol. Rasmda atomning energiya sathlari diagrammasi keltirilgan. Keltirilgan qaysi sathlar maksimal to'liq uzunligiga ega bo'lgan fotonning yutilishi bilan sodir bo'ladi?

1. ☐ 2 $\rightarrow$ 1
2. ☐ 3 $\rightarrow$ 2
3. ☐ 1 $\rightarrow$ 2
4. ☐ 3 $\rightarrow$ 1
5. ☐ 2 $\rightarrow$ 3

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

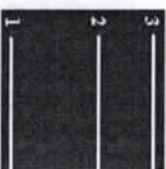
4-savol. Vodorod atomida birinchi energetik sathdan beshinchi energetik sathga o'tishi uchun elektronlarning minimal tezligi qanday bo'lishi kerak?

1. ☐ 2.06 mm/s
2. ☐ 2.19 mm/s
3. ☐ 2.12 mm/s
4. ☐ 2.14 mm/s
5. ☐ 1.89 mm/s

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

5-savol. Vodorod atomining birinchi energiya holatidan uchinchisiga o'tish paytida uning energiyasi necha marta o'zgaradi?

1. uch baravar ko'payadi
2. ☐ to'g'ri javob berilmagan
3. ☐ to'qqiz marta ko'payadi
4. ☐ to'qqiz marta kamayadi



5. ☐ uch baravar kamayadi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

6-savol. Vodorod atomi gamma kvantini yutib, ikkinchi energetik sathdan uchinchi energiya sathiga o'tdi. Tushayotgan nurlanishning to'liq uzunligi qanday?

1. ☐ 486 nm
2. ☐ 434 nm
3. ☐ 656 nm
4. ☐ 411 nm
5. ☐ 365 nm

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

7-savol. To'liq uzunligi 498 nm bo'lgan foton bilan nurlantirilganda vodorod atomidagi elektronning energiyasi qancha o'zgaragan?

1. ☐ 2.40 eV
2. ☐ 2.34 eV
3. ☐ 2.22 eV
4. ☐ 2.63 eV
5. ☐ 2.50 eV

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

8-savol. Vodorod atomini ionlashtirish uchun qanday maksimal to'liq uzunlikli yorug'lik bilan uni nurlantirish kerak?

1. ☐ 102,6 nm
2. ☐ 66,8 nm
3. ☐ 40,2 nm
4. ☐ 121,6 nm
5. ☐ 91,2 nm

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

9-savol. 1897-yilda astronom Pikerling yulduz spektrida Balmer formulasi bilan ifodalaniishi mumkin bo'lgan, ammo kvant raqamlari $n = 2, 3, 4, 5$; bo'lgan chiziqlar to'plamini topdi. Ushbu seriyaning paydo bo'lish sababi...

2-savol. Vodorod atomidagi elektronning beshinchi energetik sathdan ikkinchi energetik sathga o'tishda chiqadigan elektromagnit nurlanishining to'liq uzunligini aniqlang.

1. ☐ 411 nm
2. ☐ 434 nm
3. ☐ 365 nm
4. ☐ 486 nm
5. ☐ 656 nm

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

3-savol. Rasmda atomning energiya sathlari diagrammasi keltirilgan. Keltirilgan qaysi sathlar maksimal to'liq uzunligiga ega bo'lgan fotonning yutilishi bilan sodir bo'ladi?

1. ☐ 2 $\rightarrow$ 1
2. ☐ 3 $\rightarrow$ 2
3. ☐ 1 $\rightarrow$ 2
4. ☐ 3 $\rightarrow$ 1
5. ☐ 2 $\rightarrow$ 3

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

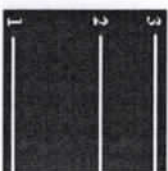
4-savol. Vodorod atomida birinchi energetik sathdan beshinchi energetik sathga o'tishi uchun elektronlarning minimal tezligi qanday bo'lishi kerak?

1. ☐ 2.06 mm/s
2. ☐ 2.19 mm/s
3. ☐ 2.12 mm/s
4. ☐ 2.14 mm/s
5. ☐ 1.89 mm/s

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

5-savol. Vodorod atomining birinchi energiya holatidan uchinchisiga o'tish paytida uning energiyasi necha marta o'zgaradi?

1. uch baravar ko'payadi
2. ☐ to'g'ri javob berilmagan
3. ☐ to'qqiz marta ko'payadi
4. ☐ to'qqiz marta kamayadi



5. ☐ uch baravar kamayadi

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

6-savol. Vodorod atomi gamma kvantini yutib, ikkinchi energetik sathdan uchinchi energiya sathiga o'tdi. Tushayotgan nurlanishning to'liq uzunligi qanday?

1. ☐ 486 nm
2. ☐ 434 nm
3. ☐ 656 nm
4. ☐ 411 nm
5. ☐ 365 nm

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

7-savol. To'liq uzunligi 498 nm bo'lgan foton bilan nurlantirilganda vodorod atomidagi elektronning energiyasi qancha o'zgaragan?

1. ☐ 2.40 eV
2. ☐ 2.34 eV
3. ☐ 2.22 eV
4. ☐ 2.63 eV
5. ☐ 2.50 eV

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

8-savol. Vodorod atomini ionlashtirish uchun qanday maksimal to'liq uzunlikli yorug'lik bilan uni nurlantirish kerak?

1. ☐ 102,6 nm
2. ☐ 66,8 nm
3. ☐ 40,2 nm
4. ☐ 121,6 nm
5. ☐ 91,2 nm

To'g'ri javobni belgilang va "kiritish" tugmasini bosing

9-savol. 1897-yilda astronom Pikeriing yulduz spektrida Balmer formulasi bilan ifodalanishi mumkin bo'lgan, ammo kvant raqamlari $n = 2, 3, 4, 5$; bo'lgan chiziqlar to'planini topdi. Ushbu seriyaning paydo bo'lish sababi...

1. ϵ uzoqdagi yulduzdagi jarayonlarda energiyani saqlanib qolmasligi
 2. ϵ geliy ionlarining emissiyasi
 3. ϵ ishqoriy metallarning bug'larini chiqarish
 4. ϵ hodisani tushuntirish sir bo'lib qoldi
 5. ϵ vodorod atomlarining maxsus holatdagi nurlanishi
- To'g'ri javobni belgilang va "kritik" tugmasini bosing*
- 10-savol.** Vodorod atomining ikkinchi stasionar holadan birinchi holaga o'tishi paytida chiqadigan yorug'lik chastotasi qanday? R — Ridbergning doimiyi, c — yorug'lik tezligi.

1. ϵ 3Rc/4
2. ϵ 8Rc/9
3. ϵ Rc/2
4. ϵ Rc/4
5. ϵ 2Rc/3

To'g'ri javobni belgilang va "kritik" tugmasini bosing

Nazorat savollari

1. Vodorod atomi uchun Bor nazariyasining asosiy g' oyalarini tushuntiring.
2. Vodorod atomi spektral seriyalari uchun Balmerning umumlashgan formulasini tushuntiring.
3. Balmerning umumlashgan formulasini xususiy holatlarini tushuntiring.

№ 9 Laboratoriya ishi: Frank-Gers tajribasini o'rganish (atomlarning uyg'onish potensialini aniqlash)

Ishning maqsadi: Nils Bor nazariyasining to'g'riligini Frank va Gers tajribalari asosida tekshirish.

Kerakli jihozlar: Argon to'ldirilgan TG -1-0,1/0,3 tiratron, (10-10)V mo'ljallangan voltmeterlar, 160 μA ga mo'ljallangan mikroampermetr, 1A ga mo'ljallangan ampermetr.

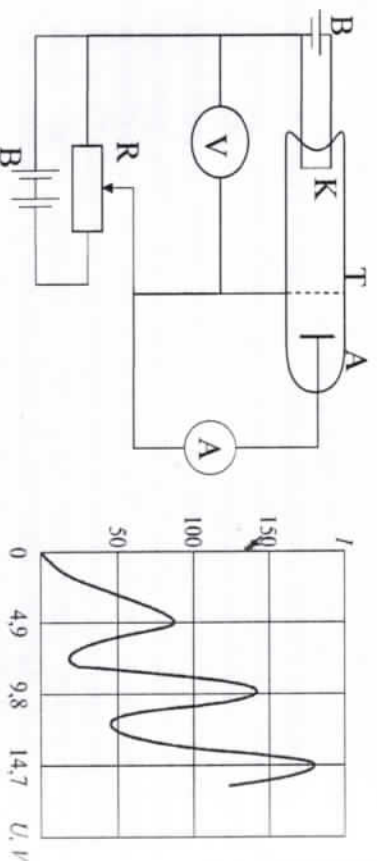
Nazariy qism

Atomning diskret energetik sathlari mavjudligi Frank va Gers tajribalarida tasdiqlangan. Bu tajribadagi qurilmaning prinsipial sxemasi 9.1-rasmda ko'rsatilgan.

Havosi so'rib olingan shisha trubka 1 mm simob ustuni bosimi ostida simob bug'larini to'ldirilgan va unga katod (K), anod (A), to'rt (T) vazifasini o'taydigan elektrodlar joylashtirilgan. Termoelektron emissiya natijasida katoddan uchib chiqayotgan elektronlar katod va to'rt orasidagi potensiallar farqi (U) hisobiga to'rtga qarab tezlashtiriladi. Bu potensiallar farqini potensiometr (P) yordamida bir tekis o'zgartirish mumkin. To'rtidan o'tib anodga qarab yo'nalgan elektronlarning harakatini tormozlash maqsadida to'rt bilan anod orasida kuchsiz elektr maydon hosil qilinadi.

Anod zanjiridagi I tok kuchi G galvanometr bilan o'lchanadi va uning U kuchlanishiga bog'liqligi aniqlanadi. Tajribadan olingan natijalar 9.2-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, kuchlanish o'rtacha borishi bilan tok kuchi avval monoton o'tib borib, $U = 4,9$ V ga yetganda, keskin kamayib ketadi va minimumga tushib qoladi va kuchlanishni o'rtacha borsak, tok kuchi yana o'rtacha boshlaydi va shu tariqa tok kuchining keskin kamayishlari kuchlanishning 9,8 V, 14,7 V va h.k. qiymatlarida takrorlanadi.

Tok kuchi kuchlanishning yuqorida ko'rsatilgan qiymatlarida keskin kamayib ketib, minimum qiymatlarga tushib qolishi atom energetik sathlarining diskretligi, ya'ni atomlar energiyani faqat ma'lum porsiyalar tarzida qabul qila olishi bilan tushuntiriladi. Bu tajribada termoelektronlarning energiyasi $\Delta W = 4,9 \text{ eV}$ ga yetguncha ular simob atomlari bilan elastik to'qnashadi. Bu vaqtda kuchlanishning ortishiga qarab tok odardagi qonun bo'yicha orta



9.1-rasm. Tajriba qurilmasining sxemasi.

9.2-rasm. Tajriba natijalari

boradi. Kuchlanish qiymati $4,9 \text{ V}$ ga yetganda to'qnashish noelastik bo'lib, bunda elektron simob atomiga o'z energiyasini butunlay beradi. Bunday elektronlar anodga yetib bora olmaydi, to'rtida tutiladi, natijada anod toki keskin kamayadi.

Agar elektronlar energiyasini o'ttirishni davom ettirilsa, elektronlar to'qnashishda o'z energiyalarining bir qismini simob atomiga berib, o'zida yetarlicha ortiqcha energiya saqlab qoladi va to'rt bilan anod orasidagi tormozlovchi maydonni yengib anodga yetib bora oladi. Natijada anod toki yana boradi. Tokning ortishi elektrodlar orasidagi kuchlanishning qiymati $9,8 \text{ V}$ ga yetguncha davom etadi, kuchlanish $U=9,8 \text{ V}$ ga etganda tok kuchi yana keskin kamayib ketadi.

Tok kuchi qiymatining yana keskin kamayib ketishi $U=14,7 \text{ V}$ da yuz beradi va h.k. Elektronning atom bilan noelastik to'qnashishi uchun kerak bo'lgan potensialni atomning kritik potentsiali yoki uyg'onish potentsiali deb ataladi. Masalan, simob atomining uyg'onish

potensiallari $4,9 \text{ V}$; $9,8 \text{ V}$; $14,7 \text{ V}$ va h.k. ga teng. Bunday potentsiallar harqini o'tgan elektron atom bilan noelastik to'qnashib, uni normal holatdan uyg'ongan holatga o'tkazadi. Atomning normal holatdan birinchi uyg'otilgan holatga o'tishiga mos ($U=4,9 \text{ V}$) kelgan potentsialni atomning birinchi uyg'onish potentsiali yoki rezonans potentsiali deb ataladi. Shuningdek, ikkinchi ($U=9,8 \text{ V}$), uchinchi ($U=14,7 \text{ V}$) va h.k. uyg'onish potentsiallari haqida gapirish mumkin. Shunday qilib, Frank va Gers tajribalaridan atomlarda diskret energetik sathlar mavjudligiga bevosita ishonch hosil qilish va bunday tajriba orqali atomning uyg'onish potentsiallarini eksperimental aniqlash mumkin.

Elektron bilan noelastik to'qnashishda energiya olgan atom bu olgan energiyani o'zida juda qisqa vaqt ($\sim 10^{-8} \text{ s}$) saqlaydi, keyin bu energiyani nurlanish energiyasi ko'rinishida yoki boshqa turda qaytarib, ya'ni normal holatga o'tadi. Agar gaz bosimi yetarlicha kichik bo'lsa, bu qayta o'tishning eng katta ehtimoli energiyani yorug'lik ko'rinishida chiqarib o'tishdir. Bu hol Bor postulatlarini eksperimental tekshirishga yana imkon yaratadi. Simob atomi uchun birinchi uyg'onish potentsiali $4,9 \text{ V}$ bo'lganidan

$$\Delta W = W_2 - W_1 = eU = 4,9$$

bo'lishi kerak, bunda W_1, W_2 — simob atomining mos ravishda normal, birinchi uyg'otilgan holatdagi energetik sathlari.

Borning ikkinchi postulati asosan, atom normal holatga o'tishda bu ΔW energiyani

$$\Delta W = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

ko'rinishda chiqarishi kerak. Bundan

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta W} = 2520 \text{ \AA}$$

Shunday qilib, agar nazariya to'g'ri bo'lsa, u holda $4,9 \text{ eV}$ energiyali elektronlar oqimi bilan nurlantirayotgan simob bug'i faqat bitta $\lambda = 2520 \text{ \AA}$ to'lqin uzunligini ko'rsatuvchi ultrabinafscha chiziqlardan iborat spektr berishi kerak. Haqiqatdan ham tajribada Bor postulatini tasdiqlovchi bitta $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ ga ega bo'lgan ultrabinafscha chiziq kuzatiladi.

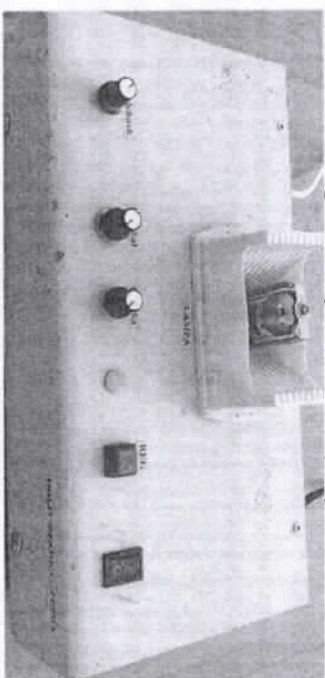
Atomning birinchi uyg'otilgan holatdan normal holatga o'tishida bu chiziqlarning mavjudligiga optik uyg'otish tajribalari asosida ham ishonch hosil qilish mumkin. Agar siyraklashtirilgan simob bug'ini

$\lambda = 2537 \text{ \AA}$ li monoxromatik yorug'lik bilan yoritilsa, u holda yuqorida aytilganidek, simob atomlari normal holadan $W_2 = +4,9 \text{ eV}$ energiyali uyg'ongan holatga o'tishi kerak. Lekin 10^{-8} sekund o'tgandan keyin normal holatga qayta o'tishda, xuddi o'sha to'liqin uzunlikli bitta spektral chiziq beradigan yorug'lik nurlashi lozim.

Tajriba bu fikrning ham to'g'riligini isbotlaydi. Bunday spektral chiziq rezonans chiziq deb ataladi, chunki ularning to'liqin uzunligi optik uyg'otishda yutiladigan to'liqin uzunlikka aynan teng bo'ladi. Demak, rezonans chiziqlarning to'liqin uzunliklarini aniqlash bilan ham birinchi uyg'onish potensialini hisoblab topish mumkin.

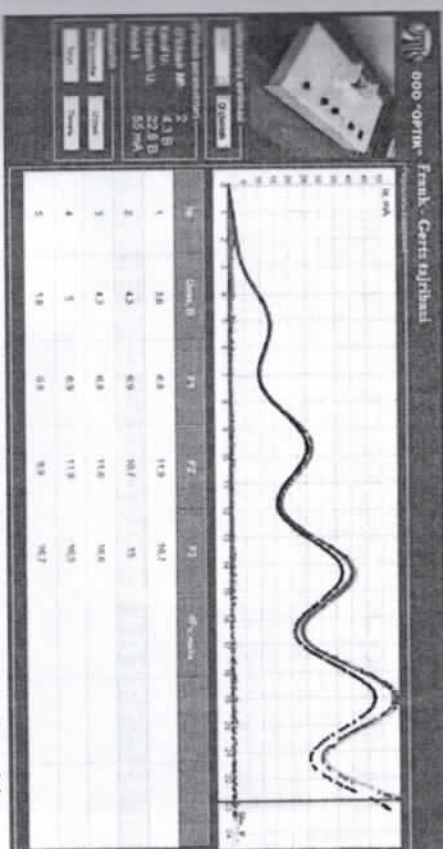
Ishni bajarish tartibi:

1. Laboratoriya qurilmasi (9.3-rasm) ni tok manbaiga, kompyuterga ulang va qurilmani ish jarayoniga tayyorlash uchun 2 daqiqa kuting.
2. "Optika" laboratoriya dasturidan "Frank Gers" nomli ishni tanlang.
3. "Вход" tugmasini bosing.
4. "Выбрав" tugmasidan "COM 1" ni tanlang va "Подключить" tugmasini bosish orqali ishga tushuring.
5. Qurilmadagi "O'lchash" tugmasini №1 ga qo'ying va "nakal" tugmasi orqali nakal kuchlanishini "Rec" tugmasi orqali kiriting.
6. "Setka" tugmasi orqali anod kuchlanishini o'rtirib borish bilan, "Rec" tugmasini bosish orqali natijani jadvalga kiritib boring.
7. 5-6 bandlarni qayta bajarish orqali o'lchashlarni jadvalga kiriting.
8. "Отключить" tugmasi orqali laboratoriya qurilmasini o'chiring.



9.3-rasm. Laboratoriya qurilmasi.

Tajriba namunasi



9.4-rasm. Frank-Gers tajribasi natijalarining kompyuter ekranida ko'rinishi.

№	$R_H (\Omega)$	$R_A (\Omega)$	$U_A (V)$	$R_C (\Omega)$	$U_C (V)$	$I_A (A)$	$U_{c.o'rta} (V)$	$I_{A.o'rta} (A)$	$U (A)$
1									
2									
3									

Nazorat savollari:

1. Frank va Gers tajribasining mazmunini tushunting.
2. Tiratron lampaning nurlanish sababini aniqlang.
3. Elektron bilan atomlar orasida elastik va noelastik to'qnashishlar qanday sharoitda yuz beradi?
4. Atomning birinchi uyg'onish potensialini nima uchun rezonans potensial deb ham ataladi?

№10 Laboratoriya ishi: Frank-Gers tajribasiga doir kompyuter eksperimenti

Ishning maqsadi: Frank-Gers tajribasida turli moddalarning atomlari uygʻonishi kuchlanishining qanday qiymatlarida sodir boʻlishini kompyuter eksperimenti orqali kuzatish va savollarga javob berish, oʻlchash xatoliklarini baholash.

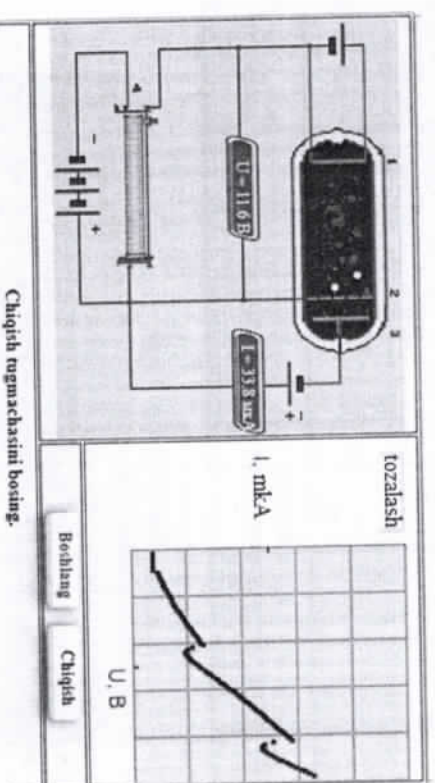
Kerakli jihozlar: kompyuter, videoprojektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

Ushbu laboratoriya ishining nazariy ma'lumotlari № 9 laboratoriya ishida batafsil yoritilgan.

Qurilmaning ishlashi bo'yicha yo'riqnomma

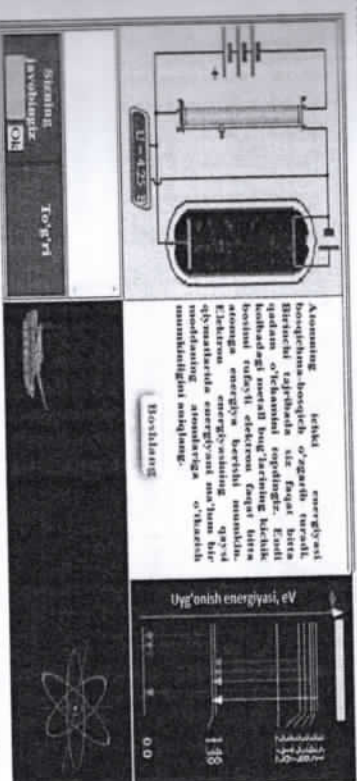
Vakuum balondan havo so'rib olingan va unga 1 mm.sim.ust bosimdagi simob bug'lari (yoki boshqa biror modda) kiritilgan.



10.1-rasm. Tajriba qurilmasining sxemasi va tajriba natijalari.

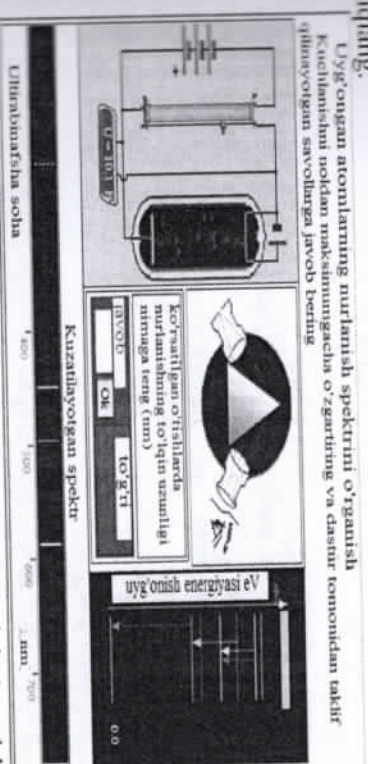
Qizdirilgan katoddan chiqayotgan elektronlar katod (1), to'r (2) va anod (3) orasidagi o'zgarmas elektr maydoni ta'sirida tezlashadi. To'r va anod orasiga kichik $\sim 1 \text{ eV}$ sekinlashituvchi kuchlanish beriladi. Shuning uchun ham kollektorga (anodga) 1 eV dan katta energiyali elektronlarga tusha oladi. Kollektor toki mikroampermetr yordamida

o'lchanadi. Reostat (4) yordamida tezlatuvchi kuchlanishni o'zgartirish mumkin. Tajriba namoyishi "start" tugmasini bosish bilan boshlanadi (10.1-rasm). Bunda zanjirni ulaymiz va elektronlarni tezlatuvchi kuchlanishni oltiramiz.



10.2-rasm. Atomdagi energetik sathlarni o'rganish.

Tajribaning 2 va 3 bosqichlarida atomlarning energetik sathlari hamda uygʻongan atomlarning nurlanish spektrlari o'rganiladi. Tajribaning 2 bosqichida 10.2-rasmida berilgan "start" tugmasini bosish orqali beriladigan savollarga javob bering va unga mos spektrlarni kuzating. Tajribaning 3 bosqichida uygʻongan atomning sathlari orasidagi o'ishlarga mos nurlanishlar hamda ularning to'liq uzunliklari ekran(10.3-rasm)dagi elektromagnit to'liqlar shkalasidan foydalanib aniqlang.



10.3-rasm. Uygʻongan atomlarning nurlanish spektrini o'rganish.

Nazorat savollari

1. Elektron bilan atomlar orasida elastik va noelastik to'qnashishlar qanday sharoitda yuz beradi?
2. Kompyuter eksperimenti qurilmasi ishlash prinsipini tushuntiring.
3. Frank — Gers tajribasining mazmunini tushuntiring.
4. Tiratron lampaning nurlanish sababini aniqlang.
5. Atomning birinchi uyg'onish potensialini nima uchun rezonans potensial deb ham ataladi?

№11 Laboratoriya ishi: Bir va ikki tirgishli to'siqdan elektronlarning o'tishiga doir kompyuter eksperimenti

Ishning maqsadi: Bir va ikki tirgishli to'siqdan elektronlarning o'tishida diffraksiya hodisasini kompyuter eksperimentida kuzatish orqali mikrozararlarning to'liq xossalari va mikrodoniy o'hdosalarining kvant mexanik xususiyatlariga ega ekanligini o'rganish.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

1923-yilda fransiyalik fizik Louis De-Broyl (1892-1987) korpuskulyar-to'liq dualizmining universaligi to'g'risidagi, ya'ni har qanday mikroobyekt to'liq va korpuskula xususiyatlarni namoyish qilishi mumkin degan farazni ilgari surdi. Bir qator optik hodisalar (nurning aks etishi, bosini va sinishi), umuman, korpuskulyar nazariya va to'liq nuqtai nazaridan ham tushuntirishi mumkin. Ushbu vaziyatlarni tahlil qilib, Louis De-Broyl, agar yorug'lik korpuskulyar — to'liq dualizmiga ega bo'lsa, unda zarrlar to'liq-korpuskulyar dualizmga ega bo'lishi kerak degan farazni ilgari surdi.

De-Broyl g'oyasiga ko'ra, bir tomondan mikroobyektlar biror E — energiyali va P — impulsli korpuskulyar xususiyatlarga, ikkinchi tomondan ω — chastotali va λ — to'liq uzunlikka ega bo'lgan to'liq xususiyatga ham ega.

Yorug'likning korpuskulyar — to'liq dualizmiga ko'ra, yorug'lik fotoni uchun quyidagi munosabatlar o'rinni:

$$\varepsilon = \hbar \omega, \quad (1)$$

$$p' = \hbar k', \quad (2)$$

bu yerda, $\hbar = h / 2\pi = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ — Plank doimiyi; $k' = 2\pi / \lambda'$ — to'liq vektor; p' , ε , λ' — foton impulsi, energiyasi va to'liq uzunligi.

Yorug'lik xususiyatlariga o'xshash, bu munosabatlar De-Broyl tomonidan moddaning mikrozararlari uchun ham o'rinni bo'lishi ko'rsatildi. U holda (2) formulaga muvofiq quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$p = \hbar \cdot k = \hbar \cdot \left(\frac{2\pi}{\lambda_B} \right) = h / \lambda_B, \quad (3)$$

bu yerda, $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ - Plank doimiyisi; λ_B - De-Broyl to'liqin uzunligi.

Shunday qilib, impulsiga ega bo'lgan har qanday zarrachaga λ_B - to'liqin uzunlikka ega bo'lgan De — Broyl to'liqini mos keladi.

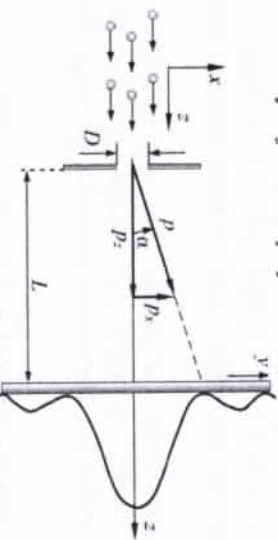
$$\lambda_B = 2\pi h/p, \quad (4)$$

Relyativistik holat uchun:

$$\lambda_B = \frac{2\pi h}{p} = \frac{h\sqrt{1-v^2/c^2}}{m_0 v}, \quad (5)$$

bo'ladi, bu yerda, m_0 - zarrachaning tinchlikdagi massasi; v - zarrachaning tezligi.

De — Broylning gipotezasi materiya xususiyatlarining simmetriyasiga asoslangan va o'sha paytda tajribada tasdiqlanmagan edi. Lekin bu moddiy obyektlarning tabiati haqida yangi g'oyalarni rivojlantirishga kuchli inqilobiy turki bo'ldi. Shu g'oya asosida bir necha yillar davomida XX asrning tanikli fiziklari — V. Geyzenberg, E. Shryodinger, P. Dirak, N. Bor va boshqalar *kvant mexanikasi* deb nomlangan yangi fanning nazariy asoslarini ishlab chiqdilar. To'liqin nuqtayi nazaridan elektronlar diffraksiyasi diffraksiyon panjarada nurning diffraksiyasidan farq qilmaydi. Diffraksiyon hodisalar, diffraksiya sodir bo'lgan to'siqning o'lchamlari to'liqin uzunligi bilan mos keladigan bo'lsa, eng aniq ko'rinadi. Bu har qanday fizikaviy hodisalarga xususan, elektron to'liqlariga ham tegishlidir. De — Broyl to'liqlarni uchun tabiiy diffraksiyon panjara sifatida kristall panjara atomlari orasidagi tirgishlar xizmat qilishi mumkin ($\sim 0,1 \text{ nm}$). Bunday o'lchamdagi to'siq (masalan, shaffof ekranda teshik) sun'iy ravishda yaratilishi mumkin emas, lekin De-Broyl to'liqlarining tabiatini tushunish uchun fikriy tajribalar qo'yish mumkin.



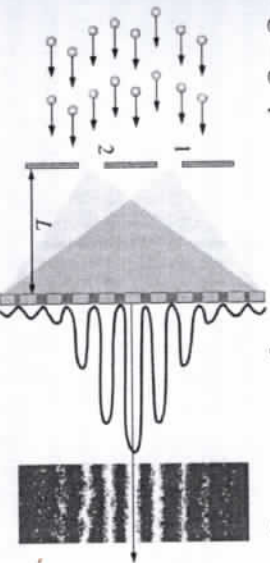
11.1-rasm. Elektronlarning bir tirgishli to'siqdagi diffraksiyasi (O'ngdagi grafik fotoplashtinkada elektronlar taqsimotini ifodalaydi)

Elektronlarning D kenglikdagi tirgishdagi diffraksiyasini ko'rib chiqaylik (11.1-rasm). Tirgishdan o'tgan barcha elektronlarning 85% dan ortig'i markaziy diffraksiyon maksimumga tushadi. Ushbu maksimumning yarim kenglik burchagi quyidagi shartdan topiladi:

$$D \sin \alpha = \lambda. \quad (6)$$

Bu shart to'liqin nazariyasi formulasi bilan mos tushadi.

Yana bir fikriy eksperimentni — elektron dastasining ikki tirgishli to'siqdagi diffraksiyasini qaraylik (11.2-rasm). Ushbu eksperimentning sxemasi Yungning optik interferensiyon tajribasi sxemasiga mos keladi.



11.2-rasm. Elektronlarning ikki tirgishli to'siqdagi diffraksiyasi.

Ushbu eksperimentni tahlil qilish kvant nazariyasida yuzaga keladigan mantiqiy qiyinchiliklarni namoyish etish imkonini beradi. Fotolonlar konsepsiyasiga asoslanib, Yungning optik tajribasini tushuntirishda xuddi shunday muammolar paydo bo'ladi. Agar ikki tirgishli to'siqda elektron diffraksiyasini kuzatish tajribasida tirgishlardan biri yopiq bo'lsa, interferensiyon chiziqlar yo'qoladi va fotoplashtinka bir tirgishli to'siqdagi elektronlar diffraksiyasini qayd etadi (11.1-rasm). Bunday holda, barcha elektronlar fotoplashtinkaga ochiq tirgish orqali otadilar. Agar ikkala tirgish ham ochiq bo'lsa, interferensiyon chiziqlari paydo bo'ladi. Bu holda elektronlar qaysi tirgish orqali o'tadi?

Psixologik jihatdan bu savolga javob faqat bitta bo'lishi mumkinligini qabul qilish juda qiyin: elektron ikkala tirgishdan ham o'tadi. Biz mikrozararlarni oqimini kichik sharchalarning yo'naltirilgan harakati sifatida intuitiv ravishda tasavvur qilamiz va bu harakatni tasvirlash uchun klassik fizika qonunlarini qo'llaymiz. Ammo elektron (va boshqa mikrozararlarni) na'faqat korpuskulyar, balki to'liqin xususiyatlariga ham ega. Elektromagnit yorug'lik to'liqinining Yungning optik tajribasida ikkita tirgishdan qanday o'tayotganini

tasavvur qilish oson, chunki to'liq fazoda bir nuqtda joylashmaydi. Ammo fotonlar konsepsiyasini qabul qilsak, har bir foton ham bir nuqtda joylashmaganligini tan olishimiz kerak.

Fotonning qaysi tirqishdan uchib o'tayotganligini ko'rsatish mumkin emas, chunki foton harakatining trayektoriyasini fotoplastinkada kuzatish va u tushadigan nuqtani ko'rsatish mumkin emas. Tajriba shuni ko'rsatadiki, fotonlar interferometr orqali alohida holda uchib o'tganda, ko'plab fotonlarning bir vaqtda uchib o'tganidagi interferensiyalar manzara hosil bo'ladi. Shuning uchun kvant fizikasida "foton o'z-o'zi bilan interferensiyalanadi" degan xulosaga chiqariladi. Yuqorida aytilganlarning hammasi ikki tirqishli to'siqdan o'tayotgan elektronlar tajribasi uchun ham o'rinnidir. Ma'lum eksperimental faktlarni agar har bir elektronning De Broyl to'liqini bir vaqtning o'zida har ikkala teshikdan o'tib ketishini hisobga olsakgina tushuntirish mumkin. Bunday to'siqlardan elektronlarning alohida uzoq muddatli o'tishi ko'plab elektronlarning bir vaqtda o'tishi bilan mos tushadi. Bundan "elektron ham foton kabi o'z-o'zi bilan interferensiyalanadi" degan xulosaga kelish mumkin.

Ekspiriment metodikasi

Ushbu ishda virtual laboratoriya qurilmalarida olingan difraksiyon spektrlarni qayta ishlash asosida De-Broyl to'liqin uzunligi λ_B aniqlanadi. Bitta tirqishdagi zarrachalarning difraksiyasi holatida difraksiyon maksimumlarni kuzatish sharti quyidagicha:

$$\Delta x \sin \alpha = \pm (2n + 1) \frac{\lambda_B}{2}, \quad (7)$$

bu yerda, $n = 0, 1, 2, \dots$ — difraksiya tartibi, Δx — tirqishning kengligi.

Ikki tirqishli to'siqda zarrachalar difraksiyasi holatida asosiy difraksiyon minimumlarni kuzatish sharti quyidagicha:

$$\Delta x \sin \alpha = \pm n \lambda_B, \quad (8)$$

bu yerda, $n = 1, 2, 3, \dots$ — difraksiya tartibi, Δx — tirqishning kengligi.

Shubhasiz, yaqin joylashgan ikkita asosiy minimum orasida asosiy difraksiyon maksimum joylashadi.

Bundan tashqari, ba'zi yo'nalishlarda ikkita tirqishdan o'tayotgan nurlarning o'zaro interferensiyasi tufayli ular bir-birini susaytiradi, ya'ni qo'shimcha minimumlar paydo bo'ladi. Tirqishlar soni N ta bo'lganda ikkita asosiy maksimumlar orasida kuchsiz fon hosil qiluvchi qo'shimcha maksimumlar bilan ajratilgan $N-1$ ta qo'shimcha

minimumlar mavjud bo'ladi. Tirqishlar soni N gancha ko'p bo'lsa, shuncha ko'p yorug'lik energiyasi panjara orqali o'tadi va qo'shim asosiy maksimumlar orasida shuncha ko'p minimumlar hosil bo'ladi, bunda maksimumlar intensivligi va tikligi katta bo'ladi.

$N > 1$ tirqishlardan tashkil topgan difraksiyon panjarada asosiy difraksiyon maksimumlar hosil bo'lish sharti quyidagicha:

$$d \sin \alpha = \pm n \lambda_B, \quad (9)$$

bu yerda, $n = 0, 1, 2, \dots$ — difraksiya tartibi, d — difraksiyon panjara davri.

(7) — (9) formulalardan foydalanib, ma'lum parametrlar tirqishlarda olingan difraksiyon chiziqlar orqali De — Broyl to'liqin uzunligini aniqlash va bu natijani nazariy qiymat bilan taqqoslash mumkin:

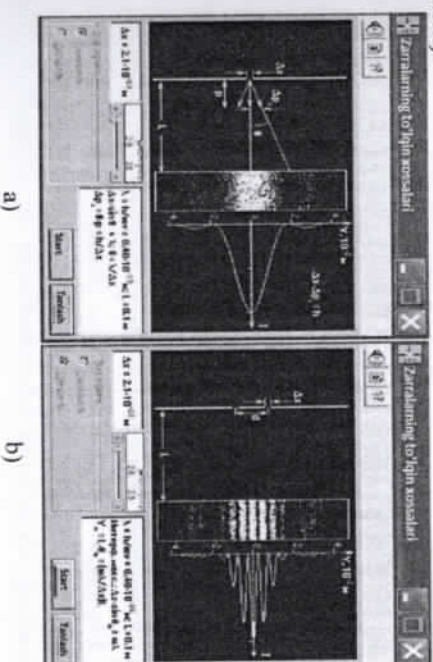
$$\lambda_B \text{ nazar} = \frac{2\pi h}{mv}, \quad (10)$$

bu yerda, m , v — zarrachaning massasi va tezligi.

Natijalarning mos tushishi De-Broyl nazariyasining to'g'ri ekanligini isbotlaydi.

Ishni bajarish tartibi

1. "Ochiq fizika" dasturini ishga tushiring. Tarkibida "Kvant fizikasi" "Zarrachalarning to'liqin xususiyatlari" modelini tanlang (1.3a-rasm).



1.3-rasm. Bir tirqishli (a) va ikki tirqishli (b) to'siqda elektronlar difraksiyasini kuzatish.

2. O'qituvchidan olingan variantga ko'ra, tirqishning kengligi qiymatlari Δx_1 , Δx_2 , Δx_3 ni 1-jadvaldan tanlang va ularni 2 — jadvalga yozing.

3. "Ekran ko'rinishi" kalitini "Bir tirqish" holatiga qo'ying.

4. Sichqoncha markerini tirqish kengligi regulyatoriga keltirib

Δx_1 tirqish kengligini o'rnatib.

5. "Start" tugmasini bosib va bita tirqishdagi elektronlar difraksiyasini kuzatib. O'lchash aniqligini o'rnatish uchun kompyuter eksperimenti davomida tajriba davomiyligi 1 daqiqadan kam bo'lmashligi kerak.

6. "Stop" tugmasini bosib va Y o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha difraksiyon chiziqlari maksimumlarining koordinatasi va tartibini aniqlang, ularni 2-jadvalga yozing.

7. "Tanlash" tugmasini bosib, kalitni "Ikki tirqish" holatiga qo'yib (1.3 b-rasm).

8. "Start" tugmasini bosib va ikki tirqishli to'siqda zarralar difraksiyasini kuzatib. O'lchash aniqligini o'rnatish uchun kompyuter eksperimenti davomida tajriba davomiyligi 1 daqiqadan kam bo'lmashligi kerak.

9. "Stop" tugmasini bosib va Y o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha difraksiyon chiziqlari maksimumlarining koordinatasi va tartibini aniqlang, ularni 2-jadvalga yozing.

10. Tirqishlarning kengligi Δx_2 , Δx_3 qiymatlari uchun 4-9 bandlardagi amallarni takrorlang. Olingan natijalarni 2-jadvalga yozing.

O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. (8) formuladan foydalanib asosiy maksimumlar koordinatalari $Y_{\max \text{ eksp}}$ ni hisoblang. Bunda $\sin \alpha = \frac{Y}{\sqrt{Y^2 + L^2}}$ va barcha tajribalar uchun $L = 0,1 \text{ m}$. Olingan natijalarni 2-jadvalga kiriting.

2. (7) formulaga ko'ra De — Broyl to'liqning nazariy qiymati uchun $(\lambda_B \text{ nazar} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ m})$ asosiy maksimumlarining koordinatalari $Y_{\max \text{ eksp}}$ ni hisoblang. Bu natijalarni $Y_{2, \text{tirqish}}$ qiymati bilan taqqoslang va keyingi hisoblashlarda bu qiymatlarni hisobga oling.

$Y_{1, \text{tirqish}}$ va $Y_{\max \text{ eksp}}$ ustunlardagi qiymatlarni taqqoslang va olingan natijani tushuntiring.

3. $Y_{2, \text{tirqish}}$ qiymatidan foydalanib (10) formula asosida De-Broyl to'liq uzunligi λ_B ni hisoblang va 2-jadvalga kiriting.

4. Olingan natijalarning o'rtacha qiymatlarini $\lambda_B \text{ o'rt}$ hisoblang va nazariy $\lambda_B \text{ nazar}$ qiymat bilan solishtiring, xulosa chiqaring. Hisoblash natijalari 2-jadvalga kiritilgan.

5. (10) formuladan foydalanib, har bir tajriba uchun De-Broyl to'liq uzunligini λ_B ni hisoblab va olingan qiymatlarni 2-jadvalga kiriting. Bu yerda $\sin \alpha = \frac{Y}{\sqrt{Y^2 + L^2}}$ va barcha tajribalar uchun $L = 0,1 \text{ m}$.

6. (10) formulaga ko'ra har bir tajriba uchun De-Broyl to'liq uzunligi nazariy qiymatlari $\lambda_B \text{ nazariy}$ ni hisoblang va olingan qiymatlarni 2-jadvalga kiriting.

7. De-Broyl to'liq uzunliklarining nazariy va eksperiment qiymatlarini solishtiring va xulosa chiqaring.

1-jadval. Laboratoriya ishlari variantlari.

№	Difraksiyon tirqish kengligi 10^{-10} m			Panjara davri 10^{-10} m	Elektronlar tezligi 10^7 m/s		
	Δx_1	Δx_2	Δx_3	d_1	v_1	v_2	v_3
1	2	2,8	3,6	1	1,5	1,9	2,25
2	2,1	2,9	3,5	1,1	1,55	1,95	2,3
3	2,2	3	3,7	1,2	1,6	2	2,35
	2,3	3,1	3,8	1,3	1,65	2,05	2,4
	2,4	3,2	3,9	1,4	1,7	2,1	2,45
	2,5	3,3	4	1,5	1,75	2,15	2,5

2-jadval. Bir va ikki tirqishli to'siqda zarralar difraksiyasi uchun

De-Broyl to'liq uzunligini hisoblash.

Δx_i 10^{-10} m	Maksimum lar tartibi	$Y_{1, \text{tirqish}}$ 10^{-2} m		$Y_{2, \text{tirqish}}$ 10^{-2} m		$Y_{\max \text{ eksp}}$ 10^{-2} m		$Y_{\min \text{ eksp}}$ 10^{-2} m		λ_B 10^{-11} m	$\lambda_B \text{ o'rt}$ 10^{-11} m	$\lambda_B \text{ nazariy}$ 10^{-11} m
1												4
2												
3												

Nazorat savollari

1. De-Broyl gipotezasining mohiyati nima?
2. Elektroniga mos keladigan De-Broyl to'liq uzunligini eksperimental aniqlash uchun formulani keltirib chiqaring.
3. Elektronlar difraksiyasi vaqtida intensivlik taqsimotining maksimumi yo'nalishi qanday shartni qanoatlantiradi?
4. Difraksiya tartibi nima?
5. Geysenberq noaniqligi munosabatini tushuntiring?
6. Plank doimiyining ma'nosini tushuntiring?
7. Nima uchun atrofimizdagi obyektlardagi to'liq xususiyatlarining hech qanday ko'rinishini sezmaymiz?

№ 12 Laboratoriya ishi: Geliy-neon lazerini o'rganish

Ishtirokchining maqsadi: Lazerlar va ularning tuzilishini va ishlash prinsiplari kompyuter eksperimenti orqali kuzatish va savollarga javob berish, o'zlashtirish xatoliklarini baholash.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Lazerlar ingichka monoxromatik nurlanish chiqaradigan noyob yorug'lik manbai hisoblanadi. Bunda atomlar sathlari invers to'lgan holatda majburiy nurlanish holatidan foydalanilgan. Ushbu tajriba ishlari dastlab spontan nurlanish xossalari 1-topshiriqda o'rganiladi. 2-topshiriqda sathlarning invers to'ldirilgan holatiga erishishi ko'rsatiladi. 3-topshiriqda He-Ne lazerida lazer nurlanishi olish uchun zarur shart-sharoitlar o'rganiladi.

Nazariy qism

Lazer — bu juda kichik to'liq uzunligi diapazonida yuqori monoxromatik ingichka nur chiqaradigan yorug'lik manbai. Nurlanish uzluksiz bo'lishi mumkin yoki qisqa muddatli impulslar shaklida, davomiyligi bir necha millisekundlarda 10^{-12} s dan kam bo'lgan qisqa qiyimatlarga qadar bo'lishi mumkin. Lazer nurlanishining o'ziga xosligi majburiy nurlanishning xususiyatlari, sathlarning invers to'ldirilishidan foydalanuvchi generatsiya mexanizmining o'ziga xosligi va nurlanishning rezonatorida kuchayishi tufayli erishiladi. Eng keng tarqalgan lazerlardan biri bu geliy-neon (He-Ne) lazeridir.

O'z-o'zidan (spontan) va majburiy nurlanishlar

Bizning dunyomiz shunday tuzilganki, mikrozararlar — yadro, atom va molekullarning energiyalari ixtiyoriy qiymatlarni qabul qila olmaydi. Ular energetik sathlar deb ataluvchi ma'lum bir qiymatlariga qabul qila oladi. Ushbu qiymatlarning to'plami E_i zararlarning har bir turi uchun har xil: vodorod atomi uchun boshqa, geliy uchun boshqa. Har bir zararlarning holati va uning energiyasi boshqa zararlarga bilan yoki elektromagnit maydon bilan ta'sir o'tkazishda o'zgarishi mumkin. E_2 energiyasi bo'lgan holatdan o'tayotganda yorug'lik v chastotali nurlanish (foton) chiqaradi

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (E_2 > E_1)$$

Yuqori sathga o'tishda zarralar tashqaridan keladigan xuddi shunday chastotali elektromagnit to'liqlarni yutishi mumkin.

A. Eynshteyn yorug'likning materiya bilan o'zaro ta'sirining kvant nazariyasini yaradi. Ushbu nazariyaga ko'ra, ko'plab eksperimental bilan ajoyib tarzda tasdiqlangan, elektromagnit to'liqlarning materiya bilan o'zaro ta'siri jarayoni uchta elementar aktlardan iborat — fotonlarning yutilishi va ularning o'z-o'zidan yoki majburiy emissiyasi. Agar zarracha uyg'ongan holatda bo'lsa, ya'ni uning energiyasi E_0 minimal qiymatidan yuqori bo'lsa, keyin bu holat uzoq davom etmaydi. Agar zarracha tashqi ta'sirlardan butunlay ajratilgan bo'lsa ham, bir muncha vaqt o'tgach, u foton chiqarib, past energiyali holatiga o'tadi. Bunday o'tish *spontan* (o'z-o'zidan) nurlanish deb ataladi. Alohida zarralar mustaqil ravishda ajralib chiqadi, nurlanish yo'nalishi va uning fazasi tasodifiydir. Bunday tebranishlar qo'shilganda interferensiya hodisalari kuzatilmaydi, shuning uchun bunday tebranishlar nomuvofiq deb ataladi. Barcha an'anaviy yorug'lik manbalari o'z-o'zidan yorug'lik chiqaradi. Aks holda, majburiy nurlanish paydo bo'ladi. Atom E_2 energiyasi bilan uyg'ongan holatda bo'lsa va

$$\nu = (E_2 - E_1)/h,$$

chastotali fotonlar bilan nurlantirilsa uning E_1 energiyali holatga tashqaridan kelayotgan fotonning chastotasi, fazasi va tarqalish yo'nalishi bilan bir xil bo'lgan foton chiqarib o'tishi mumkin. Tashqi nurlanishning intensivligi qanchalik yuqori bo'lsa, majburiy o'tish shunchalik ko'p sodir bo'ladi. Majburiy o'tish paytida paydo bo'lgan elektromagnit to'liqlarning fazalari tashqi to'liqlar fazasi bilan qat'iy muvofiqlashtirilganligi sababli, bunday nurlanish koherent deb ataladi. Koherent to'liqlar qo'shilsa, interferensiya hodisasi kuzatiladi.

Sathlarning invers to'lishi

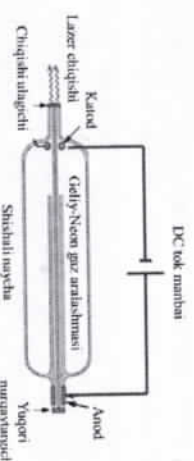
Oddiy moddada holatning energiyasi qancha yuqori bo'lsa, shu holatdagi zarrachalar kam uchraydi. Shuning uchun ham, atomlarning uyg'ongan holatga o'tishida fotonlar yutilishi, pastki holatga o'tish bilan kuzatiladigan majburiy nurlanishga nisbatan ko'proq. Buning natijasida muhida rezonans chastotasining so'nishi kuzatiladi. Majburiy nurlanish yutilishdan ko'proq bo'lishi uchun tashqi energiya manbai hisobiga uyg'ongan holatning quyi energetik holatga nisbatan o'ta to'ldirilgan (invers) holatiga erishish lozim.

Shunda muhit faol holatda bo'lib, rezonans chastotali to'liqlarni kuchaytirish qobiliyatiga ega bo'ladi. Faol muhitda rezonans chastotali kvantlarning harakatida, masalan spontan o'tishlar natijasida ular sonining ortishi — kuchayishi kuzatiladi, lekin gaz razryad naychadan bir marta o'tishda kuchaytirish koeffitsiyenti juda kichik (3-5%). Agar naycha uchlariga nurlanishni qaytaruvchi ko'zgular joylashtirilsa fotonlarning aktiv muhitdan ko'p marta o'tishi hisobiga yuqori kuchaytirishga erishish mumkin.

Hunda faqat naychaning o'qi bo'ylab harakatlanaoigan nurlanish kuchayadi, chunki naychani boshqa yo'nalishdagi fotonlar tark etadi. Ko'zgular orasidagi masofa ixtiyoriy bo'lishi mumkin emas: ko'zgularga tushgan to'liqlar va ulardan qaytgan (aks etgan) to'liqlar bir-birini kuchaytirishi uchun yarim to'liq uzunliklarining butun soni yo'l uzunligiga to'g'ri kelishi kerak. ($2k + 1 = \lambda/2$ (bu yerda, k butun son) masofada joylashgan ikkita yassi ko'zguga ega bo'lgan qurilma *rezanator* deb ataladi. Nurlanishni tashqariga chiqarish uchun ulardan birining qaytarish koeffitsiyenti birdan kichikroq (0,97-0,98) qilib yasalanadi.

He-Ne lazeri

Lazerning ishlashi uchun quyidagilar zarur:
Invers to'ldirilgan holat hosil qilingan muhit; zarrachalarni uyg'ongan metastabil holatga o'tkazish uchun energiya manbai va muhitning "faol" zarralarining sinxron



12.1-rasm. He-Ne lazerining tuzilish

lashishni ta'minlovchi rezonator.

He-Ne lazerida 15% gely va 85% neondan iborat gaz aralashmasi ishlatiladi. Ushbu aralashma har ikkala gaz xususiyatlarining qulay kombinatsiyasi tufayli faol muhit hosilolanadi (12.1-rasm). Aralashmali naychaga qo'yiladigan yuqori kuchlanish gazdagi multilama elektr maydoni hosil qiladi. Razryad jarayonida gely atomlarining bir qismi elektronlar ta'sirida uyg'onadi va energiyasi 20,6 eV bo'lgan E_2 metastabil holatga o'tadi. Neon atomlarida asosiy holat ustida energiyasi 20,66 eV bo'lgan E_3 uzoq yashovchi holat mavjud. Gely atomlari to'qnashish vaqtida o'z energiyasini spontan nurlanishga

bermasdan ko'p hollarda neon atomlariga beradi. Bunday energiya uzatish rezonans uyg'otish deb ataladi. Bu to'qnashuvlar natijasida gely atomlari E_1 holatga, neon atomi esa uyg'ongan metastabil holat E_3 ga o'tadi. Kichik energiya yetishmovchiligi (0,05 eV) harakatlanuvchi

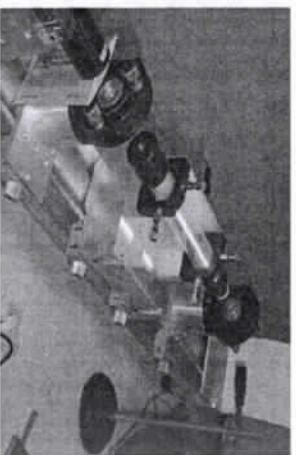
atomlarning kinetik

energiyasi bilan qoplanadi. Natijada, neon atomining metastabil holati W_3 pastki holatidan ko'ra ko'proq to'ldirilgan bo'lib chiqadi va teskari inverts to'ldirilish paydo bo'ladi, bu esa lazerning ishlashi uchun zarurdir. Shunday qilib, He-Ne lazeridagi gely uyg'onish rezervuari bo'lib xizmat qiladi, ular gelydan neonga rezonans ravishda o'tadi. Chiqarish naychasining uchlari, birinchi navbatda, keraksiz ko'zgulardan qochish, ikkinchidan, qublangan nurlanish olish uchun egilgan holatda qilingan. Rezonatorni tashkil etuvchi nometallarning holatini sozlash moslamalari yordamida sozlash mumkin. Elektr zaryadini ushlab turish uchun naycha ichidagi elektrodlanga quvvat manbaidan yuqori kuchlanish qo'yiladi. He-Ne lazeri (12.2-rasm) doimiy rejimda ishlaydi, bu ko'plab amaliy qo'llanishlar uchun qulaydir. He-Ne lazerlarining quvvati bir necha o'n millivattga yetadi.

Yaxshi ishlab chiqilgan lazerda nurning burchak divergentsiyasi faqat difraksiya bilan cheklanadi va λ/D tartibida bo'ladi, bu yerda λ - nurlanish to'liq uzunligi va D - chiqish oynasining diametri.

1-topshiriq

Ekranida shartli ravishda uchta atom tasvirlangan (12.3-rasm). Tanlangan atomning nurlanish xususiyatiga e'tibor bering (u markazda va harakatsiz). Atomlar qandaydir tarzda uyg'ongan holatga o'tadi. Uyg'ongan holatdan asosiy holatga o'tish o'z-o'zidan yoki boshqa atomning fotoni ta'sirida amalga oshishi mumkin. Ikkinchi holat, agar foton energiyasi $h\nu = E_2 - E_1$ bo'lsa, bu yerda E_2 va E_1 atom energiyasining ruxsat etilgan qiymatlari va atom holati E_2 energiyasi bilan tavsiflanadi.



12.2-rasm. He-Ne lazer qurilmasining ko'rinishi

Ekranida shartli ravishda uchta atom tasvirlangan. Tanlangan atomning nurlanish xususiyatiga e'tibor bering (u markazda va harakatsiz). Atomlar qandaydir tarzda uyg'ongan holatga o'tadi. Uyg'ongan holatdan asosiy holatga o'tish o'z-o'zidan yoki boshqa atomning fotoni ta'sirida amalga oshishi mumkin. Ikkinchi holat, agar foton energiyasi $h\nu = E_2 - E_1$ bo'lsa, bu yerda E_2 va E_1 atom energiyasining ruxsat etilgan qiymatlari va atom holati E_2 energiyasi bilan tavsiflanadi.

Chiqish

Vazifa

Sizning javobingiz

To'g'ri:

Atomga berilgan energiya

12.3-rasm. 1-topshiriq bo'yicha tajriba qurilmasining ko'rinishi.

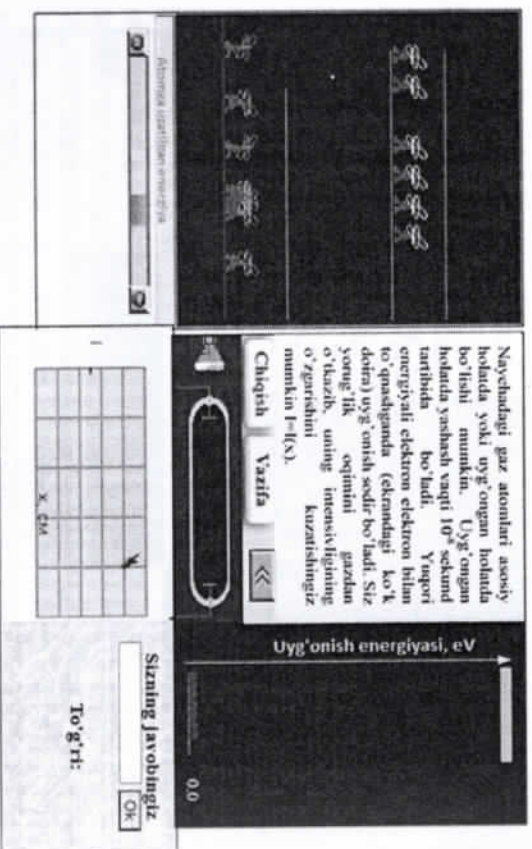
"Vazifa" tugmasini bosib va to'g'ri javobni tanlang

- o O'tayotgan yorug'lik intensivligi juda kichik
- o Bunday sistemada atomlarning uyg'onishi kuzatilmaydi
- o Atomlarning ko'pchiligi uyg'onmagan
- o Uyg'ongan holatdagi atomlar soni juda ko'p

2-topshiriq

Naychadagi gaz atomlari asosiy holatda yoki uyg'ongan holatda bo'lishi mumkin. Uyg'ongan holatda yashash vaqti 10^{-8} sekund tartibida bo'ladi. Yuqori energiyali elektron elektron bilan to'qnashganda (12.4-rasm) ko'k doira) uyg'onish sodir bo'ladi. Siz yorug'lik oqimini gazdan o'tkazib, uning intensivligining o'zgarishini kuzatishingiz mumkin $I = I(x)$.

"Vazifa" tugmasini bosib va yuqoridagi savollarga javob bering



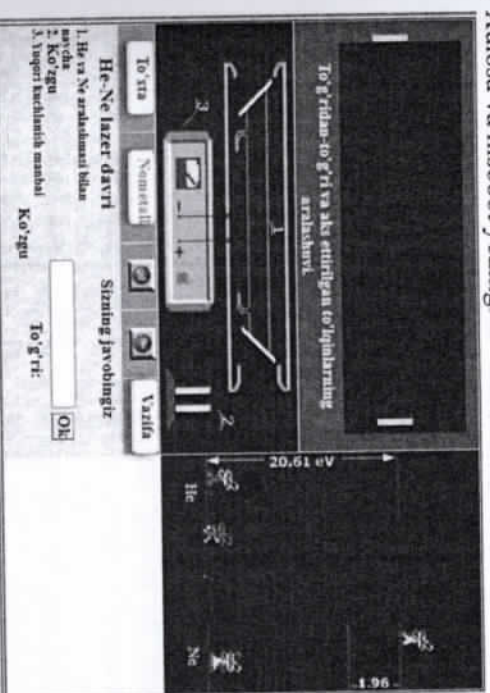
12.4-rasm. 2-topshiriq bo'yicha tajriba qurilmasining ko'rinishi.

3-topshiriq

Qurilmani ishlatish tartibi

1. Sizga lazer ishini modellashuvchi qurilmadagi topshiriqlar taklif etiladi (12.5-rasm).
2. Avval lazer qurilmasi bilan tanishib chiqing.
3. Keyin yuqori kuchlanish manbasini yoqing va gaz naychasining uchlarga nometall ko'zgular o'rnatib.
4. Endi siz hosil bo'lgan tizimni sozlashingiz kerak ("*ko'zgularni sozlash*").
5. Buning uchun mos keladigan tugmachalarni ko'zgulardan birining gorizontal o'qi bo'ylab harakatlantiring va to'g'ridan-to'g'ri va aks etgan yorug'lik to'liqining aralashuvi grafigini o'rganing va tahlil qiling.
6. Oynaning pozitsiyalaridan birida lazer yorug'lik nurini hosil qila boshlaydi.
7. Ushbu holatni qanday tavsiflar edingiz?
8. Geliy va neon atomlari o'rtasida energiya almashinuvini tasvirlaydigan modelni ishlab chiqishni ko'rib chiqing.
9. Atomlarning har biri qanday rol o'ynaydi?
10. Topshiriqlarning savollariga javob bering.

11. Xulosa va hisobot yozing.



12.5-rasm. 3-topshiriq bo'yicha tajriba qurilmasining ko'rinishi.

Nazorat savollari

1. Atomlarning o'z-o'zidan nurlanish jarayonini tushuntiring?
2. Atomlarning majburiy nurlanishi nima va uning fizik ma'nosini tushuntiring?
3. Sathlarning inverst to'ldirilishi deganda nima tushunasiz?
4. Lazer so'zining kengaytirilgan ma'nosini tushuntiring?
5. Lazerlar va mazerlar bir-biridan qanday farqlanadi?
6. He-Ne lazerining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring?
7. Lazerlarning qanday turlarini bilasiz?
8. Yoqut lazeri va He-Ne lazerining farqini tushuntiring?

№ 13 Laboratoriya ishi: Yarim o'tkazgichli lazeri o'rganish

Ishning maqsadi: 1. Yarim o'tkazgichli lazerlarning tuzilishi va ishlash prinsipi o'rganish;

2. Yarim o'tkazgichli lazerlarning to'lqin uzunligini diffraksiyon panjara yordamida aniqlash.

Kerakli jihozlar: Yarim o'tkazgichli lazer, optik taglik, diffraksiyon panjara, milimetrit qog'oz.

Nazariy qism

Yarim o'tkazgichli lazer, qattiq jismlı lazerlarning o'ziga xos turiga kiradi. Bu turdagi lazerlarda invers bandlik hosil qilishini va koherent nurlanish olishni energetik sathlar hamda energetik sohalar asosida tushuntirish mumkin. Kvant fizikasi asoslariga ko'ra, qattiq jism tashkil etgan atomlaridagi elektronlar ulardagi

yadrolar bilan elektr kuchlari orqali bog'langan bo'lib, bog'lanish energiyasi diskret qiymatlarnı qabul qiladi. Yadroga eng yaqin turgan elektron eng kichik diskret energiyaga ega bo'lib, uni eng qiyin energetik sathda joylashgan deb qarash mumkin. Bu yadrodan uzoqlashgan elektronning energiyasi yadroga eng yaqin

turgan (ya'ni eng quyi energetik sathda joylashgan) elektronning energiyasidan katta bo'lib, u biror yuqori energetik sathda joylashgan deb qabul qilish mumkin. Elektronlar joylashgan sathlar juda ko'p bo'ladi va qattiq jismining zonalar nazariyasiga asosan shu jismdagi atomlarning energetik sathlar to'plami qattiq jism energetik zonalarini tashkil qiladi.

Atomdagi har bir elektronning holati to'rtta kvant soni bilan xarakterlanadi.

Bosh kvant soni n ($n = 1, 2, 3, 4, \dots$)

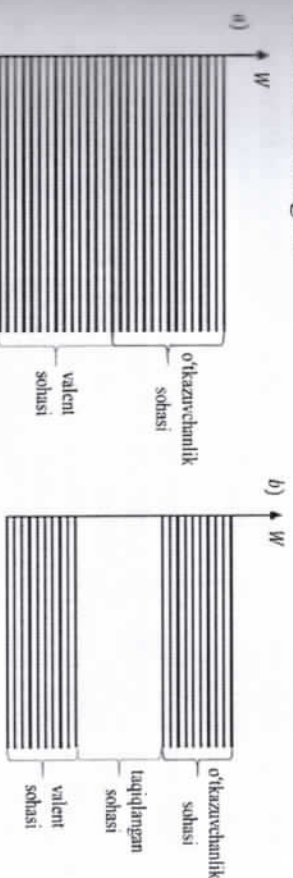
Orbital kvant soni l ($l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$)

Magnit kvant soni m ($m = -l(-l+1), \dots, 0, 1, 2, \dots, +l$)

Spin kvant soni m ($m = \pm 1/2$)

Qattiq jism atomlarining elektron qobig'idagi elektronlar yadro bilan bog'liqligi uchun ularni *valent elektronlar* deyiladi va ular joylashgan energetik sathlar to'plamiga *valent sohasi* deb qaraladi. Valent sohaning eng yuqorisida joylashgan elektronlarning yadro bilan bog'lanish energiyasiga teng energetik oraligini *taqirlagan zona* deb

qarash qabul qilingan. Bu zona valent zona bilan o'tkazuvchanlik zonaları oralig'ida joylashgan va taqirlangan zonaning energiya bo'yicha kengligi o'tkazuvchanlik zonasining quyi chegarasi energiyasidan valent zonasining eng yuqori chegarasi energiyasi ayirmasiga teng. Elektronlar energetik sathlarning va zonalarining sxematik diagrammasi 1-rasmida keltirilgan.



1.3.1-rasm. (a) metallardagi; (b) dielektrikdagi energetik zonalar diagrammalari.

Yarim o'tkazgich moddalarida energetik zonalar diagrammasi ham 1.3.1-rasmida ko'rsatilganidek bo'ladi. Faqat taqirlangan zonaning kengligi dielektriklikka nisbatan kamroq bo'lib, qiymati bir elektron volt atrofida bo'ladi. Yarim o'tkazgichli kristallar asosida tuzilgan qattiq jismlı lazerlar *yarim o'tkazgichli lazerlar* deyiladi. Bu lazerlarda ruxsat etilgan energetik zonalaridagi nurlanishli kvant kuchaytirish ko'rsatkichiga (10^4 sm^{-1}) erishish mumkin. Bu lazerlarda resonator uzunligi $50 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$ oralig'ida bo'ladi. Yarim o'tkazgichli lazerlar (YAL) nihoyatda kichikligi bilan birga inertsiyali (10^{-9} s), FIK yuqoriligi (30 %), spektral tarkibini sozlab o'zgartirish mumkinligi, faol muhit sifatida ishlatiluvchi moddalar ko'pligi, nurlanish to'lqin uzunligi $l = 0,3 - 30 \mu\text{m}$ bo'lishi bilan boshqa lazerlardan ajralib turadilar. Yarim o'tkazgichli lazerlarda faol zarrachalar erkin elektronlar va kovaklar bo'lib, ular faol muhida injeksiyalanishi, diffuziyalanishi va dreyflanishi mumkin bo'lgan erkin zaryad tashuvchilar hisoblanadilar. Yarim o'tkazgichli lazerlarda amoviy damlash usuli $n - p$ o'tish yoki getero o'tish orqali injeksiya

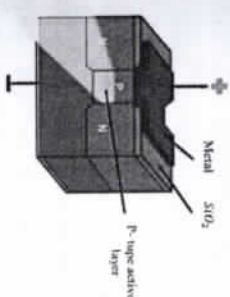
bo'lib, elektr energiyasini to'g'ridan-to'g'ri aniq kogerent nurlanish energiyasiga aylantiradi. Bu injeksion lazer deyiladi.

Damlashning elektr teshib o'tish usuli (strimer lazer), elektron bilan bombardimon qilish usuli (elektron damlashli YAL), optik damlash usullari mavjud. N.G. Basov va uning xodimlari havoia etilgan optik damlashli yarim o'tkazgichli lazerlar $n - p$ o'tishda GaAs kristallida birinchi marta R.Xoll, M.I.Neyten (AQSH) tomonidan, elektron damlashli yarim o'tkazgichli lazerlar esa Basov va uning xodimlari tomonidan yaratildi.

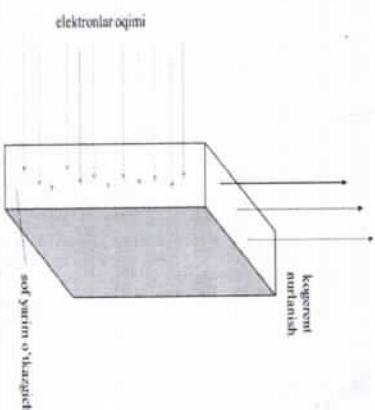
Yarim o'tkazgichlardagi nomuvozanat holatlar. Sohalar orasidagi o'tishlarda nurlanish rekombinatsiyasi.

Ideal yarim o'tkazgichda absolyut nol haroradan yuqori harorada tokning (yoki o'tkazuvcchanlikning) hosil bo'lishida o'tkazuvcchanlik sohasida elektronlarning hosil bo'lishida issiqlik harakati asosiy rol o'ynaydi. Boshqacha qilib aytganda musbat absolyut harorada sohalar orasida issiqlik muvozanati hosil bo'lishi hisobiga o'tkazuvcchanlik sohasida elektronlar hosil bo'ladi. Issiqlik muvozanati holatida bo'lgan yarim o'tkazgichlar lazer uchun yaroqsiz hisoblanadi. Lazerlarda qo'llanilishi uchun yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar nomuvozanat holatida bo'lishi kerak. Yarim o'tkazgichlarni bu holatga har xil yo'llar bilan o'tkazish mumkin. Lazerlarda foydalaniladigan yarim o'tkazgichlarda bu maqsadda uch xil usuldan foydalaniladi:

1) yarim o'tkazgichlar katta chastotadagi tashqi nurlanish bilan yoritiladi (optik uyg'otish usuli) optik damlash yordamida ya'ni quvvati kogerent yoki nokogerent nurlarda yarim o'tkazgichli atomlarni yorug'lik kvantlari bilan nurlantirish; (13.2-a, rasm)



13.2- rasm. a) optik damlash usuli.



b) Elektronlar oqimi bilan damlash usuli.

2) yarim o'tkazgichlar elektron oqimi bilan nurlantiriladi; elektronlarni qo'zg'atish usuli bilan, ya'ni tezkor elektron oqimi bilan yarim o'tkazgichni bombardimon qilish; (13.2 b- rasm)

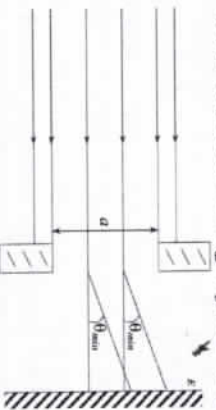
3) Tashqi elektr maydonidan foydalaniladi: $p - n$ o'tishda to'g'ri kuchlanish berilganda zaryad tashuvchilarning injeksiyasi yordamida kuzatish mumkin;

Keyingi holatda $p - n$ o'tishlardan foydalanish eng samarali hisoblanadi. Zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi nomuvozanat bo'lgan yarim o'tkazgichlarda nurlanish rekombinatsiyasini qarab chiqamiz. Rekombinatsiya jarayoni erkin zaryad tashuvchilar jufti elektron va teshiklarning yo'qolishiga olib keladigan jarayon hisoblanadi. Umumman olganda, rekombinatsiya tufayli ajralib chiqqan energiya uch xil jarayon ko'rinishida amalga oshadi: foton hosil bo'lishi (nurlanish rekombinatsiyasi), pajaraning qizishi (fononlar hosil bo'lishi), zaryad tashuvchilarning kinetik energiyasini oshishi (Oje rekombinatsiyasi). Lazer nurlanishi shu jarayonlarning birinchisi bilan, ya'ni nurlanish rekombinatsiyasi bilan bog'liq.

Yorug'lik nurining kichik tirgishdan o'tishi natijasida og'ishiga yoki to'siqni aylanib o'tishiga *diffraksiya hodisasi* deyiladi.

Oddiy sharoitlarda yorug'lik to'liqlarining diffraksiya hodisasi kuzatilmaydi. Yorug'lik diffraksiyasini kuzatish uchun masxus shart-sharoitlar yaratish zarur. Buning sababi, avvalo yorug'likning to'liq uzunligi λ to'siqlar (yoki tirgishlar) «a» o'lchamlaridan ko'p marta

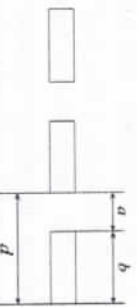
kichik bo'lishidir. Shuning uchun difraksiyani, ya'ni yoritilganlikning oddiy tasvirdan farqlanishini kuzatish (geometrik optika asosida) to'siqqa nisbatan katta l masofalarda ($l \geq \frac{a^2}{\lambda}$) mumkin bo'ladi. Misol uchun o'zgaruvchan tirgishning kengligidan to'liq fronti yassi bo'lgan yorug'likning (lazer nuri dastasining) o'tishida quyidagi tasvirni kuzatish mumkin (13.3-rasm). Tirgish kengligi a nisbatan katta bo'lganda ($l \gg \frac{a^2}{\lambda}$) tirgish kengligini kamayishi tasvir o'lchamining kamayishiga olib keladi. Tirgish kengligi a to'liq o'lchamiga tenglashgani sari ($l \geq \frac{a^2}{\lambda}$) tasvir o'lchami kuzatilayotgan masofada kattalashib boradi va bir necha tasvirlarga ajralib ketishi mumkin.



13.3-rasm. Cheklangan nur dastasining burchakli yoyilishi.

Difraksiya hodisalarini Gyuygens-Frenel prinsipi asosida tushuntirish mumkin. Bu prinsipga asosan to'liq sirtining har bir nuqtasini ikkilamchi sferik to'liqlar manbalari sifatida qarash mumkin. Shuning uchun ekraning biror nuqtasidagi yorug'lik tebranishlarini, shu nuqtaga keluvchi ikkilamchi to'liqlarning amplituda va fazalarini e'tiborga olib, ularning qo'shilishidan iborat deb qarash mumkin.

Yorug'likning difraksiya hodisasini difraksiya hosil qiluvchi panjara yordamida ham kuzatish mumkin.



13.4-rasm. Difraksion panjara ta'rifi ga doir.

Difraksiya hosil qiluvchi panjara degani-mizda shaffof shisha plastinkaga davriy ravishda parallel qilib, nurni o'kazmaydigan qora chiziqlar tushirilgan, oralar esa nurni

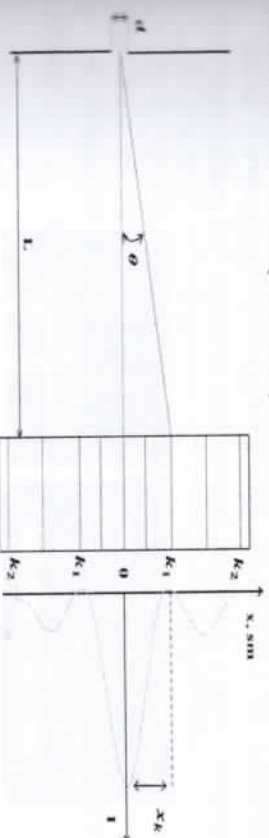
o'kazuvchi optik moslamaga aytiladi. Demak, qora chiziqlar orasini tirgish deb qarash mumkin (tirgishlar soni 1 mm da 1700 ta gacha bo'lishi mumkin). Difraksiya hosil qiluvchi panjaraning d davri deganda, qora chiziqlar eni b bilan tirgishlar eni a yig'indisiga aytiladi (13.4-rasm).

Demak,

$$d = a + b. \quad (1)$$

Difraksiya hosil qiluvchi (difraksion) panjaraning sirtiga parallel nurlar dastasi (yassi to'liqlar) tushayotgan bo'lsin. Gyuygens-Frenel prinsipiga asosan difraksion panjaradagi tirgishning har bir nuqtasini turli yo'nalishlarda nurlar tarqatish markazi deb qarash mumkin.

Tirgishlardan chiqayotgan nurlar o'zaro interferensiyalanadi va bir xil yo'nalishlarda bir-birini kuchaytiradi, boshqa yo'nalishlarda susaytirishi mumkin. Difraksiyalangan nurlarning interferensiyasi natijasida linzaning fokal tekisligida joylashgan ekranda tiniq maksimum va minimum intensivlik taqsimotiga ega bo'lgan difraksion manzara hosil bo'ladi (13.5-rasm).



13.5-rasm. Laboratoriya qurilmasining sxemasi.

Manzaradagi bosh maksimumlarga bo'lgan θ_n yo'nalishlar (ularning fokal tekislikdagi holati) qo'shni tirgishlardan chiqqan ikkilamchi to'liqlarning o'zaro kuchayishidan aniqlanadi (yo'l farqi butun songa karrali to'liq uzunligiga teng):

$$d \sin \theta_n = \pm k \lambda, \quad (2)$$

bu yerda, k – har qanday butun ($0, \pm 1, \pm 2 \dots$) son. Bu son markaziy maksimumdan boshlab, qolgan maksimumlar tartibini bildiradi.

Bosh maksimum uchun $k = 0$, $\sin \theta = 0$ bo'ladi va uning yorqinligi katta bo'ladi. Undan chapda va o'ngda birinchi, ikkinchi va

hokazo tartibli yoritilganlik maksimumlari bo'ladi. Agar diffraksiyalanayotgan nur monoxromatik bo'lsa, maksimumlar oralig'i ingichka qorong'i yo'lklar bilan ajralgan bo'ladi.

Difraksion panjara dan ekrangacha bo'lgan masofa (L), nolinci va k tartibli maksimumlar orasidagi masofa (x_k) va diffraksion panjara doimiy (d) deb belgilasak, yarim o'tkazgichli lazer to'liq uzunligi (λ) ni aniqlash uchun ishchi formulani keltirib chiqaramiz.

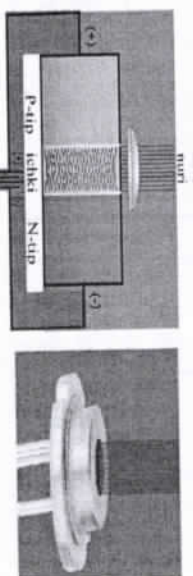
Difraksiyaning kichik burchaklarida $tg\theta_n \approx \sin\theta_n$ deb qarashimiz mumkin.

$$tg\theta_n \approx \frac{x_k}{L} \quad (3)$$

Shuning uchun (2) va (3) formulalardan quyidagi munosabatni olish mumkin:

$$\lambda = \frac{x_k \cdot d}{L} \quad (4)$$

Bu ifodadan ko'rinish turibdiki, diffraksion panjara dan ekrangacha bo'lgan masofa (L), nolinci va k tartibli maksimumlar orasidagi masofa (x_k) va diffraksion panjara doimiy (d) kattaliklari o'lchash natijasida, yarim o'tkazgichli lazer to'liq uzunligi (λ) ni aniqlaymiz.



13.6-rasm. Yarim o'tkazgichli lazerning ichki tuzilishi va ko'rinishi.

Ishni bajarish tartibi:

1. Qurilmani 13.5-rasmida ko'rsatilgandek qilib yig'ing.
2. Difraksion panjara optik taglikka o'rnatiladi.
3. Yarim o'tkazgichli lazer tok manbaiga ulanadi va diffraksion panjara orqali diffraksion manzara kuzatiladi.
4. Ekrandan diffraksion panjaragacha bo'lgan masofa (L) ni o'lchang.
6. Nolinci va k tartibli maksimumlar orasidagi masofa (x_k) ni o'lchang.

7. Kichik burchaklar uchun $tg\theta_n \approx \sin\theta_n$ bo'lganligi uchun $tg\theta_n = \frac{x_k}{L}$ nisbat topiladi va (4) formuladan to'liq uzunliklarini hisoblaymiz.

8. O'lchash va hisoblash natijalarini quyidagi jadvalga yozamiz.

No	Rang	$d, (m)$	k	$L, (m)$	$x_k (m)$	$\lambda, (m)$	$\lambda_{o'rt}, (m)$	$\Delta\lambda, (m)$	$\Delta\lambda_{o'rt}, (m)$	$\varepsilon, (\%)$
1	Qizil									
2	Yashil									
3										

9. Tajribadagi o'lchashlarning xatoliklari aniqlanadi.

Nazorat savollari

1. Difraksiya hodisasini tushuntiring va diffraksiyani kuzatish shartini yozing.
2. Gyuygens va Gyuygens-Frenel prinsiplarini tushuntiring.
3. Bir tirgish orqali diffraksion manzarani chizing va diffraksion maksimum va minimumlarning hosil bo'lishini tushuntiring.
4. Difraksion panjara uchun maksimum va minimum shartlarini yozing.

№ 14 Laboratoriya ishi: Lazer nurining suyuqlikda yutilish qonuniyatlarini o'rganish

Ishning maqsadi: 1. Lazer nurlanishi asosida yotadigan fizik jarayonlarni o'rganish;

2. Yutilgan va moddalardan o'tgan nurlar intensivligining o'zgarish qonunlarini tajribada o'rganish.

Kerakli jihozlar: LG -104 tipidagi geliy-neon gaz lazeri, fotoelement, suyuqlik solinadigan ikki tommoni shaffof har xil uzunlikdagi trubkalar, shativ, universal mikrometr, himoya qobig'i.

Nazariy qism

Elektromagnit to'lqinlar suyuqlikka tushganda qisman yutiladi va qisman o'tadi.

Dastlab elektromagnit to'lqinlarining optik bir jinsli muhitdan o'tish jarayonini tahlil qilaylik.

Elektromagnit to'lqin optik bir jinsli moddadan o'tganda to'lqin energiyasining bir qismi elektronlar tebranishini oshirishga sarf bo'ladi. Bu energiya qisman elektronlar uyg'otgan ikkilamchi to'lqin tarzida nurlanishga qaytadi, qisman esa boshqa turdagi energiyaga aylanadi. Shunday qilib, yorug'lik moddadan o'tganda uning intensivligi kamayadi — yorug'lik moddada yutiladi.

Tajriba ko'rsatadiki, yorug'lik intensivligining o'zgarishi dx masofa va tushayotgan yorug'lik intensivligi I ning kattaligiga proporsional:

$$dI = -kI/dx \quad (1)$$

Bu ifodada k -yutilish koeffitsiyenti bo'lib, u yutuvchi modda xususiyatiga bog'liq. Minus ishora dx masofada yorug'lik intensivligi dI ga kamayishini ko'rsatadi.

Yorug'likning yutuvchi qatlamlarga kirish paytidagi intensivligi I ga teng bo'lsin. Moddaning dx qalinlikdagi qatlamdan o'tgan yorug'likning dI intensivligini topaylik. Buning uchun (1) ifodani o'zgaruvchilarga ajratib, so'ng integrallaymiz:

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -k \int_0^x dx$$

Natijada $\ln I - \ln I_0 = -kx$ hosil bo'ladi, bundan

$$I = I_0 \cdot e^{-kx} \quad (2)$$

(2) munosabat *Buger qonuni* deb ataladi. Bu qonunga asosan yorug'lik intensivligi yutuvchi moddada eksponensial kamayadi. $l = 1/k$ bo'lganda I intensivlik I_0 ga nisbatan e marta kam bo'ladi. Shunday qilib, yutilish koeffitsiyenti o'tayotgan yorug'lik intensivligini e marta kamaytiradigan qatlam qalinligiga teskari bo'lgan kattalikdir. Yutilish koeffitsiyenti k to'lqin uzunligi λ ga bog'liq.

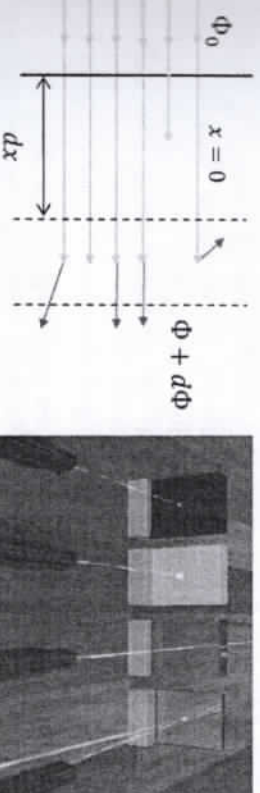
Atom yoki molekulari devari o'zaro ta'sirlashmaydigan holadagi moddalar (gazlar) da yutilish koeffitsiyenti ko'rinishi soha to'lqin uzunliklari uchun nolga yaqin, faqat juda qisqa ($\lambda < 3000 \text{ \AA}$) spektral to'lqinlarda keskin bo'lgan maksimumlarga ega. Bu maksimumlarga to'g'ri keluvchi chastotalar atomdagi elektronlar tebranishlarining rezonans chastotalariga mos keladi. Ko'p atomli molekularlar uchun ham ular tarkibidagi elektronlar tebranishlariga mos chastotalarda yutilish maksimumlari kuzatiladi.

Molekulari o'zaro sust ta'sirlashadigan eritmalar uchun yutilish koeffitsiyenti konsentratsiyaga to'g'ri proporsional:

$$k = k' \cdot n, \quad (3)$$

bu yerda, n -eritma konsentratsiyasi, k' -bitlik konsentratsiya uchun yutilish koeffitsiyenti. Bu ifoda *Beer qonuni* deyiladi. (3) ifodani (2) ga qo'yib, *Buger-Lambert qonunining* eritmalar uchun ko'rinishini hosil qilamiz:

$$I = I_0 \cdot e^{-n k' x} \quad (4)$$



14.1 - rasm. Laboratoriya qurilmasining ishlash prinsipi va tashqi ko'rinishi.

Yuqorida keltirilgan (2) va (4) ifodalar optik bir jinsli bo'lgan muhit uchun o'rinni bo'ladi. Optik bir jinsli bo'lmagan muhitda ikkilamchi elektromagnit to'lqinlarning bir qismi har tomonga

sochiladi. Bu sochilish natijasida dastlabki yorug'lik oqimining energiyasi kamayib boradi.

Yutuvchi muhida tarqalayotgan keng parallel yorug'lik dastasini ko'raylik. $x = 0$ tekislikdagi boshlang'ich yorug'lik oqimini F_0 orqali belgilaylik. Muhida dx qatlami o'tganda yutilish va sochilish hisobiga yorug'lik oqimi susayadi va uning qiymati $\Phi(x)$ dastlabki Φ_0 ga nisbatan kamayib boradi. Muhitning dx kenglikdagi qismidan o'tuvchi, yoki $x + dx$ qatlaman o'tgan oqim $\Phi + d\Phi$ ga teng va kattaligi Φ_0 ga nisbatan kam bo'ladi. U holda Buger-Lambert qonunining yorug'lik oqimi orqali ifodalangan ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Phi(x) = \Phi_0 \cdot e^{-k_0 x} \quad (5)$$

bu yerda, k_0 - yorug'lik oqimining susayish koeffitsiyenti bo'lib, yutuvchi muhitning tabiatiga bog'liq bo'lgan kattalikdir, sochilish tufayli yorug'lik oqimining susayishini

$$k_0 = k + \mu \quad (6)$$

ko'rinishda yozish mumkin.

Shunday qilib, yorug'lik oqimi biror shaffof muhitdan o'tganda susayadi. Yorug'likning yutilishi va sochilishini ifodalovchi k_0 ni yutish va μ sochish koeffitsiyentlari orqali ifodalasak:

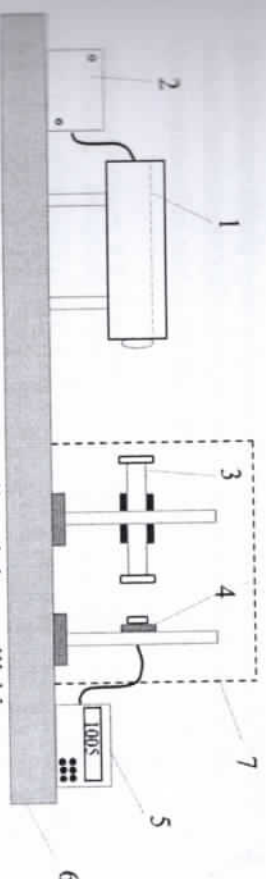
$$\Phi(x) = \Phi_0 \cdot e^{-(k+\mu)x}, \quad (7)$$

(2), (4) va (7) ifodalardan shu narsa ma'lum bo'ladiki, shaffof suyuqliklarda yorug'likning yutilishini o'rganish uchun kuchli yorug'lik oqimi hosil qilinishi kerak.

Lazer nurining suyuqliklarda yutilish qonuniyatlarini o'rganishda kam quvvatli geliy-neon gaz lazeridan foydalanamiz. Chunki katta energiyali elektromagnit to'lqinlar suyuqliklardan o'tayotganda nochiqliq hodisalar ro'y berishi va suyuqliklarning molekular bog'lanishi buzilishi mumkin.

Ekspirimental qurilma va ishini bajarish tartibi

Suyuqliklarda yorug'lik to'lqinlarining yutilish qonuniyatlarini o'rganish maqsadida yig'ilgan qurilma geliy-neon gaz lazeri 1, tok manbai 2, o'rganilayotgan suyuqlik solinadigan ikki tomoni shaffof har xil uzunlikdagi trubkalar 3, optik taglik 6, himoya qobig'i 7, fotoelement 4 va mikroampermetr 5 dan tashkil topgan (14.2-rasm).



14.2- rasm. Laboratoriya qurilmasining tuzilishi.

Ishni bajarishdan oldin gaz lazeri, suyuqlik solingan trubka va fotoelement bir optik o'qda joylashishi ta'minlanadi. Bizga ma'lumki lazer nuri koherent to'lqin hisoblanadi. Ana shu koherent yorug'lik to'lqinlarining suyuqliklarda susayishini o'rganish suyuqlikning yorug'likni yutishi bilan bog'liq xossalarni ochib berishga mo'ljallangan. Ana shunday xossalardan biri suyuqlikdan o'tayotgan yorug'lik oqimining suyuqlik konsentratsiyasiga bog'liqligidir.

Laboratoriya ishida yorug'lik oqimini qayd qilish uchun yarim o'tkazgichi fotoelementdan foydalaniladi. Fotoelementda unga tushgan yorug'lik oqimiga proporsional miqdorda fototok hosil bo'ladi. (Stoletov qonuni). Bunday fotoelementni tanlash uning spektral sezgiriligi lazer to'lqin uzunligi sohalarida katta ekanligi bilan asoslanadi. Fototok yuqori sezgirlikka ega bo'lgan suyuq kristallar asosida ishlaydigan raqamli mikroampermetr yordamida qayd qilinadi. Yorug'likning susayish qonunlarini o'rganish uchun suyuqlik sifatida distillangan suv, osh tuzi va shakarining suvdagi erimasidan foydalaniladi. O'lchashlarni tashqi yorug'likdan himoya qobig'i ostida yoki qorong'ulikda o'tkazish lozim. Mazkur ishda lazer nurining suyuqliklarda yutilishi koherent yorug'lik to'lqinlarini yutuvchi muhit qat'irligiga va konsentratsiyasiga bog'liqligini o'rganish mumkin.

Ishni bajarish tartibi:

1. Gaz-lazeri tok manbaiga ulanadi va 5-10 minut qizdiriladi;
2. Biror konsentratsiyali suyuqlik yoki distillangan suv olinadi va 9-10 xil uzunlikdagi trubkalarga quyiladi.
3. Bo'sh trubkadan o'tgan lazer nuri hosil qilgan fototokning maksimal qiymati mikroampermetr ko'rsatishidan yozib olinadi.

4. Ma'lum konsentratsiyali suyuqlik solingan eng kichik uzunlikdagi trubkadan boshlab naychalarni lazer nuri yo'lga navbatma-navbat shtativ yordamida o'rnatiladi va har bir uzunlik uchun mikroampermetr ko'rsatishi yozib olinadi.
5. Har bir uzunlikdagi naychalar uchun tajribani 3-4 marta takrorlang va fototokning o'rtacha qiymatini aniqlang.
6. Olingan natijalar asosida $I_0 \tau = f(I)$ grafigini chizing.
7. Endi bir xil uzunlikdagi 7 — 8 ta trubka olib, unga n_0 , $n_0/2$, $n_0/4$, $n_0/8$, $n_0/16$, $n_0/32$ konsentratsiyali suyuqlik solinadi.
8. Har bir konsentratsiyali suyuqlik lazer nuri yo'lga qo'yiladi va tajribalar takrorlanib fototok qiymatlarining o'rtachasi $I_0 \tau$ topiladi.
9. Berilgan uzunlikdagi suyuqlik uchun $I_0 \tau = \gamma(n)$ bog'lanish grafigi chiziladi.
10. O'chash xatoliklarini baholang.
11. Olingan tajriba natijalarini nazariya bilan taqqoslang.

№	l (m)	I (A)	n_0 (m^{-3})	k
1 (bo'sh idish)		I_0	0	
2			$n/2$	
3			$n/4$	
4			$n/8$	
5			$n/16$	
6			$n/32$	
7			$n/64$	
8			$n/128$	
9			$n/512$	
O'rtacha				

Nazorat savollari

1. Lazer nurlanishida yuz beradigan jarayonlarni tushuntiring.
2. Lazerlarning qanday turlarini bilasiz?
3. Geliy-neon lazerining ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Yorug'lik nurlarining moddalardan o'tganda qaytgan, yutilgan va o'tgan nurlarning intensivliklarining o'zgarish qonuniyatlarini tushuntiring.
5. Yorug'likning tutash muhitda yutilishi yutuvchi muhit qalinligiga va konsentratsiyasiga qanday bog'liq?

№ 15 Laboratoriya ishi: Yadroviy nurlanishlarni qayd etuvchi qurilmalar- detektorlarning tuzilishi va ishlash prinsipini o'rganish

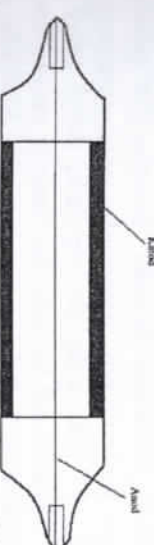
Ishning maqsadi: turli nurlanish manbalaridan chiqadigan yadroviy nurlanishlarni qayd etish usullarini, qayd etuvchi asboblardetektorlarning tuzilishi va ishlash prinsiplari bilan tanishish.

Kerakli jihozlar: Geyger-Myuller sanagichi, scintilyator, fotoko'paytirgich va boshqa detektor namunalari, DP-5 A,B,V rentgenometri, detektorlarning ishlash prinsipini tushuntiruvchi: sxemalar va boshqa rasmlar.

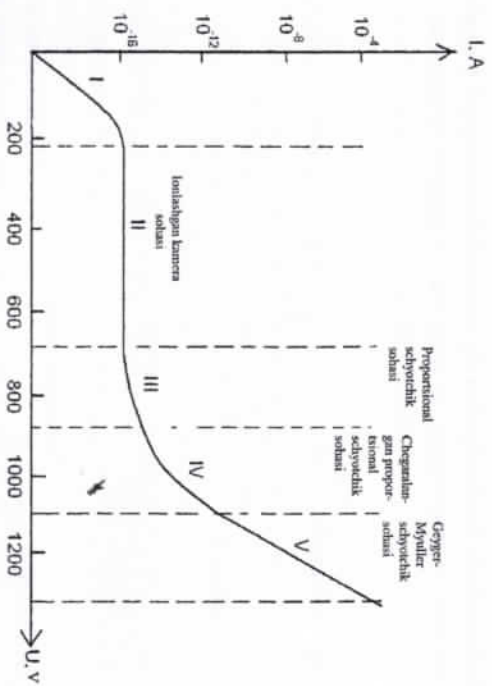
Nazariy qism

Geyger-Myuller sanagich

Geyger-Myuller sanagichlarini ionlashgan kamera va proporsional sanagichlardan asosiy farqi shundan iboratki, tok impulsining qiymati birlamchi zaryadlarga bog'liq emas. Demak, bu sanagichlar yordamida faqat nurlanish oqimining zichligini aniqlash mumkin. Zarrachalarning intensivligi va energiyasi haqida hech qanday ma'lumot olib bo'lmaydi. Ishlash prinsipini razryadlanish mexanizmi yordamida tushuntirish mumkin. Nurlanishlar ta'sirida hosil bo'lgan birlamchi zaryadlar sanagichda razryadni yuzaga keltirish uchun zarurdir. Keyinchalik razryadlanish mustaqil davom etadi. Bu jarayonning sodir bo'lishi uchun sanagichka yetarli darajada kuchlanish berish kerak bo'ladi. Shu sababli Geyger-Myuller sanagichlarining ish kuchlanishlari proporsional sanagichlarning ish kuchlanishiga qaraganda katta bo'ladi. Bu sanagichning ishlash sohasi 15.2- rasmda ko'rsatilgan grafigidagi (V) sohaga to'g'ri keladi.



15.1-rasm. Geyger-Myuller sanagichining tuzilishi.



1.5.2-rasm. Yadroviy nurlanishlarini qayd etuvchi qurilmalarning volt-ampere xarakteristikasi bo'yicha ishlash sohalar.

Agar razryadlarni so'ndirish choralari ko'rilmasa, sanagichning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati bo'lmaydi. Razryadlarni so'ndirish uchun bir qator usullar ishlab chiqilgan.

O'zini o'zi so'ndiruvchi sanagichlarda asosiy gaz tarkibiga qo'shimcha gazlar kiritiladi va bu gazlar razryadlanishni so'ndirish vazifasini bajaradi. Umumiy gazning 90% ini asosiy gaz, qolgan 10% ni esa so'ndiruvchi gaz tashkil qiladi. Qo'shimcha gaz sifatida ko'pincha spirt bug'lar va efir ishlatiladi. So'ndiruvchi gaz quyidagi talabga javob berishi lozim. So'ndiruvchi gazdagi birlamchi ionlashish potentsialining qiymati, asosiy gazdagi birlamchi ionlashish potentsialidan har doim katta bo'lishi kerak. Sanagichning ishlashi quyidagicha bo'ladi: birlamchi zaryadi zaracha gaz atomlari bilan ta'sirlashib, ularni ionlashtiradi. Elektronlar anod elektrodiga qarab harakatlanadi va 10^{-8} sek oralig'ida yig'iladi. Anod tolasi atrofida fazoviy musbat zaryad hosil bo'ladi. Bu fazoviy zaryad anod tolasi oldidagi elektr maydoni kattaligini kamaytiradi. Natijada elektron-foton shiddatli jarayonini so'ndiradi. Sanagich keyingi zarachani qayd qilishga tayyor bo'ladi. Keyingi zarachani qayd qilishga tayyor bo'lishi uchun musbat zaryadlar anoddan ma'lum kritik masofaga borishlari lozim bo'ladi. Shundan keyingina elektr maydoni o'zining

boshlang'ich qiymatiga ko'tariladi. Bu vaqt oralig'iga sanagichning tiklanish vaqti deyiladi. Ikki ketma-ket kelgan zarachalarni qayd qilish mumkin bo'lgan vaqt oralig'i sanagichning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini belgilaydi.

O'zi so'nuvchi sanagichlar turli xil zarachalarni qayd qilish uchun ishlatiladi. Sanagichning qayd qilish qobiliyati zarachaning turiga bog'liq. Zaryadi zarachalar uchun qayd qilish qobiliyati 100% ga yaqindir. Qayd qilish qobiliyatini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$\varepsilon = 1 - \exp(-\omega L P / P_0)$$

bu yerda ω - zarachaning normal bosimdagi 1 sm masofadagi birlamchi solishtirma ionlashirish kattaligi; L - zarachani sanagichdagi hosil bo'lgan yo'li; P - sanagich ichidagi gazning bosimi. Geyger-Muller sanagichi yordamida α -, β -, γ -nurlarni qayd qilish mumkin. Bu sanagichlarning past kuchlanishlarda ham ishlaydigan ko'rinishlari mavjud bo'lib, ular galogen sanagichlari deb yuritiladi. Bunda gely yoki neon tarkibiga kam miqdordagi argon gazi qo'shildi. Razryadlanish mexanizmi boshqa ko'rinishni oladi. Neonning birinchi uyg'ongan holati metastabil bo'lib, neon atomlarini elektronlar ta'sirida uyg'ongan holatiga o'tkazish uchun kichik elektr maydoni yetarlidir.

Quyidagi jadvalda dozimetr asboblarda ishlatiladigan sanagichlardan bir nechasi ko'rsatilgan.

Dozimetr asboblarda ishlatiladigan sanagichlar

Katoliklar	O'lov birligi	SBT-7	MST-17	SI-3BG	STS-5	SI-34G
Ish kuchlanishi	V	380	1300	390	390	300
Sanog kuchlanishi	V	300	1200	300	300	300
bo'linadigan kuchlanish						
γ nurlanishga sezgirligi	imp/s	-	-	235	27	50
Nurlanishning eng katta quvvati	P/h	-	-	300	0,5	500
Sanagichdagi eng katta tok qiymati	μA	-	-	20	-	15
T_{on}	imp/s	1	1	-	-	-

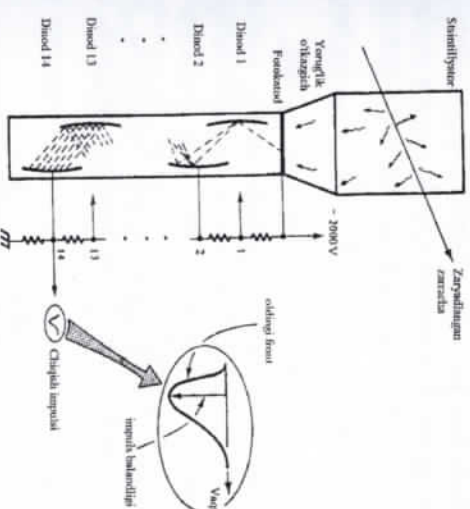
Ssintillyatsion detektorlar

Dastlabki ssintillyatsion detektor-sintariskop, 1903-yilda Vilyam Kruks tomonidan yaratilgan. Bu asbob rux sulfidi ($Zn\ S$) qoplangan ekran va mikroskopdan iborat. Alfa-zarralar ekranga kelib urtisa, unda yorug'lik chaqnashlari kuzatilgan va chaqnash qayd etilgan. Inson ko'zi ko'rishining inertijsi tufayli bu usuldan foydalanish uzoq vaqtgacha ishlatilmadi. 1944 — yilga kelib inson ko'zi o'rninga fotoko'paytirgich ishlatila boshladi va ssintillyatsion detektorlar ommalashti.

Zamonaviy ssintillyatsion detektor tuzilishi va undan olinadigan elektr signal ko'rinishi 15.3-rasmda keltirilgan. Bu qurilmada ssintillyatsion yorug'lik o'tkazgich orqali fotoko'paytirgichga ulangan. Ssintillyator orqali o'tayotgan zarracha undagi atomlarni uyg'ongan holatga o'tkazadi. Uyg'ongan atomlar foton chiqarish orqali dastlabki energetik holatiga qaytadilar. Chiqarilgan fotonlar maxsus shakl berilgan yorug'lik o'tkazgich orqali fotoko'paytirgich fotokatodiga uzatiladi. Fotokatodga tushgan fotonlar undan elektron urib chiqaradi. Bu elektronlar elektr maydonida tezlashib, fotoko'paytirgichning 1-dinodiga fokuslanadi. Dinodga urilgan har bir birlamchi elektron $2 \div 5$ ta ikkilamchi elektron urib chiqaradi. Ikkilamchi elektronlar ikkinchi dinodga urilib uchlamchi elektronlarni chiqaradi va jarayon shu taxlida davom etadi. Ushbu qurilmalarda 14 tagacha fotoko'paytirgich bosqichlari bo'lib, signalni 10^9 martaqacha o'ttirish va shu orqali fotoko'paytirgich chiqishida o'tlash uchun qulay kattalikdagi signalni olish mumkin. Fotoko'paytirgich oxirgi dinodida olingan elektr signal shakli 15.3-rasmda alohida ko'rsatilgan.

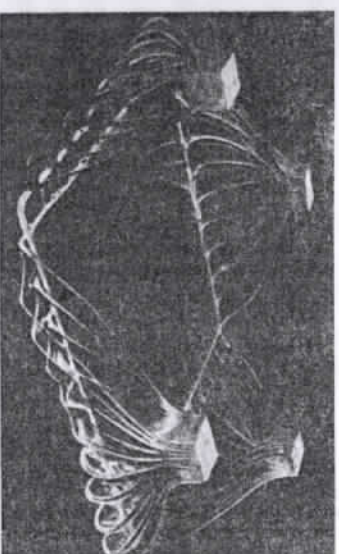
Hozirgi vaqtda natriy yodli va plastik ssintillyatorlar keng qo'llaniladi. Natriy yodli kristallga lyuminisensiya markazi sifatida xizmat qiluvchi talliy (Tl) elementi kam miqdorda ishlatiladi. Shuning uchun ham uning formulasi quyidagicha yoziladi: $Na(Tl)$.

Bu anorganik kristallarning gamma-nurlarga sezgirligi ancha yuqori bo'lsa-da, chaqnashning so'nishi juda sekin kechadi ($\sim 0,25\ \mu s$). Bundan tashqari $Na(Tl)$ birlamchi namikka o'ta sezgir (gigroskopik) va katta kristallar juda qimmat turadi.



15.3-rasm. Ssintillyatsion detektor tuzilishi va fotoko'paytirgichda olingan elektr signali.

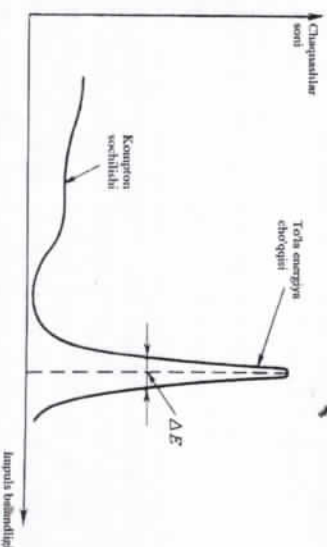
Plastik ssintillyatsion sanagichlar, masalan, terfenil aralashmali politsirin ancha arzon turadi. Bu moddalarni plyonka shaklida olish va (xizmat) shakl berish mumkin (15.4-rasm). Plastik ssintillyatorlar chaqnashning so'nish vaqti juda kichik (bir necha nanosekund), lekin ularning fotonlarni qayd qilish sezgirligi past. Shuning uchun ham bunday detektorlar asosan zaryadlangan zarrachalarni qayd etishda ishlatiladi.



15.4-rasm. Maxsus tayyorlangan scintillyator namunasi.

NaI(Tl) kristallida gamma-nurlarni qayd etish mexanizmi quyidagicha: energiyasi 1 MeV dan kichik gamma nurlar energiyasi asosan fotoeffekt va Kompton effekti ga sarflanadi. Fotoeffekt vaqtida hosil bo'lgan elektronlar energiyasi $E_e = E_\gamma - E_{\text{bog'}}$ ga teng bo'lib, bu yerda $E_{\text{bog'}}$ - elektronning yadroda bog'lanish energiyasi.

Bu elektronlar sanagich kristallida to'liq yutilib, ularning energiyasi fotonlar ko'rinishida fotoelektron ko'paytirgichga tushadi va elektronning boshlang'ich energiyasi E_e ga proporsional va ma'lum bir ΔE kenglikdagi impuls hosil qiladi. Fotoeffekt tufayli hosil bo'lgan bunday impuls yoki to'la energiya impuls 15.5-rasmda ko'rsatilgan.



15.5-rasm. Sintillyatsion detektorning chiqish impuls.

Kompton effektida elektron olayotgan energiya elektronning sochilish burchagiga bog'liq ekanligidan 15.5-rasmdagidek spektral taqsimotga ega bo'ladi.

To'la energiya impuls balandligi yarmiga to'g'ri keladigan kenglik detektorning ajrata olish qobiliyatini belgilaydi. Detektorning ajrata olish qobiliyati quyidagicha aniqlanadi.

$$R = \frac{\Delta E}{E_\gamma} \cdot 100\%$$

Sintillyatsion detektorlar uchun ajrata olish qobiliyati $E_\gamma = 100 \text{ keV}$ da $R = 20\%$, $E_\gamma = 1 \text{ MeV}$ da $R = 6 \div 8\%$ ga teng. Gamma kvant energiyasi 1 MeV dan yuqori bo'lganda elektron-pozitron jufti

hosil bo'ladi, elektronlar kristallida yutilib, pozitron ikkita $0,51 \text{ MeV}$ lik fotonga aylanib, kristallidan chiqib ketishi mumkin. Shunday qilib, kristall oladigan energiya fotonlar kristallda to'la yutilisiga, gamma-kvant energiyasiga teng bo'ladi ($E = E_\gamma$). Agar bitta foton chiqib ketasa, $E = E_\gamma - m_e c^2$, agar pozitron annigilyatsiyasi tufayli hosil bo'lgan har ikki foton chiqib ketasa, $E = E_\gamma - 2m_e c^2$ ga teng bo'ladi.

Detektorda qayd etilayotgan zarrachalarning energiya bo'yicha ajratilishi — detektorning ajrata olish qobiliyati yadro fizikasi bo'yicha tajribalarda eng muhim masalalardan biri hisoblanadi. Yuqorida ko'rsatilgan $R \approx 10\%$ ajrata olish ba'zi hollarda yetarli bo'lsa-da, o'zaro yaqin energiyali gamma-nurlanishlarni qayd etishda kamlik qiladi.

Detektor xatoligining sabablarini tushunish uchun unda jarayonlar ketma-ketligini bilish kerak:

Birlamchi γ - kvant o'z energiyasiga deyarli teng fotoelektroni hosil qiladi ($E_e \approx E_\gamma$). Hosil bo'lgan fotoelektron atomni uyg'otish va ionlashda ishtirok etib, N_{iq} — yorug'lik kvantini hosil qiladi. Bu yorug'lik kvanti energiyasi $E_{iq} \approx 3eV$ ($\lambda \approx 400 \text{ nm}$) ga teng.

Yorug'lik kvantlari soni quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{iq} \approx \frac{E_\gamma}{E_{iq}} \cdot \epsilon_{\text{yorug'lik}}$$

bu yerda $\epsilon_{\text{yorug'lik}}$ - uyg'otish energiyasining yorug'lik kvantiga aylanish effektivligi.

Ta'sirlashuvda hosil bo'lgan N_{iq} -yorug'lik kvantidan fotoko'paytirgich katodiga uning bir qismigina tushadi ($\epsilon_{\text{fotokod}}$). Fotokatodga tushgan har bir yorug'lik kvanti ϵ_{katod} - ehtimoliyat bilan elektron urib chiqaradi. Shunday qilib, fotoko'paytirgich kirishida hosil bo'lgan elektronlar soni quyidagicha aniqlanadi.

$$n_e \approx \frac{E_\gamma}{E_{iq}} \cdot \epsilon_{\text{yorug'lik}} \cdot \epsilon_{\text{fotokod}} \cdot \epsilon_{\text{katod}}$$

Keltirilgan formuladagi effektivlik ko'effitsiyentlari quyidagi qiymatlarni qabul qiladi.

$$\varepsilon_{yong'lik} \approx 0,1; \varepsilon_{to'quashur} \approx 0,4; \varepsilon_{katalod} \approx 0,2.$$

Yuqoridagi baholashlar asosida energiyasi $1MeV$ bo'lgan γ -kvant yutilishida fotokatoddan ajraladigan elektronlar soni $n_e \approx 3 \cdot 10^4$ ga teng bo'lishi kerak.

$NaI(Tl)$ kristali uchun $\varepsilon_{yong'lik} \approx 0,1$ bo'lsa, plastik scintilyatorlar uchun $\varepsilon_{yong'lik} \approx 0,03$ ga teng. Bu baholashlarni o'rganishda qaralayotgan jarayonlar statistik xarakterga ega ekanligini hisobga olish kerak. Statistik taqsimotlar asosida ssintilyatsion detektorlarda kuzatiladigan nurlanish impulsi kengligini nazariy baholashlar bunday detektorlarning ajrata olish qobiliyati $6 \div 8\%$ dan kichik bo'lmasiligini ko'rsatadi.

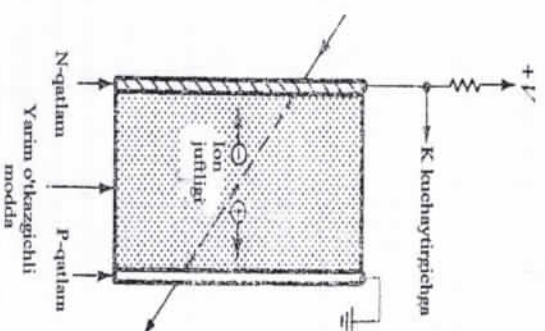
Yarim o'tkazgichli detektorlar

Yarim o'tkazgichli detektorning ishlash prinsipi zaryadlangan zarrachalar qattiq jism orqali o'tganida quyidagi formula bilan aniqlanuvchi ion juftlarining hosil bo'lishiga asoslangan.

$$n_{ion} = \frac{E_c}{W}$$

Bu ifodada W - bitta ion jufti hosil bo'lishi uchun zarur energiya miqdori.

Agar hosil bo'lgan ionlarni elektr maydoni yordamida ajratib, bir xil ishorali zaryadlar yig'indisini o'lchasa, yuqoridagi formula asosida boshlang'ich elektronlar energiyasini aniqlash mumkin. Yarim o'tkazgichlarda bitta ion juftligini hosil qiluvchi W energiya germaniy (Ge) uchun $2,9eV$, kremniy (Si) uchun $3,5eV$ ni tashkil etadi. Bunday kichik ionlanish energiyasi yarim o'tkazgichlar elektron tuzilishining o'ziga xos xususiyati bilan bog'liq. Yarim o'tkazgichli detektorning ishlash prinsipi va tuzilish 15.6-rasmda keltirilgan.

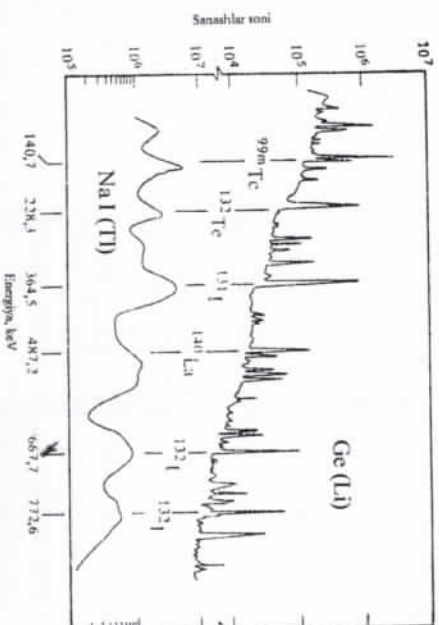


15.6-rasm. Yarim o'tkazgichli detektorning ishlash prinsipi va tuzilish sxemasi

Yarim o'tkazgich plastinka tomonlariga qo'yilgan elektr maydoni turti ishorali zaryadlarni ajratib tok impulsini hosil qiladi. Hosil bo'lgan tok impulsi past shovqini kuchaytirgichga beriladi. Xona haroratida issiqlik tebranishlari qurilmada keraksiz impulsni yuzaga keltiradi. Shuning uchun yarim o'tkazgichli detektorlar suyuq azot haroratigacha sovitilgan holda ishlatiladi.

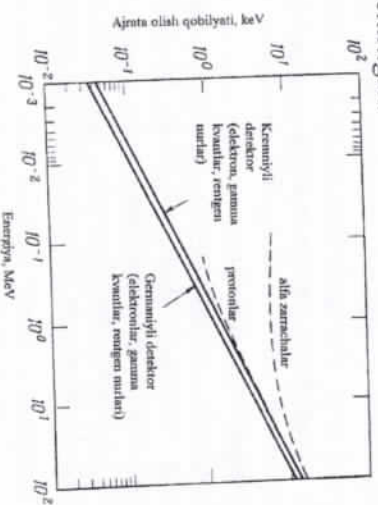
Yarim o'tkazgichli detektorlarda ionlanish energiyasining kichikligi va barcha ionlarni to'plash imkoniyati, bu detektorlarning ajrata olish qobiliyati yuqori bo'lishiga olib keladi.

Quyidagi 15.7-rasmda ssintilyatsion ($NaI(Tl)$) va yarim o'tkazgichli ($Ge(Li)$) detektorlarda olingan murakkab spektr ko'rinishi keltirilgan.



15.7-rasm. Sinitillyatsion va yarim o'tkazgichli detektorlarda radioaktiv namuna nurlanish spektrining ko'rinishini taqqoslash

Bu spektrlardan ko'rinib turibdiki, yarim o'tkazgichli detektorlarning ajrata olish qobiliyati ancha yuqori darajaga ega. Ge (Li) va Si (Li) yarim o'tkazgichning detektorlar uchun ajrata olish qobiliyatining qayd etilayotgan zarrachalar energiyasiga bog'liqligi 15.8-rasmda keltirilgan.



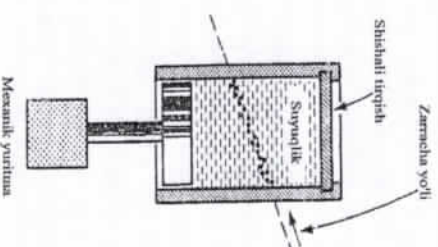
15.8-rasm. Yarim o'tkazgichli detektorning energiya bo'yicha ajrata olish grafigi

Pufakli kameralar

Sinitillyatsion va yarim o'tkazgichli detektorlar ular orqali o'tayotgan zarrachalar energiyasi va soni haqida ma'lumot beradi, xolos. Agar bu detektorlarga bir vaqtda ikkita detektor kelib tushsa, ular bu faktini ilg'ay olmaydilar.

1952-yilda M.Glezzer tomonidan yaratilgan pufakli kameralar elementar zarralar xossalari o'rganishda muhim rol o'ynadi. Pufakli kameralarda kechadigan fizikaviy jarayonlarni Glezzer quyidagicha ta'riflagan: «Pufakli kamera o'ta qizdirilgan shaffof suyuqlik bilan to'ldirilgan idishdan iborat bo'lib, undan o'tayotgan ionlashitiruvchi zarracha bu suyuqlikni qaynashga va shu sababli o'z yo'lida pufaklar zanjirini hosil qiladi».

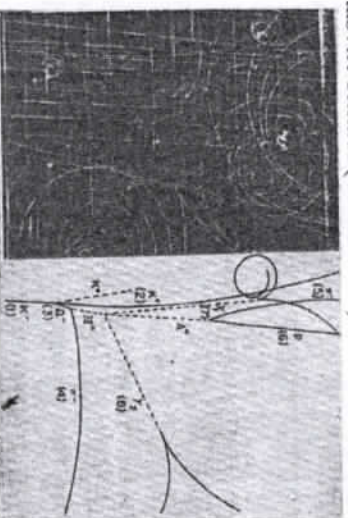
O'ta qizdirilgan suyuqlik shunday harorat va bosimdagi suyuqlikni undagi bosimi shu suyuqlik bug'ining xuddi shu sharoitdagi bosimidan ancha past bo'ladi. Suyuqlikning bunday holati turg'unmas bo'lib, undan o'tayotgan zarra suyuqlikda bug' pufaklari hosil bo'lishiga olib keladi. (15.9-rasm)



15.9-rasm. Pufakli kameraning ishlash prinsipi va tuzilishi

Suyuqlik o'ta qizdirilgan holatga o'tishi uchun dastlab muvozanat bosimida bo'ladi, keyin porshenni pastga surish orqali bosim keskin pasaytiriladi va bir necha millisekund davomida kamera sezgir holatda bo'ladi. Bu sezgirlik vaqti tezlantiruvchi kameraga zarrachalar tushadigan vaqt bilan sinxronlashtiriladi. Kameralar hosil bo'lgan

putfakchalar elektron fotochagnagich bilan yoritilib, ularning stereofotografik tasviri olinadi (15.10-rasm).



15.10-rasm. Putfakli kameralarda elementar zarrachalarning qoldirgan izi-treklar

Putfakli kameralarda ko'pincha suyuq vodorod ishlatiladi va portlash xavfi mavjud. Bunday kameralarning effektivligini oshirish uchun ularni kuchli magnet maydoniga joylashtiriladi. Bu holda kameralarga tushgan zarralar trayektoriyasi egriylanib, ularning massasi va energiyasi haqida ma'lumot olish mumkin bo'ladi.

Uchqunli kameralar

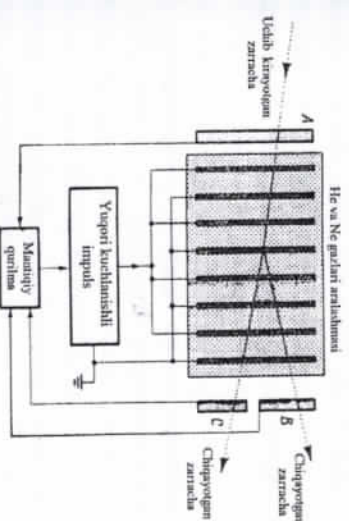
Putfakli kameralarning afzalliklari ko'p bo'lsa-da, ularning bitta kamchiligi mavjud: ularni biz xoxlagan vaqtda xoxlagan jarayonni kuzatish uchun ishga tushirish imkoniyati yo'q. Buning sababi shundaki, putfakli kameralari tez ishga tushirishning imkoniyati yo'q, chunki undagi suyuqlik o'ta qizdirilgan holatda bo'lishi lozim.

Uchqunli kameralarni esa biz kuzatmoqchi bo'lgan jarayonning o'zi yordamida, bizni qiziqitirgan vaqt momentida ishga tushirish mumkin.

Uchqunli kameralar juda oddiy hodisaga asoslanib ishlaydi: agar bir-biridan 1 sm masofada parallel joylashtirilgan ikkita metall plastinka orasidagi kuchlanish biror kritik qiymatdan yuqori bo'lsa, elektr zaryadi boshlanadi. Agar shu vaqtda ionlashtiruvchi zarracha plastinalar orasidan o'tsa ion juftliklari hosil bo'lib, zaryad zarracha trayektoriyasi bo'ylab tarqaluvchi uchqun ko'rinishini oladi. Agar hosil bo'lgan ionlar bir necha mikrosekund davomida o'z o'rinda qolishini

hisobga olsak, uchqunli kameralarga kuchlanishni zarracha kamradan o'tganidan keyin ham berish mumkinligi ko'rinadi. Shunday qilib, uchqunli kameralari avtomatik ravishda ishga tushadigan detektor sifatida qarash mumkin.

Oddiy uchqunli kameralarning tuzilishi 15.11-rasmida keltirilgan.



15.11-rasm. Uchqunli kameralarning tuzilishi va ishlash prinsipi

Bunday kameralar yordamida uchib kirayotgan zarracha kamradagi atom yadrosi bilan to'qnashib, kamida ikkita zaryadlangan zarracha hosil qilgan reaksiyalarni kuzatish mumkin. Bunda 15.11-rasmdagi A,B,C sinillyatsion detektorlar amalda bir vaqtda uch zaryadlangan zarrachani qayd qiladi. Bu jarayon amalga oshganda muntiqiy qurilma kuchlanish sakrashini hosil qiluvchi signal chiqaradi va kamera plastinalariga yuqori kuchlanish impulsi (10-20 kV) 50 ns dan kam vaqt ichida uzatiladi. Elektr zaryadi tufayli hosil bo'lgan uchqun kanallari stereofotografiya yordamida rasimga tushiriladi.

Yuqorida ko'rsatilgan standart uchqunli kamerali qurilma turli xil modifikatsiyalarda har xil fizikaviy masalalarni yechishda ishlatiladi. Masalan, yupqa plastinali uchqunli kameralar zaryadlangan zarralar trayektoriyasini aniqlashda ishlatiladi, qalin qo'rg'oshin plastinalar gamma nurlarni o'rganishda yoki elektronlarni myuonlardan ajratishda ishlatiladi. Elektronlar myuonlardan qo'rg'oshin zarralar oqimi (dastasi) hosil qilishi bilan farqlanadi.

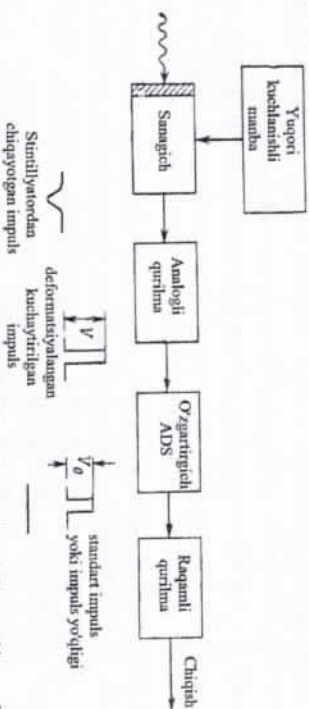
Kichik o'lchamli uchqunli kameralar yadro fizikasida turli maqsadlarda ishlatiladi, katta o'lchamdagi kameralar esa asosan neytrino qayd etish uchun ishlatiladi.

Optik uchqunli va pufakli kameralar eksperimental natijalarni zarralar trayektoriyasi yoki treklarning fotografik tasviridan ajratib olish bilan bog'liq kamchilikka ega. Bu jarayon ancha noqulay ekanligidan hozirgi vaqtda elektron qayd etuvchi uchqunli kameralar qo'llanilmoqda. Bu kameralarda plastinalar koordinata to'rini hosil qiluvchi o'tkazgichlar bilan almashirilgan. Bunda hosil bo'lgan uchqunlar o'tkazgichlarda impuls hosil qiladi va ferrit o'zaklarda magnitlanish ko'rinishida qayd etilib, elektron hisoblash mashinasiga uzatiladi.

Detektorlar uchun elektron qurilmalar

Zamonaviy detektorlarning barchasi o'z tarkibiga elektron qurilmalarni oladi. Elektron qurilmaga misol tariqasida ssintilyatsion detektor bilan birga ishlatiladigan quyidagi elektron sxemani keltirish mumkin (15.12-rasm). Bu sxemada boshqariladigan ta'minlash manbai fotoko'paytirgichga kuchlanish beradi. Fotoko'paytirgichning chiqish signali analog qurilmada ma'lum formaga keltirilib kuchaytiriladi. Bunda olingan impulsning amplitudasi dastlabki impuls amplitudasiga proporsional bo'ladi.

ADC (the analog to digital converter) o'zgartirgichda impulslar raqamli ifodalashga qulay holatga keltiriladi. Bunda amplitudasi V_0 va $V_0 + \Delta V$ oralig'ida yotuvchi impulslargina qayd etiladi. Ya'ni, agar impuls shu intervalga qarashi bo'lsa, o'zgartirgich blokidan standart signal chiqadi, aks holda o'zgartirgichdan hech qanday signal chiqmaydi.



15.12-rasm. Yadroviy nurlanishlarni qayd etish qurilmasining prinsipial sxemasi

Raqamli qurilma faqat standart signallarni qayd etadi. Bu qurilma har 10 yoki 10^n (n - butun son) kirish signalini bitta qilib sanashi mumkin. Bu holda uning chiqishidagi signal ma'lum energetik intervalga mos keluvchi 10^n birligidagi kirish signallari sonini ifodalaydi. Keltirilgan elektron sxemani laboratoriyada yig'ish uchmalik qiyin emas, chunki uning tarkibiy bloklari standart holda tayyorlanib sotiladi. Eksperimentator fizik ularni tanlab, kerakli qismlarni yig'ishiga talab etiladi. Elektron sxemadan chiqayotgan signallar ko'p kanalli analizator yoki personal kompyuterga uzatiladi va displeyda qayd etilayotgan nurlanish spektrini ko'rish mumkin (15.7-rasmga qarang).

Nazorat savollari

1. Radioaktiv nurlanishlar va ularning turlari haqida tushuncha bering.
2. Tabiiy va suniy radioaktiv oilalarni tushuntiring.
3. Gaz razryad detektorlarning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Ssintilyatsion detektorlarning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
5. Detektorning ajrata olish qobiliyati deb nimaga aytiladi?
6. Scintilyatorlarning turlari va ularning o'ziga xos xususiyatlarini tushuntiring.
7. Yarim o'tkazgichli detektorlarning tuzilishi va ishlash prinsipi.
8. Pufakli kameralar tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
9. Uchqunli kameralar tuzilishi, ishlash prinsipini tushuntiring va afzalliklarini ayting.
10. Detektorlar uchun elektron qurilmalarning vazifalarini tushuntiring.

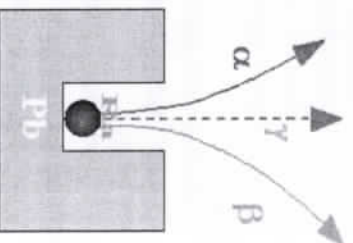
№ 16 Laboratoriya ishi: Radioaktiv nurlarning turli muhitlarda yutilish ko'effitsiyentini virtual tajribada aniqlash

Ishning maqsadi: turli moddalarda radioaktiv nurlanishlarning yutilish ko'effitsiyentini, radioaktiv nurlanishlar intensivligining material qalinligi bo'yicha o'zgarishini aniqlash va talabalarda axborot kommunikatsion texnologiyalar asosida radioaktiv nurlanishlar xossalari haqida bilim va ko'nikmalarni hosil qilish.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

Fransuz fizigi A. Bekkerel uran tuzlarida yorug'lik ta'sirida fosforessensiya hodisasi kuzatilgandek, Rentgen nurlarida ham shu hodisa kuzatiladimi yoki yo'qmi degan maqsadda, uran tuzlariga yorug'lik ta'sirini o'rgana boshladi. 1896-yili 1 martda fotoplastinkaning qorayishiga qarab uran tuzining jismlar ichiga kuchli kira olish xususiyatiga ega bo'lgan ko'rinnas nurlar chiqarishini aniqladi. Ko'p o'tmasdan Bekkerel uranning o'zi ham nurlar chiqarish xossasiga ega bo'lishini aniqladi. Keyin bunday hodisa toriy atomida ham borligini kuzatdi. Tashqi ta'sirsiz jismlardan o'z-o'zidan nurlar chiqish hodisaga radioaktivlik deyiladi. Radioaktivlik D.I. Mendeleev davriy sistemasining eng og'ir elementlarga xos. 1898-yilda fransiya olimlari M. Skladovskaya-Kyuri va P. Kyuri uran mineralidan uran va toriydan ham ancha kuchliroq darajada radioaktiv bo'lgan ikki yangi moddani ajratdilar. Ularni poloniy va radliy deb atadilar. Radioaktivlik jarayonida uch xil nurlar tarqaladi: α , β , γ - nurlanishlar. γ - nurlanishlarga magnit va elektr maydonlari ta'sir etmaydi (16.1-rasm). Magnit va elektr maydonlari α va β - nurlariga ta'sir etadi. Ta'sir natijasiga qarab α - nurlar musbat va β - nurlar manfiy zaryadlarga ega ekanligini bilish mumkin. Haqiqatdan ham α - nurlar ionlashgan gelyi atomlari, β - nurlari elektronlardan iborat ekanligi aniqlangan. γ - nurlar eng qisqa to'lqin uzunlikka ega bo'lgan katta energiyali elektromagnit to'lqinlardir. 1903-yili E. Rezerford va F. Soddi radioaktivlik



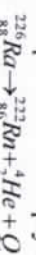
16.1-rasm

jarayonda bir kimyoviy element boshqa kimyoviy elementga o'tishini aniqlanganlar. Radioaktivlik jarayonda energiya ajralib chiqadi. Masalan, 1 g radiydan nurlanish jarayonida 600 J energiya ajralib chiqadi.

Alfa zarraning tabiati, uning zaryadini aniqlashdan boshlangan. U elektrometr yordamida aniqlanadi. Shu yo'l bilan aniqlangan alfa zarra zaryadining kattaligi $3,19 \cdot 10^{-19}$ Kl ga teng, bu elektron zaryadidan ikki marta katta. Uning ishorasi musbat e nisbatdan α - zarraning massasi aniqlandi. Uning kattaligi $6,62 \cdot 10^{-24}$ g teng. Bu vodorod atom massasi $1,62 \cdot 10^{-24}$ g dan to'rt marta katta. Bunday tajribaviy dalillar asosida α - zarra gelyi atomi ekanligini isbotlaydi.

Magnit maydonida α - zarraning harkatini o'rganish jarayonida, uning tezligi aniqlandi. α - zarraning o'rtacha tezligi $1,6 \cdot 10^7$ m/s teng. Tezlik kattaligi izotopga va radioaktiv elementga bog'liq. α - zarraning kinetik energiyasi bir necha elektron voltga teng u atom tuzilishini o'rganishda ideal snaryad vazifasini bajaradi.

Atom yadrosidan α - zarra chiqqanda, atom yadrosining zaryadi ikkiga, massasi esa to'rt atom birligiga kamayadi. Radioaktiv parchalanish jarayonida juda katta energiya ajraladi. Masalan radiy atomi ($Z = 88$, $A = 226$) α - zarra chiqarish natijasida radon atomi ($Z = 86$, $A = 222$) hosil bo'ladi. Bu parchalanish quyidagicha yoziladi.



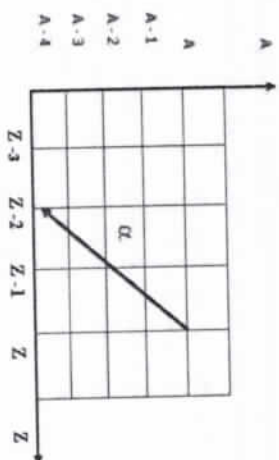
Q - parchalanish jarayonida ajralgan energiya.

Tenglamaning chap tomonida asosiy atom yadrosi, o'ng tomonida hosil bo'lgan atom yadrosi. Bu tenglamaning o'ng yuqori va quyi indekslarini yig'indisi chap tomondagi atom indeksiga teng bo'lishi kerak, ya'ni $222 + 4 = 226$ massaning saqlanish qonuni va $86 + 2 = 88$ zaryadning saqlanish qonuni o'riniqlidir. Zarralarning atom massasini bilgan holda parchalanish energiyasi Q — qiymatini aniqlash mumkin.

α - zarralar faqat massa soni A katta ($A > 200$) bo'lgan atom yadrolaridan chiqadi. Masalan radiy atom yadrosi α - parchalanish yuz berganda Radon yadrosi hosil bo'ladi. Oqibatda quyidagi siljish qonuni bajariladi: $A - 4$; $Z - 2$; $N - 2$.



reaksiya grafikda ko'rsatilgan.

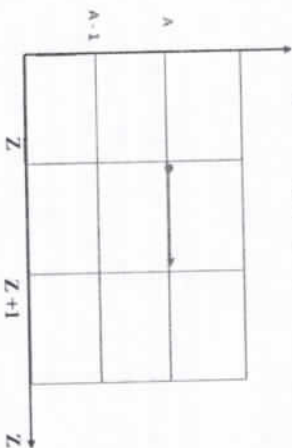


16.2-rasm. α -yemirilishda siljish qoidasining bajarilishi

Misol sifatida radioaktiv protaktiniy (Pa) atomi α — zarra chiqarganda qo'rg'oshin (Pb) atomi hosil bo'lishini qaraylik:



Radioaktiv izotop (β) beta-zarra chiqarish tufayli parchalansa, atom yadrosining zaryadi birlik musbat zaryadga oshadi, lekin massa soni o'zgarmaydi. $A = Z + N$ tenglik o'rinni bo'lganligi tufayli radioaktiv izotopda neytronlar soni birga kamayadi. Reaksiya quyidagicha yoziladi:



16.3-rasm. β -yemirilishda siljish qoidasining bajarilishi

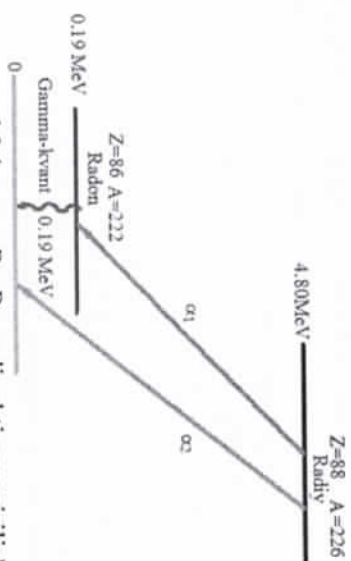
Masalan poloniy izotopi ${}_{84}^{210}\text{Po}$ hosil bo'lishda vismut izotopi ${}_{83}^{210}\text{Bi} \rightarrow {}_{84}^{210}\text{Po} + \beta$ o'zidan β -zarra chiqarishi lozim. Reaksiya 16.3-rasmdagi grafik ko'rinishida bo'ladi. Grafikdan ko'rinish turibdiki, atomdan β -zarra chiqqanda uning musbat zaryadi bir birlikka oshadi, lekin atom massasi A o'zgarmaydi. β — zarralarning spektri uzluksiz

bo'ladi. β -zarralarning tezliklari kichikdan katta qiyamatgacha o'zgaradi, ya'ni ular uzluksiz energetik taqsimotga ega. β -parchalanish jarayonida yadro tarkibidagi neytron proton va elektronga bo'linib, elektron yadrodan chiqib ketadi. Lekin bu β -zarralarning energiya bo'yicha uzluksiz taqsimotini tushuntirmaydi. Qiyinchilikni 1931-yil Pauli yechishga muvassar bo'ldi. Pauli fikriga ko'ra β -parchalanishda elektrondan boshqa yana bir zarra uchib chiqishi kerak. Bu zarra neytrino ekanligi aniqlandi. Neytrino massasi elektron massasiga nisbatan juda kichik va u hech qanday zaryadga ega emas, ya'ni elektr neytral zarra. Natijada to'la energiya elektron va neytrinoning energiyalariga taqsimlanadi. Agarda elektron katta energiya bilan chiqayotgan bo'lsa, neytrino kichik energiya bilan chiqadi va aksincha. Uning mavjudligi bilvosita usullar bilan isbotlangan.

Gamma nurlanish atom yadrosi parchalanish jarayonida α va β -zarralar bilan birgalikda kuzatiladi. Interferensiya va diffraksiya bo'yicha o'tkazilgan tajribalar natijasida γ -nurlarning tabiati rentgen nurlari tabiatiga mos kelishi aniqlandi. Uning energiyasini bilvosita fotoeffekt, Kompton effekti usullar bilan aniqlanadi. Gamma nurlar to'liq uzunligi juda qisqa elektromagnit to'lqinlar bo'lib, atom yadrosining energetik holatining o'zgarishiga bog'liq. Atom yadrosidan α , β — zarralar chiqqanda yangi yadro hosil bo'ladi, uning energiyasi avvalgi holatiga nisbatan katta. Yangi yadro boshlang'ich holatga qaytishda γ -nurlar chiqaradi. 1919 — yil Rezerford α — zarra bilan ma'lum bir atomni bombardimon qilib, ikkinchi atomni hosil qildi. Masalan α — zarra bilan azot gazini bombardimon qilganda kislorod va vodorod atomlari hosil bo'ladi. Bu reaksiya quyidagicha yoziladi:



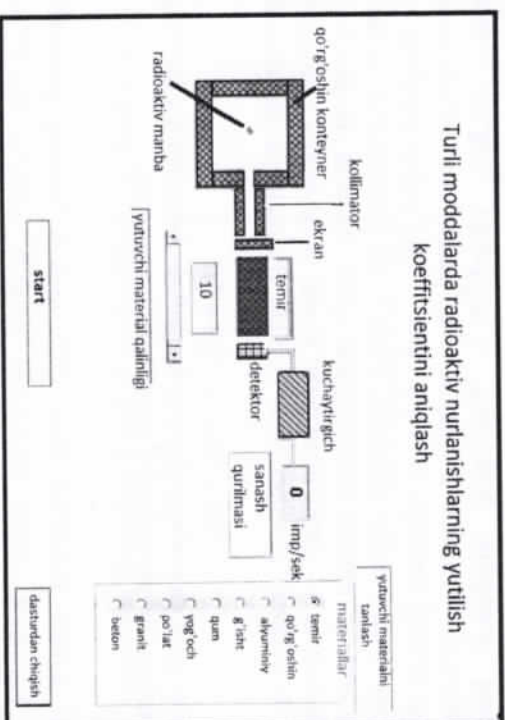
Alfa va gamma nurlanishlarning birgalikda kuzatilishiga quyidagi Ra — Rn radioaktiv yemirilishini misol keltirish mumkin.



16.4-rasm. Ra-Rn radioaktiv yemirilish sxemasi

Ishning bajarilish tartibi:

1. Talabalar laboratoriya ishini bayoni bilan tanishib ishchi daftarlariga ishning maqsadi va ishchi formulalarni yozib oladilar.
2. Talabalarga laboratoriya ishini elektron varianti kompyuter, videoproektor, ekran orqali ta'svirlanadi. Tasvirdagi ko'rinish talabalarga izohlanadi.



16.5-rasm. Laboratoriya ishi qurilmasining kompyuter ekranidagi ko'rinishi

3. Laboratoriya ishini bajarish uchun yutuvcchi material turi sicheqoncha yordamida tanlanadi va uning qalinligi belgilab olinadi.

4. "Start" tugmachasini sicheqoncha yordamida bosib, virtual laboratoriya qurilmasi ishga tushiriladi. Bunda konteyner tiqishi oldidagi ekran suriladi va detektor moddadan o'tayotgan nurlanish intensivligini sanaydi. Virtual laboratoriya ishida sanash qurilmasi berilgan sharoitda 1 sekunddagi intensivlik(aktivlik)ni ko'rsatadi.

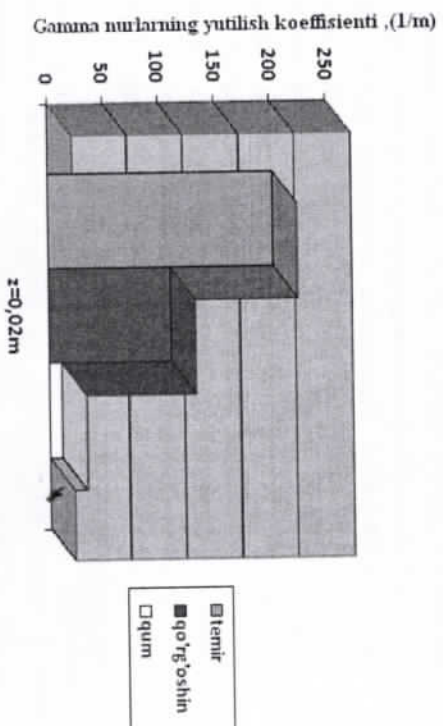
5. Radioaktiv manbadan chiqayotgan boshlang'ich nurlanish intensivligini aniqlash uchun yutuvcchi modda qalinligi nolga tenglashiriladi. Bu holarda sanalgan aktivlik manbaning aktivligi bo'lib, barcha tajribalar uchun bir xil qiymatga ega

6. Tanlangan har bir moddaning belgilangan qalinligi uchun o'lchashlar 3 marta takrorlanadi va olingan natijalar 1-jadvalga kiritiladi. Bu o'lchashlarda guruh talabarlari kichik guruhlariga bo'linib, o'quvchi tomonidan belgilab berilgan har xil materiallar uchun yutilish ko'effitsiyentlari aniqlanadi.

Material turi	O'lchashlar			Hisoblashlar		
	Z_0 (m)	I_0 (imp/s)	I_x (imp/sek)	μ_x (1/m)	μ_{0-x} (1/m)	$\Delta\mu$ ϵ (%)

Jadvalning birinchi qismida tajriba davomida yutuvcchi materialning tanlab olinadigan parametrlari va o'lchash natijalari kiritiladi. Jadvalning ikkinchi qismida esa olingan eksperiment natijalari asosida hisoblangan yutilish ko'effitsiyenti, uning o'tacha qiymati hamda absolyut va nisbiy xatoliklar kiritiladi.

Virtual o'lchashlar natijasida birinchi jadvalga kiritilgan ma'lumotlar asosida maxsus kompyuter dasturi yordamida bir xil qalinlikdagi turli moddalarning gamma nurlarini yutish ko'effitsiyenti diagramma sifatida tasvirlanib taqqoslanadi.



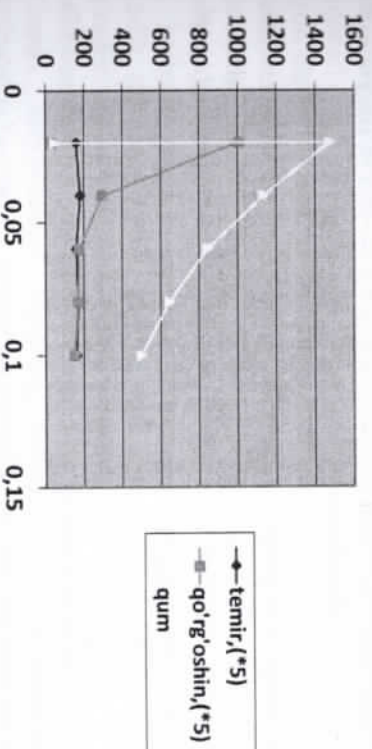
16.6-rasm. Bir xil qalinlikdagi turli moddalar uchun gamma nurlarning yutilish koeffitsiyentini taqqoslash

Tanlab olingan materialning qalinligi o'zgartirilib, olingan natijalar 2-jadvalga tushiriladi.

2-jadval

Z, (m)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,01
I_0 (imp/sek)					
Temir					
Qo'rg'oshin					
Qum					

O'tayotgan nurlar intensivligining material qalinligiga bog'lanish grafigi
($I = f(z)$) chiziladi (16.7-rasm).



16.7-rasm. Yutuuchi moddadan o'tayotgan nurlanish intensivligining material qalinligiga bog'lanishi.

Nazorat savollari

1. Gamma nurlanish tabiati va xossalari tushuntiring.
2. Radioaktiv moddalarni saqlash va ishlatish qoidalarini tushuntiring.
3. Nima uchun turli moddalarning radioaktiv nurlanishlarni yutishi har xil bo'ladi?
4. Moddalarda radioaktiv nurlanishlarning yutilish koeffitsiyentini aniqlash formulasini yozing va tushuntiring.
5. Gamma nurlanishlarning moddada yutilishida asosan qanday fizikaviy jarayonlar kuzatiladi?
6. Gamma nurlanishlarning moddada yutilishida kuzatiladigan fizikaviy jarayonlar nurlanish energiyasiga qanday bog'langan?

№ 17 Laboratoriya ishi: Alfa zarralarning havoda erkin yugurish masofasini virtual tajribada aniqlash

Isning maqsadi: radioaktiv izotoplarning α -yemirilishida chiqadigan α -zarralarning havodagi erkin yugurish yo'lini aniqlash.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoprojektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

1. Harakatlanayotgan alfa zarrachalarning moddalar bilan ta'sirlashuvi

Katta boshlang'ich tezlikka ega bo'lgan ($v \approx 10^6$ m/s), o'g'ir va musbat zaryadlangan zarra o'z energiyasini yutuvchi moddaning elektronlari va yadrolari bilan ta'sirlashuviga sarflaydi. Tez harakatlanayotgan alfa zarra energiyasini uch xil yo'l ta'sirlashuvi bilan yo'qotadi: a) yutuvchi modda atomlarini ionlashtirish va uyg'otish orqali; b) tepki yadrolarni hosil qilish orqali; c) tormozlanish elektromagnit to'lqinlari chiqarish orqali.

2. Ionlashuv jarayonidagi isroflar. Zaryadlangan zarrachalarning yutuvchi modda atomlari bilan to'qnashuvda shu atom elektronlarini yuqori energetik sathlarga chiqarishga (atomni uyg'otishga) yoki bu elektronlarni atomdan urib chiqarishga (ionizatsiyalashga) yetarli energiya olishi mumkin. Bu hollarda sarf bo'lgan energiyaga *ionlashuv jarayonidagi isroflar* deyiladi. Bunday ta'sirlashuvlarda alfa zarrachalar energiyasi nisbatan kichik potentsiallar bilan yo'qotiladi. Masalan, havoning atom va molekularlarining ionizatsiya potentsiali 35 eV ga teng. Alfa zarrachaning havodagi harakatida ionizatsiya jarayoni zarracha energiyasi modda molekularlarining ionizatsiya potentsialidan kichik bo'lganicha davom etadi. Faqat shundan so'ng alfa zarracha ikkita elektroni qamrab olib, gelyining neytral atomiga aylanadi. Alfa zarra ichida zichligi harakat yo'li oxirida ortib boruvchi ionlar zanjiri hosil bo'ladi. Hosil bo'layotgan ionlar sonini alfa zarra energiyasi ($4 \div 8$ MeV) ni o'rtacha uyg'otish potentsial energiyasiga bo'lish orqali baholash mumkin. Havo uchun bu qiymat $\approx 10^5$ ni tashkil etadi. Xuddi shuning uchun ham fizik organizmlarning alfa radioaktiv moddalar bilan zararlaniishi o'ta xavfli hisoblanadi.

Tepki yadroosi hosil qilishdagi energiya isroflari. Musbat zaryadli alfa zarralarning modda yadrolari bilan ta'sirlashuvi elastik

to'qnashuv bo'lishi ham mumkin. Bu holda zarracha tezligi yo'nalishi va qiymati o'zgaradi, yutuvchi modda yadroosi esa muvozanat holatidan siljiydi. Bu yadro *teпки yadro* deb ataladi. Agar yutuvchi modda ideal kristaldan iborat bo'lsa, undan alfa zarralar o'tgandan keyin kristall panjaraning nuqtaviy defektlari hosil bo'ladi.

Havoda harakatlanayotgan alfa zarrachalar uchun tepki yadroga sarf bo'lgan energiya ionizatsiya energiyasiga nisbatan hisobga olmaslik darajada kichik, chunki alfa zarralarning yadrolar bilan to'qnashuv ehtimoliyati juda kichik.

Elektromagnit nurlanishlarga sarf bo'ladigan isroflar. Ma'lumki, zaryadlangan zarraning tezlanuvchan harakati uning elektromagnit nurlanish chiqarishiga sabab bo'ladi va *tormozlanish nurlanishi* deb ataladi. Zarra energiyasining elektromagnit nurlanishga sarf bo'lishi *elektromagnit nurlanishlar (radiatsiya)ga sarf bo'ladigan isroflar* deb ataladi.

Alfa zarralar uchun radiatsion isroflar atom va molekularlar uyg'otishi va ionizatsiyasi uchun energiya isroflariga nisbatan juda kichik.

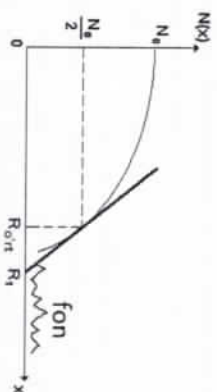
Shunday qilib, havoda harakatlanayotgan alfa zarralarning energiyasiga asosan atom va molekularlarni uyg'otish va ionizatsiyalashga sarf bo'ladi. Alfa zarra massasi elektron massasidan ≈ 10000 marta katta bo'lganligidan uning trayektoriyasi deyarli to'g'ri chiziqli bo'ladi va faqat modda yadrolari bilan to'qnashgandagina chetlanadi.

3. Alfa zarrachalarning moddalarda yutilishi

Alfa zarrachalarning issiqlik harakati tezligiga (100 m/s), sekinlashuv davrida o'tgan yo'li *to'la yugirish masofasi* deb ataladi. Lekin bir xil boshlang'ich tezlikka ega bo'lgan zarralarning erkin yugirish yo'llari modda atomlari konsentratsiyasi fluktuatsiyasi va har bir ta'sirlashuv aktlaridagi energiya isroflari fluktuatsiyasi tufayli birtarafdin farq qiladi. Shuning uchun ham moddalarda zarralarning yutilishini o'rganishda bu zarralarning yarmi yutiladigan o'rtacha erkin yugirish masofasidan foydalaniladi. Bu masofa moddada zarrachalarning yutilish grafiği $N = f(x)$ orqali aniqlanadi. Bu grafiğk ma'lum bir vaqt oralig'ida sanash qurilmasi tomonidan qayd etilgan. Monoenergetik zarrachalar sonining qalam qaliniği funksiyasidan iborat (17.1 - rasm).

O'rtacha yugirish masofasini oqim intensivligi ikki marta kamayadigan masofa sifatida qaralishi faqatgina monoenergetik

zarralarning ingichka-kollimatsiyalangan dastasi uchun o'rinnidir. Bu shartning bajarilmasligi erkin yugurish masofasi uchun haqiqiy qiymatdan kichikroq qiymatga ega bo'lishiga olib keladi. Shuning uchun kollimatsiyalanmagan zarrachalar dastasi holida ekstropolyatsiyalangan yugurish masofasi R_1 ishlatiladi (17.1 — rasim).



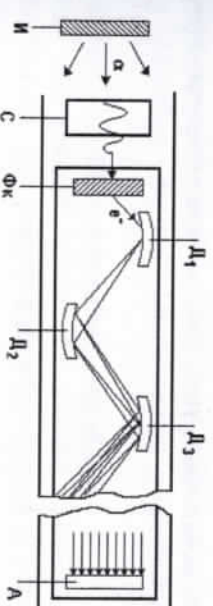
17.1 - rasim. Alfa zarrachalarning moddalarda y'itilish grafigi. x - sanash qurilmasi va radioaktiv manba orasidagi masofa, R_0 o'rtaacha yugurish masofasi, R_1 - ekstropolyatsiyalangan yugurish masofasi

Buni aniqlash uchun $N = f(x)$ grafigning eng tik nuqtasiga urinma o'tkaziladi va bu o'rinning x o'qi bilan kesishuv nuqtasi aniqlanadi. Amaliy jihatdan olib qaraganda ekstropolyatsiyalangan yugurish masofasi sifatida fon nurlanishi bo'lmaganda qayd etilayotgan zarrachalar soni nolga teng bo'lgan masofa olinadi.

4. Eksperimental qism

4.1. Tajriba qurilmasining tavsifi

Eksperimental o'lash yacheykasining ishlash prinsipi va konstruksiyasi mos holda 17.2- va 17.3-rasmlarda keltirilgan. O'lash yacheykasi qo'rg'oshin konteyner (1) va uning ustida qo'zg'aluvcchan shokka mahkamlangan tabletkaga joylashtirilgan kichik miqdordagi radioaktiv elementdan iborat. Yacheykada shokning surilishi vint (3) yordamida amalga oshiriladi va alfa radioaktiv preparatning ssintillyatsion sanagich (4) ga nisbatan vaziyati millimetri chizg'ich (5) yordamida aniqlanadi.



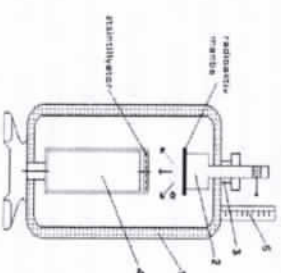
17.2-rasim. O'lash yacheykasining ishlash prinsipi

1. Qo'rg'oshin konteyner.
2. Radioaktiv manbani tuilib turuvchi harakatlanuvchi shok.
3. Shokni surish vinti.
4. Ssintillyatsion sanash qurilmasi.
5. Chizg'ich

4.2. Ssintillyatsion sanash qurilmasining ishlash prinsipi

Zarralarni qayd etuvchi sanash moslamasi eksperimental qurilmaning asosiy elementi hisoblanadi.

Alfa zarralar radioaktiv manba (1) dan ssintillyator (3) ga tushganda unda chagnash hosil qiladi. Fotoeffekt natijasida fotokatod (F_k) dan bir yoki bir necha fotoelektronlar uchib chiqadi. Fotokatoddan chiqqan elektronlar tezlanuvchi potensial ta'sirida qo'shimcha energiya olib, birinchi elektrod (birinchi dinod D_1)ga tushadi. Elektronlarning dinodga urilishidan ikkilanuvchi elektronlar urib chiqariladi. Fotoko'paytirgich kuchlanishi ($U=1500V$) bo'lish sxemasi yordamida dinoddan dinodga o'tishida potensiallar farqi 100-150 V ga ortadigan qilib beriladi. Dinodlarning shakli va joylashuvi shunday tanlandiki, elektr maydoni elektronlarni ham tezlashtirib, ham keyingi dinodga fokuslab beradi. Elektronlar soni dinoddan-dinodga o'tib borishi natijasida fotoko'paytirgich chiqishi-anodda sanash qurilmasi tomonidan qayd etiladigan katta quvvatli elektr impulsi hosil bo'ladi. Fotoko'paytirgich kichik inersiyali asbob



17.3-rasim. O'lash yacheykasining konstruksiyasi

ekanligidan chagnashlar soni qurilma tomonidan qayd etilayotgan impulslar soniga qat'iy proporsional bo'ladi.

4.3. Ishni bajarish tartibi

Ushbu virtual laboratoriya ishida plutoni-238 izotopini ($T_{1/2} = 87,75 \text{ yil}$) o'rganish modellashirilgan. Bu laboratoriya ishida eksperimentatorga o'lchashlar kelma-ketligini qulay, ekspozitsiya vaqtini, tajribalar sonini tanlash imkoniyati berilgan.

Ishni bajarish tartibi

1. Kursorni "o'lchash" tugmasiga keltirib, sichqonchaning chap tugmasi bosiladi. Bunda kompyuterda o'lchash yacheykasi sxemasi, sekundomer, impulslar sanagichi tablosi, manba va sanagich orasidagi masofa x ni boshqarish moslamasi, har qadamni 2 mmdan bo'lgan 20 ta bo'limga ega bo'lgan shkala va masofa (X) ko'rsatgichi chiqadi.

2. Alfa radioaktiv preparatni ssintilyatorga juda yaqin qo'yib, ($x = 0$) $t = 3,4,5 \dots$ sek da sinov o'lchashlari o'tkaziladi. Bunda kerakli vaqtda "stop" tugmasini bosishga ulgurish kerak. Indeksatsiya vaqtini har bir eksperimentator o'ziga qulay holda tanlaydi va hamma o'lchashlar bir xil vaqtda o'tkaziladi.

3. Tanlangan masofa va vaqt uchun o'lchashlar 5 marta takrorlanadi. O'lchab olingan impulsning o'rtachasi $\bar{N}(x) = \frac{1}{5} \sum N(x)$ aniqlanadi va o'lchash natijalari 1-jadvalda tushiriladi.

4. Kursor yordamida radioaktiv preparatni har safar 2 mm ga uzoqlashtirilgan holda o'lchashlar takrorlanadi. O'lchashlar impulsning o'rtacha qiymati biror o'zgarmas qiymatga erishganicha davom ettiriladi. Bu o'zgarmas qiymat (N) *tabiiy fon* deyiladi va har bir X masofa uchun $\langle N(x) \rangle \ll N_{\phi} \gg$ ayirma hisoblanib jadvalga kiritiladi. Bundan tashqari har bir o'lchashda olingan natija birlik fazoviy burchakka normalashirilishi, ya'ni masofa ortishi bilan fazoviy burchak kamayishiga tuzatma kiritilishi lozim:

$$(\langle N(x) \rangle - \langle N_{\phi} \rangle) / \Omega \approx N'(x) \quad (2)$$

bu yerda, Ω -masofa ortishi bilan fazoviy burchak kamayishiga kiritilgan tuzatma bo'lib, berilgan qurilma uchun hisoblangan va jadvalga keltirilgan. Shu yo'l bilan olingan natijalar jadvalga kiritiladi va millimetrlig qog'ozda $\langle N'(x) \rangle \approx f(x)$ yutilish grafigi chiziladi.

5. Tajriba natijalari asosida chizilgan grafik (17.1) dan alfa zarralarning havodagi ekstropolatsiyalangan yugurish yo'li R_1 aniqlanadi.

6. Bajirilgan laboratoriya ishiga xulosa yoziladi.

Nazorat savollari

1. Alfa zarrachaning asosiy xossalari tushuntiring.
2. Alfa zarralar muhit orqali o'tganda energiya isrofi turlarini tushuntiring.
3. Alfa zarralarning o'rtacha, ekstropolatsiyalangan va keltirilgan yugurish yo'llarini tushuntiring.
4. Nima uchun alfa zarrachalar yugurish masofasini baholashda fazoviy burchakka tuzatma kiritiladi?
5. Fotoelektron ko'paytirgichning ishlash prinsipini tushuntiring.

№ 18 Laboratoriya ishi: Alfa zarralar energiyasini virtual tajribada aniqlash

Ishning maqsadi: Virtual tajribalarda alfa zarralarining energiyasini ularning havodagi erkin yugurish masofasi orqali aniqlash.

Kerakli jihozlar: Kompyuter, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

Yadrolarning radioaktiv α -yemirilishi. Yadrolarning radioaktiv α -yemirilishida ikkita proton va ikkita neytrondan iborat α -zarracha gelyiy yadrosi uchib chiqadi. α -zarracha massasi $6,644 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, spin va magnit moment nolga teng. Bu zarrachaning zaryadi uning tarkibidagi protonlar zaryadi bilan aniqlanadi va $+2e$ ga teng ($e = 1,644 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$). α -yemirilishda dastlabki Z zaryadli va A massa soniga ega bo'lgan "ona" yadro tartib nomeri $Z-2$ va massa soni $A-4$ bo'lgan "qiz" yadroga aylanadi.

Hozirgi kunda 150 dan ortiq α — radioaktiv yadrolar aniqlangan bo'lib, ularning ko'pchiligi elementlar davriy sistemasining oxirida joylashgan.

α -radioaktiv yadrolar va ular chiqaradigan α — zarrachalarning asosiy xarakteristikasi sifatida yarim yemirilish davri- $T_{1/2}$, kinetik energiya — E_α va erkin yugurish masofasi R qaratiladi.

Yadrolarning yarim yemirilish davrini aktivlikning vaqt bo'yicha kamayishi yoki sekulyar tenglama asosida aniqlash mumkin. Real eksperimentlarda α -zarrachalarning erkin yugurish masofasi Vitsen kamerasi yoki pufaki kamera yordamida aniqlanadi. Alfa zarralar erkin yugurish masofasini virtual laboratoriyada aniqlash 17-laboratoriya ishida batafsil bayon etilgan.

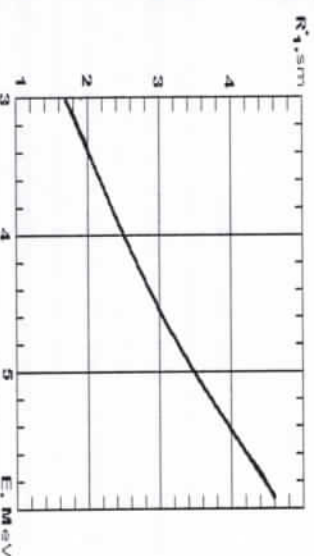
Alfa zarrachalar energiyasini bevosita aniq o'lchash magnit spektrometrlar yordamida amalga oshiriladi. Bu qurilmalar energiyani $\sim 5 \text{ keV}$ aniqlikda o'lchashga imkon beradi.

Ko'plab tajribalar va nazariy tadqiqotlar natijasida alfa zarralarining erkin yugurish masofasi va energiyasi orasida quyidagi bog'lanish mavjudligi aniqlangan:

$$R \approx 0,3 E_\alpha^{3/2} \quad (1)$$

Bu bog'lanishdan foydalangan holda alfa zarralar energiyasini bilvosita usulda-erkin yugurish masofasi orqali aniqlash mumkin. Alfa zarralarining erkin yugurish masofasini aniqlash metodikasi 17-laboratoriya ishida bayon etilgan.

Alfa zarrachalarning havodagi ekstopolyatsiyalangan yugurish masofasining energiyaga bog'lanish empirik grafigi 18.1-rasmda keltirilgan.



18.1-rasm. Alfa zarrachalarning havodagi ekstopolyatsiyalangan yugurish masofasining ular energiyasiga bog'lanishi.

Alfa zarralar energiyasini aniqlash uchun 17-laboratoriya ishidagi 17.1-rasmda keltirilgan yutish grafigidan ekstopolyatsiyalangan yugurish masofasi R_1 topiladi. Keyin (1) formula asosida chizilgan 18.1-rasmdagi grafikdan bu qiymatga mos energiya aniqlanadi.

Ekspirimental qism

1. Ekspirimental qurilma tavsifi

Ekspirimental o'lchash yacheykasining konstruksiyasi 17-laboratoriya ishida bayon etilgan.

2. Ishni bajarish tartibi

1. 17-laboratoriya ishida keltirilgan virtual tajriba qurilmasidan foydalanib, alfa zarralarining erkin yugurish masofasi aniqlanadi.
2. Tajribada aniqlangan erkin yugurish masofasiga radioaktiv manba ustiga qoplangan titan oksidli (TiO_2) plyonkasida yutish tuzatmasi kiritiladi.
3. Tajribada aniqlangan ekstopolyatsiyalangan yugurish masofasi asosida alfa zarralar energiyasi aniqlanadi.

4. Tajribada aniqlangan alfa zarralar energiyasi real eksperimental natijasi bilan taqqoslanadi va xatoliklar hisoblanadi.

5. Tajribada zarra energiyasini aniqlashning nisbiy xatoligi $\gamma = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{dop}}}{E_{\text{max}}} \cdot 100\%$ formuladan topiladi. Nazariy va eksperimental natijalar keskin farq qilsa, ekspozitsiya vaqtini o'ttirgan holda tajribalarni takrorlash kerak.

6. Bajirilgan laboratoriya ishiga xulosa yoziladi.

Nazorat savollari

1. Alfa zarrachaning asosiy xossalari nima?
2. Yadroning yarim yemirilish davri alfa zarra energiyasiga qanday bog'langan?
3. Alfa zarralar muhit orqali o'tganda energiya isrofi turlarini tushuntiring.
4. Alfa zarralarining o'tirgacha, ekstopolyatsiyalangan va keltirilgan yugurish yo'llarini tushuntiring.
5. Nima uchun alfa zarrachalar yugurish masofasini baholashda fazoviy burchakka tuzatma kiritiladi?
6. Fotoelektron ko'paytirgichining ishlash prinsipi nima?

№ 19 Laboratoriya ishi: Radioaktiv plutoniy-238 izotopining yarim yemirilish davrini virtual tajribada aniqlash

Ishning maqsadi: plutoniy izotopining α -yemirilishini o'rganish orqali Geyger-Nettol formulasi yordamida yarim yemirilish davrini aniqlash.

Kerakli jihozlar: kompyuter, videoprojektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

Yadrolarning radioaktiv α -yemirilishi. Yadrolarning radioaktiv α -yemirilishida ikkita proton va ikkita neytron iborat α -zarracha gelyi yadrosi uchib chiqadi. α -zarracha massasi $6,644 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, spin va magnet moment nolga teng. Bu zarrachaning zaryadi uning tarkibidagi protonlar zaryadi bilan aniqlanadi va $+2e$ ga teng ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$). α — yemirilishda dastlabki Z zaryadi va A massa soniga ega bo'lgan "ona" yadro tartib nomeri $Z-2$ va massa soni $A-4$ bo'lgan "qiz" yadroga aylanadi.

Hozirgi kunda 150 dan ortiq α — radioaktiv yadrolar aniqlangan bo'lib, ularning ko'pchiligi elementlar davriy sistemasining oxirida joylashgan.

α -radioaktiv yadrolarning yashash vaqti juda katta diapozonda yotadi: $3 \cdot 10^{-7}$ sekund (^{212}Po) — $1,4 \cdot 10^{10}$ yil (^{232}Th). α -zarrachalarning kinetik energiyalari esa $2,0 - 8,8 \text{ MeV}$ kichik diapozonda yotadi. Tajribalar radioaktiv yadroning yashash davri qanchalik kichik bo'lsa, hosil bo'layotgan α -zarrachalar energiyasi shuncha katta bo'lishini ko'rsatadi. Bu kattaliklar orasidagi miqdoriy bog'lanish Geyger-Nettol qonuni bilan ifodalanadi.

$$\log_{10} \tau = 148 \sqrt{E} - 53,6 \quad (1)$$

bu yerda, τ -berilgan izotop alfa-radioaktiv yadrosining o'tirgacha yashash vaqti (sek), E -alfa zarracha kinetik energiyasi (MeV).

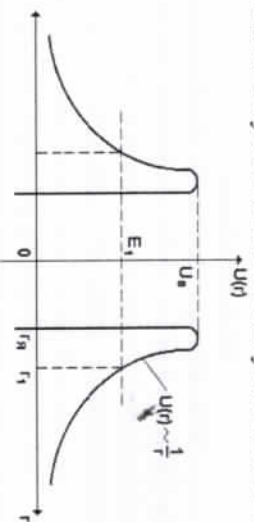
Geyger-Nettol qonunidan foydalanib α -zarracha energiyasini bilgan holda berilgan izotopning o'tirgacha yashash vaqtini va yarim yemirilish davrini aniqlash mumkin.

$$T = \tau \ln 2 \approx 0,69\tau \quad (2)$$

Yadro ichida hosil bo'lgan α -zarracha faqatgina $\sim 10^{-15}$ m masofada ta'sir etuvchi noelektir tabiiy yadroviy kuchlar bilan tutib turiadi. Yadrodan tashqarida esa α -zarra va yangi yadro orasida Kulon itarishuv kuchlari mavjud. Bu ta'sirlashuvning potensial energiyasi quyidagicha ifodalanadi.

$$U(r) = (Z-2)2e^2 / 4\pi\epsilon_0 r \quad (3)$$

Kvant mexanik tasavvurlarga ko'ra alfa zarralar 19.1- rasmda ko'rsatilgan potensial baryerda tunnel effekti yordamida o'tadi.



19.1- rasm. Alfa zarrachalarning potensial bar'yer orqali o'tishi (Tunnel effekti)ga doir chizma

Bu potensial baryer va alfa zarra energiyasiga bog'liq holda quyidagi uchta holat bo'lishi mumkin.

$E \leq 0$ bo'lsa, alfa zarracha yadro ichida joylashadi.

$E \geq U_0$ bo'lsa, alfa zarracha yadroga bog'lanmagan holda istalgan masofaga uzochlashishi mumkin.

$0 < E < U_0$ bo'lganda, alfa zarrachaning yadro tashqarisida topilish ehtimoliyati mavjud.

Zarrachalarning potensial baryer orqali "sizib" o'tish hodisasi *tunnel effekti* deb ataladi.

Massasi m_α va energiyasi E_1 bo'lgan zarrachaning kengligi $\Delta r = r_1 - r_0$ yadro kenglikdagi baryer orqali o'tish ehtimoliyati quyidagi kvant mexanik munosabat bilan ifodalanadi.

$$D \approx \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \int_{r_0}^{r_1} \sqrt{2m_\alpha [U(r) - E_1]} dr \right] \quad (4)$$

(4) ifodadan ko'rinadiki, zarracha energiyasi ortishi bilan tunnel effekti ehtimoliyati ortadi, yadroning o'rta yashash vaqti esa kamayadi.

4. Eksperimental qism

4.1. Eksperimental qurilma tavsifi

Eksperimental qurilma o'lchash yacheykasining konstruksiyasi 17-laboratoriya ishida bayon etilgan.

4.2. Ishni bajarish tartibi

1. 17 va 18-laboratoriya ishlarida keltirilgan virtual tajriba qurilmasidan foydalanib, alfa zarrachalarning erkin yugurish masofasi va energiyasi aniqlanadi. Ushbu laboratoriya ishida har bir talaba 17 va 18-laboratoriya ishlarida o'zi olgan natijalardan foydalanishi mumkin.
2. Alfa zarralar energiyasi uchun tajribada olingan natijalar asosida Geyger-Nettol qonunidan foydalanib berilgan izotopning o'rta yashash vaqtini va yarim yemirilish davri aniqlanadi.
3. O'rnatilayotgan radioaktiv izotopning yarim yemirilish davri uchun virtual tajribada olingan natijalar real eksperiment tajribalari bilan taqqoslanadi va xatoliklar hisoblanadi.
4. Laboratoriya ishi qo'llanmasida keltirilgan namuna asosida hisobot yoziladi.
5. Bajarlilgan laboratoriya ishiga xulosa yoziladi.

Nazorat savollari

1. Alfa zarrachaning asosiy xossalari tushuntiring.
2. Yadroning yarim yemirilish davri alfa zarra energiyasiga qanday bog'langan?
3. Alfa zarralar muhi orqali o'tganda energiya isrofi turlarini tushuntiring.
4. Alfa zarralarning o'rta, ekstrapolyatsiyalangan va keltirilgan yugurish yo'llarini tushuntiring.
5. Nima uchun alfa zarrachalar yugurish masofasini baholashda fazoviy burchakka tuzatma kiritiladi?
6. Fotoelektron ko'paytirgichning ishlash prinsipini tushuntiring.

№ 20 Laboratoriya ishi: Elektronning solishtirma zaryadini magnetron usulida virtual tajribada aniqlash

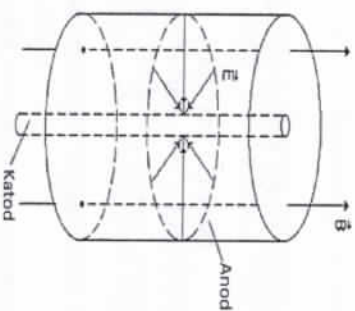
Ishtirakchilarning maqsadi: elektronning solishtirma zaryadini magnetron usulida aniqlash va o'lichash xatoliklarini baholash.

Kerakli jihozlari: kompyuter, videoproektor, ekran, virtual laboratoriya ishi yozilgan disk.

Nazariy qism

1. **Elektronlarning magnetron ichidagi harakati:** Zarrachaning solishtirma zaryadi deganda uning zaryadi (q) ning massasi (m) ga nisbati tushuniladi.

Eng oddiy magnetron ikki elektrodli elektron radiolampa (diod) bo'lib, silindrik anod va uning o'qiga joylashgan katoddan iborat (20.1-rasm).



20.1-rasm. Magnetron tuzilishi

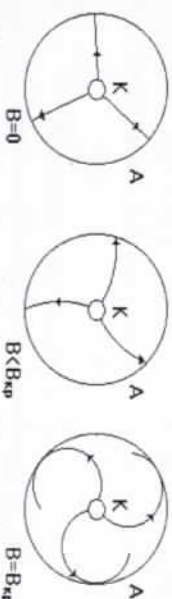
Bu lampa uning o'qi bo'ylab yo'nalgan maydoniga joylashtiriladi. Ushbu ishda magnet maydoni lampali diod atrofiga o'ralgan silindrik g'altak-solenoid yordamida hosil qilinadi. Bu maydonning magnet induksiya vektori $\vec{B}$ solenoiddagi tok I_0 ning o'zgarishi hisobiga o'zgartiriladi.

Elektronning solishtirma zaryadi $\frac{|e|}{m}$ (eksperimentda aniqlangan) radio lampadagi anod toki I_a ning solenoiddagi I_0 tokka bog'lanishi $I_a = f(I_0)$ orqali aniqlanadi.

Ma'lumki, lampa ichida katoddan anodga qarab harakatlanayotgan elektronga ikkita kuch ta'sir etadi:

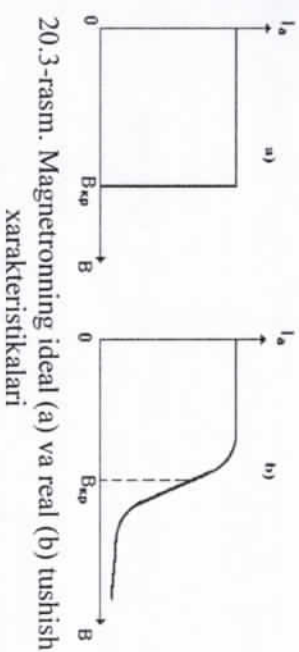
- 1) Elektr maydoni tomonidan ta'sir etuvchi kuch $\vec{F}_e = e\vec{E}$ (1)
- 2) Magnet maydoni tomonidan ta'sir etuvchi kuch $\vec{F}_m = [e\vec{v}\vec{B}]$ (2)

Bunda birinchi kuch radius bo'ylab katoddan anodga yo'nalgan bo'lsa, ikkinchisi tezlik va magnet maydon induksiya vektorlariga perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi. 20.2-rasmda magnet maydon induksiya vektorlarining turli qiymatlaridagi elektronlar trayektoriyasi ko'rsatilgan. Ko'rinish turibdiki, magnet induksiya o'rtishi bilan elektronlar trayektoriyasi ko'proq egriyladi va magnet induksiyasining ma'lum bir kritik qiymati B_{kp} da elektronlar anodga yetib bormaydi va bu holda anod toki keskin kamayadi.



20.2-rasm. Magnet maydonining elektronlar harakat trayektoriyasiga ta'siri ($\vec{B}$ vektori qog'oz tekisligiga perpendikulyar yo'nalgan.)

20.3(a) va 20.3(b) rasmlarda tasvirlangan anod toki (I_a) ning magnet induksiya ($\vec{B}$) vektorga bog'lanishi magnetronning tushish xarakteristikasi deb ataladi.



20.3-rasm. Magnetronning ideal (a) va real (b) tushish xarakteristikalari

Magnetronning ideal tushish xarakteristikasi qat'iy bir jinsli maydonda elektronlar tezligi bir xil bo'lgan holda kuzatiladi. Lekin real holatda anod tokining to'xtashi keskin emas, balki asta — sekin

kamayadi. Bu holda magnit induksiya vektorining kritik qiymati $I_a = f(\beta)$ chiziqning burilish nuqtasiga to'g'ri keladi.

Agar lampa katodi radiusi (r_k) anod radiusi (R_a)ga qaraganda ancha kichik ($r_k/R_a \ll 1$) bo'lsa, elektron asosan katod yaqinidagi fazoda tezlashadi, chunki elektr maydon kuchlanganligi amalda katod atrofiga noldan farqli bo'ladi. Shuning uchun elektron tezligini o'zgarimas ($v \approx \text{const}$) va trayektoriyasi aylanadan iborat hamda kritik trayektoriya diametri anod radiusiga teng deb olish mumkin:

$$2r_{kp} = R_a \quad (3)$$

2. Hisoblash formulasini keltirib chiqarish

Nyutoning 2-qonuniga asosan elektronga magnit maydoni tomonidan ta'sir etayotgan kuch unga normal tezlanish beradi:

$$F_M = m a_n \text{ yoki } |e| v B_{kp} = \frac{mv^2}{r_{kp}} \quad (4)$$

$$\text{bundan } r_{kp} = \frac{mv}{|e| B_{kp}}. \quad (5)$$

$$\text{Ikkinchi tomondan } \frac{mv^2}{2} = e U_a, \quad (6)$$

(U_a — katod va anod orasidagi potensiallar farqi)

$$\text{ekanligini hisobga olsak } v = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}} \quad (7)$$

(7) ni hisobga olgan holda (4) formuladan elektroning solishtirma zaryadi uchun quyidagi ifodani olamiz

$$\left(\frac{|e|}{m} \right) = \frac{8U_a}{R_a^2 B_{kp}^2} \quad (8)$$

Chekli uzunlikdagi o'zaksiz solenoid tomonidan hosil qilingan magnit maydoni induksiya quyidagi formula bilan aniqlanadi:

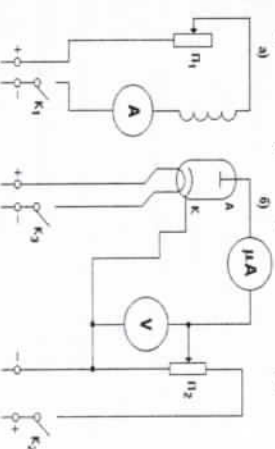
$$B = \frac{\mu_0 N I_c}{\sqrt{D^2 + l^2}} \quad (9)$$

Bu yerda: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Gm/m — magnit doimiylik
N — solenoiddagi o'ramlar soni; L — solenoid uzunligi; D — solenoid diametri; I_s — solenoiddagi tok kuchi.

(9) ni hisobga olganda elektron solishtirma zaryadini hisoblash formulasini quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\left(\frac{|e|}{m} \right) = \frac{8U_a (L^2 + D^2)}{R_a^2 \mu_0^2 I_c^2 N^2} \quad (10)$$

3. Laboratoriya ishi tajriba qurilmasining elektr sxemasi



20.4-rasm. Tajriba qurilmasi sxemasi

Qurilmaning elektr zanjiri ikki qismdan iborat: a) solenoid zanjiri, b) diod zanjiri.

Bu sxemada A-solenoiddagi tok kuchini o'lchash ampermetri; μA — anod tokini o'lchash mikroampermetri; V — anod kuchlanishini o'lchash voltmetri; Π_1 va Π_2 tok va kuchlanishni boshqarish moslamalari.

Laboratoriya ishining eksperimental qurilmasida bir jinsi magnit maydoni hosil qilishga imkon beruvchi nisbatan uzun solenoid ichiga oddiy radiolampa — diod joylashtirilgan.

Ushbu laboratoriya ishining kompyuter variantida eksperiment o'tkazish sharoitlari maksimal aniqlikda modellashirilgan. Kompyuter displeyida radiolampadagi anod tokini o'lchovchi mikroampermetr va solenoiddagi tokni o'lchovchi ampermetr aks etadi. Bu o'lchov asboblarning ko'rsatishlari asosida magnetronning tushish xarakteristikasini qurish mumkin.

Tajribani o'tkazishda eksperimentatordan diqqat bilan ishlash hamda o'lchash natijalarini hisoblashlarni va xatoliklarni to'g'ri bajarish talab qilinadi. O'lchashlarni solenoid tokini monoton o'rnatish yoki kamaytirish bilan amalga oshirish mumkin. Bunda faqat klaviatura va sichqoncha bilan ishlanadi. Lekin virtual laboratoriya ishini bajarishdan oldin qo'llanmaning nazariy qismini diqqat bilan

o'qib chiqib, sinov savollariga javob berish mumkin. Sinov savollariga qoniqarli javob bergan talaba laboratoriya ishini bajarishga kiritishadi.

4. Ishni bajarish tartibi

1. Kursorni "O'lchash" tugmasiga keltirib, sichqonchaning chap klavishi bosiladi, kompyuter displeyida yuqorida aytilgan ampermetr va mikroampermetr chiqadi.
2. O'lchov asboblari bilan tanishib hisobotning "O'lchov asboblari va ularning xarakteristiklari jadvali to'ldiriladi.
3. Hisobotga magnetron parametrlari kiritiladi. O'lchashlar anod kuchlanishining $U_a = 6 \pm 0,1V$ qiymatida o'tkaziladi.
4. Kursorni solenoid tokini boshqarish dastagiga keltirib, anod toki I_a ning solenoid toki I_s ga bog'lanishi aniqlanadi. O'lchashlar 18 ta qiymatdan kam bo'lmashigi lozim va olingan natijalar hisobotning 2-jadvaliga kiritiladi.
5. Olingan natijalar asosida $I_s = f(I_a)$ bog'lanish grafigi chiziladi. Bu grafdan grafik differensiallash usuli orqali solenoiddagi tokning kritik qiymati I_{kr} aniqlanadi.

Grafik differensiallash quyidagicha amalga oshiriladi. Solenoid tokining yaqin nuqtalari uchun $\left| \frac{\Delta I_a}{I_a} \right|$ va ΔI_s lar olinib, $\left| \frac{\Delta I_a}{I_a} \right| / \Delta I_s$ nisbat aniqlanadi va uchinchi jadvalga kiritiladi. Millimetri qog'ozda $\left| \frac{\Delta I_a}{I_a} \right| = f(I_s)$ grafik chiziladi. Bunda I_s olingan ikki nuqtaga mos solenoid tokining o'rtaqasidir, ya'ni solenoid tokiga mos nuqtaga qo'shni nuqtalar olinishi kerak.

Grafikdagi maksimumga to'g'ri keluvchi absissa o'qidagi nuqta solenoiddagi kritik toki beradi.

6. Asosiy hisoblash formulasi (10) ga olingan eksperimental natijalarni qo'yib, elektronning solishtirma elektr zaryadi aniqlanadi. Olingan natija jadval qiymati bilan taqqoslanadi.

7. Hisobotda keltirilgan formulalar asosida absolyut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi. Tajriba natijalari jadval qiymatidan keskin farq qilgan hollarda tajribalar takrorlanadi.

8. Ikkinchi ilovada keltirilgan shaklda hisobot tayyorlanadi va tekshirish uchun o'qituvchiga topshiriladi.

1-ilova.

O'zaksiz solenoidning magnet maydoni induksiyasi quyidagi formuladan topiladi

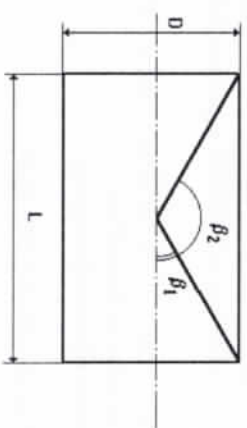
$$B = \frac{\mu_0 I_s N}{2L} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$$

N — solenoiddagi o'ramlar soni; I_s - solenoiddagi tok kuchi; L — solenoid uzunligi;

β_1 va β_2 — solenoid o'qi va chetki nuqtalarga o'tkazilgan radius-vektorlar orasidagi burchaklar.

20.5-rasmdan ko'rinadiki,

$$\cos \beta_1 = \frac{L}{\sqrt{D^2 + L^2}}, \cos \beta_2 = -\frac{L}{\sqrt{D^2 + L^2}}.$$



20.5-rasm. Solenoid magnet induksiyasini hisoblashga oid chizma

Shunday qilib, magnet induksiyasi uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz.

$$B = \frac{\mu_0 I_s N}{\sqrt{D^2 + L^2}}. \text{ Agar } D \ll L \text{ (uchun solenoid) bo'lsa, } B = \mu_0 I_s \frac{N}{L}.$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot 5 \cdot 9 \left((50 \cdot 10^{-3})^2 + (33 \cdot 4 \cdot 10^{-3})^2 \right)}{(5 \cdot 10^{-3})^2 (12 \cdot 5 \cdot 10^{-7})^2 (1700)^2} = \frac{47,2 (2500 \cdot 10^{-6} + 1115,56 \cdot 10^{-6})}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 156,25 \cdot 10^{-14} \cdot 8649 \cdot 10^{-6} \cdot 289 \cdot 10^4} = \frac{170654,432 \cdot 10^{-6}}{9763,91 \cdot 10^{-16}} = 17,47 \cdot 10^{-10}$$

Solenoid tokining o'rtaqacha qiymatlari uchun magnet induksiyasini hisoblab, unga mos anod tokining qiymatlarini ikkinchi jadvalga kiritamiz.

№	I_s, mA	B, Tl	2-jadval	
			$I_{a, o'rt}$	(μA)
1	18,75	66,94		185

2	43,75	156,19	165
3	68,75	245	145
4	93	332	128
5	117,5	419,48	110
6	142	506,94	90
7	167,5	598	72
8	193,5	690,8	54

Nazorat savollari

1. Zaryadlangan zarralarning elektr va magnit maydonda harakatini tushuntiring.
2. Magnetrnning ishlash prinsipi va tuzilishini tushuntiring.
3. Magnetrnning ideal va real tushish xarakteristikolari qanday farqlanadi.
4. Laboratoriya ishidagi ishchi formulani tushuntiring.
5. Tajriba qurilmasini tushuntiring.
6. Ishni bajarish tartibini tushuntiring.

Laboratoriya ishlarni bajarish va hisobot yozish bo'yicha namunalalar

LABORATORIYA ISHIGA HISOBOT SHAKLI

TTTUL VARAG'I

Navoiy davlat pedagogika instituti
Fizika-matematika fakulteti
"Fizika va astronomiya" kafedrası

Atom, yadro va elementar zarralar fizikasi fanidan
____-laboratoriya ishiga

HISOBOT

Bajardi: "Fizika va astronomiya" ta'lim
yo'nalishi

3-kurs talabasi _____

Qabul qildi: _____
O'qituvchining F.I.Sh (imzo)

Navoiy-202_

1-Namuna: 16-Laboratoriya ishi. Radioaktiv nurlarning turli muhitlarda yutilish ko'effitsiyentini virtual tajribada aniqlash.

1. Laboratoriya ishiniing maqsadi

2. Laboratoriya ishini bajarish uchun kerakli jihozlar

3. Laboratoriya ishini tushuntirish yozuvi asosida tanlangan modda uchun tajriba natijalari olinadi. Hisoborda tanlangan modda turi ko'rsatiladi.

4. Olingan natijalar 1-jadvalga tushiriladi.

5. 1-jadval asosida turli moddalar uchun yutilish ko'effitsiyentlarini taqqoslash diagrammasi kompyuter dasturi asosida chiziladi.

6. Tanlab olingan moddalar uchun yutilish ko'effitsiyentlari modda materialining turli qalinliklarida qanday o'zgarishi o'rganiladi. Olingan natijalar 2-jadvalga tushiriladi va kompyuter dasturi asosida moddadan o'tayotgan nurlanish aktivligining qalinlik bo'yicha o'zgarish grafiqi chiziladi.

16-Laboratoriya ishiga hisobot namunasi

1. Laboratoriya ishini o'tkazishdan maqsad: turli moddalarda gamma nurlanishining yutilish ko'effitsiyentini, moddadan o'tayotgan gamma nurlanish intensivligining material qalinligi bo'yicha o'zgarishini aniqlash va axborot kommunikatsion texnologiyalar asosida talabalar gamma nurlanishlar xossalari haqida bilim va ko'nikmalarni hosil qilishdan iborat.

2. Virtual laboratoriya ishini bajarish uchun tajriba qurilmasining umumiy tasviri hisobot daftariga chiziladi

3. Laboratoriya ishini bajarish uchun o'qituvchi tomonidan belgilab berilgan yutuvchi material turi sichqoncha yordamida tanlanadi va uning qalinligi belgilab olinadi. "Start" tugmachasini sichqoncha yordamida bosib, virtual laboratoriya qurilmasi ishga tushiriladi. Bunda konteyner tirgishi oldidagi ekran suriladi va detektor moddadan o'tayotgan nurlanish intensivligini sanaydi. Virtual laboratoriya ishida sanash qurilmasi berilgan sharoitda aktivlikni (1 sekunddagi yemirilishlar sonini) ko'rsatadi. Manbadan chiqayotgan nurlanish aktivligi I_0 ni aniqlash uchun yutuvchi material qalinligi 0 ga keltiriladi.

4. Ayni bir moddaning belgilangan qalinligi uchun o'lchashlar 3 marta takrorlanadi va olingan natijalar 1-jadvalga tushiriladi. Bu o'lchashlarda guruh talabalari kichik guruhlarga bo'linib ishlaydilar. Masalan, biror guruhga o'lchash materiali sifatida temir(Fe), qo'rg'oshin(Pb), va qum(asosan Si) berilgan bo'lsin. Har xil materiallar uchun yutilish ko'effitsiyentlari quyidagi formuladan aniqlanadi.

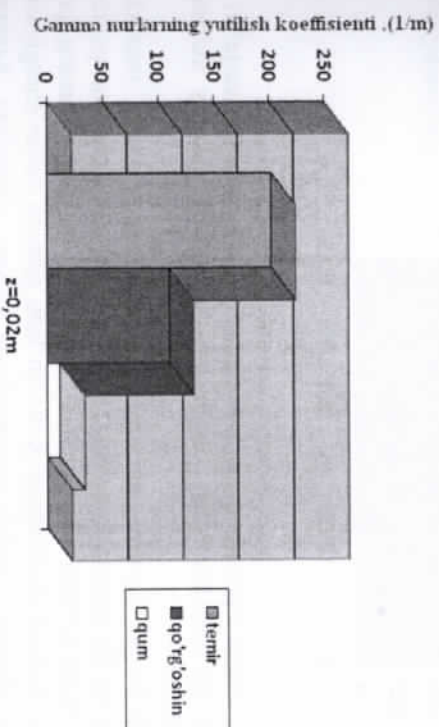
$$I = I_0 e^{-\mu z} \Rightarrow \mu = [\ln(I_0 / I)] / z$$

Natural logarifmlar jadvali ilovada keltirilgan.

3-jadval

Material turi	Z _c (m)	I ₀ (imp/s)	O'lchashlar						Hisoblashlar			
			I, (imp/sek)			μ, (1/m)			μ _{0.75} (1/m)	Δμ _{0.75}	ε _r (%)	
			1	2	3	1	2	3				
Temir	0,02	2000	32	36	37	206	201	199	202	2,7	1,33	
Qo'rg'oshin	0,02	2000	201	240	231	115	106	108	110	3,7	3,36	
Qum	0,02	2000	1599	1598	1620	11	12	11	11,3	0,43	3,8	

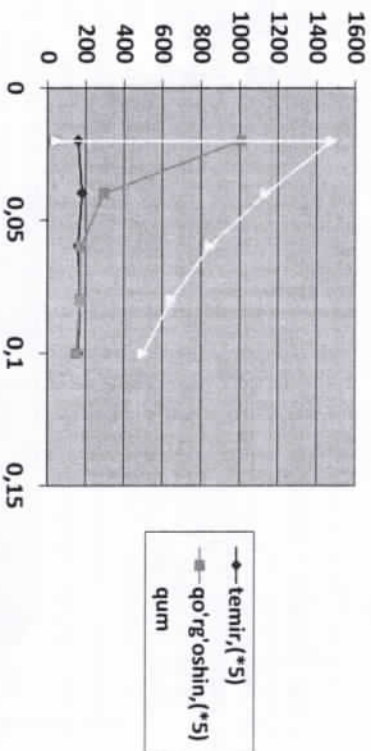
5. 3-jadval asosida bir xil qalinlikdagi (Z=const) turli moddalarda gamma nurlanishining yutilish ko'effitsiyentlari diagramma ko'rinishida chizilib, taqqoslanadi. Qaralayotgan holda berilgan moddalar uchun tajriba natijalari asosida quyidagi diagramma olingan. (1-rasm).



6. Tanlab olingan materialning qalinligi o'zgartirilib, turli qalinliklar uchun olingan natijalar 3-jadvalga tushirilgan va o'tayotgan nurlanish aktivligining material qalinligiga bog'lanish grafiqi ($I = f(z)$) chizilgan (1-rasm).

$Z, (m)$ $I, (imp/sek)$	4-jadval				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,01
Temir	32	36	32	34	32
Qo'rg'oshin	201	59	35	34	30
Qum	1476	1137	846	647	500

6-rasmdagi grafikda temir va qo'rg'oshin uchun bog'lanish chiziqlari ko'rinari bo'lishi uchun 5 marta kattalashtirilgan holda chizilgan.

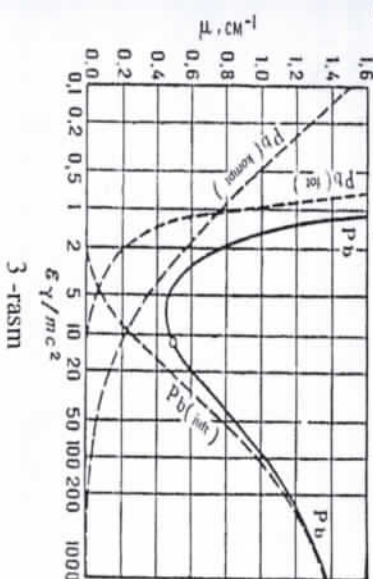


2-rasm

7. Virtual tajribada olingan natijalar real eksperiment natijalari va nazariy ma'lumotlar bilan taqqoslanadi hamda yakuniy xulosalar chiqariladi:

Ma'lumki, gamma nurlarning moddalarda yutilishi murakkab jarayon bo'lib, asosan fotoeffekt, Kompton effekti va elektron-pozitron juftligi hosil bo'lishi bilan kechadi. Yutilishda bu jarayonlarning qaysi birining kechish ehtimoliyati katta bo'lishi gamma nurlar energiyasiga bog'liq. Masalan, kichik energiyalarda asosan fotoeffekt, Kompton effekti kuzatilsa, yuqori energiyalarda elektron-pozitron juftligi hosil bo'lishi kuzatiladi. Eksperimental tadqiqotlarda aniqlangan

qo'rg'oshinda gamma nurlar yutilish koefitsiyentining nurlanish energiyasiga bog'lanish grafiqi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm

O'rnatilayotgan virtual laboratoriya ishining kamchiliklaridan biri tushayotgan gamma nurlanish energiyasining belgilanmaganligidir. Lekin shunga qaramasdan qo'rg'oshin uchun olingan natijalar ma'lum energiyalar diapazonida real eksperimental natijalar bilan mos tushishini ko'rishimiz mumkin.

8. Talabalar virtual laboratoriya ishida olingan o'lchashlar natijasiga ko'ra turli moddalarda gamma nurlanishlarning yutilishi haqida olingan ma'lumotlarni tahlil qiladilar va sinov savollariga javoblar yozadilar.

2-Namuna: 17-Laboratoriya ishi. Alfa zarralarning havodagi erkin yugurish masofasini aniqlash

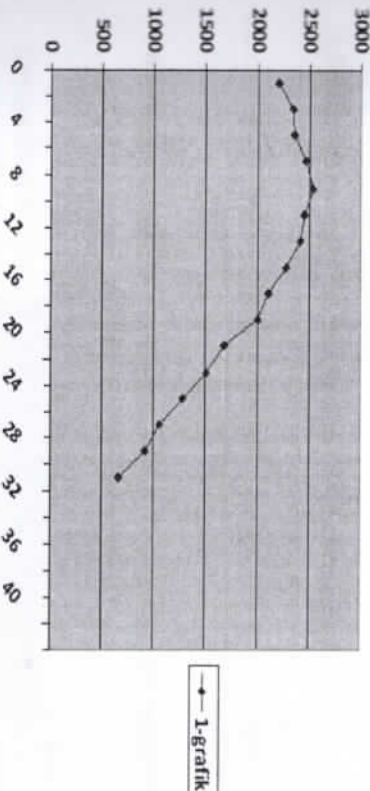
1. Detektorda qayd etilayotgan impulslar sonining alfa radioaktiv manba va sinitilyatsion hisoblagich orasidagi masofaga bog'lanishi natijalari 1-jadvalga tushirildi

1-jadval

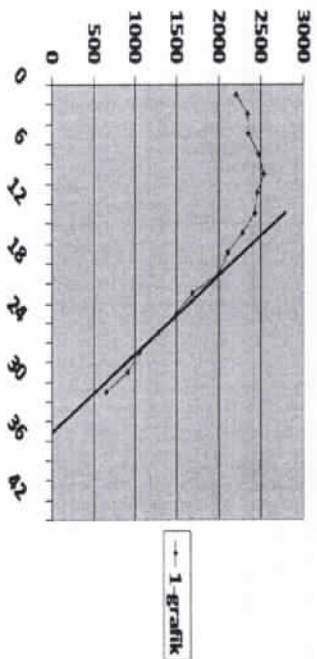
x , mm	Ω mish bi r.	N					$\langle N(x) \rangle$	$\langle N(x) \rangle - \langle N_0 \rangle$	$\frac{\langle N(x) \rangle - \langle N_0 \rangle}{\Omega}$
		1	2	3	4	5			
0	0,500	1143	1138	1111	1083	1123	1119	1100	2200
2	0,465	1086	1083	1053	1110	1105	1107	1088	2339
4	0,425	1082	1008	1053	983	971	1019	1000	2352
6	0,395	1011	1009	990	997	967	994	975	2468
8	0,360	922	924	904	981	935	933	914	2538
10	0,325	753	841	846	793	852	817	798	2455
12	0,300	757	709	722	760	779	745	726	2420
14	0,274	629	694	645	649	606	644	625	2281
16	0,250	538	546	516	572	552	544	525	2100
18	0,229	490	479	484	469	466	477	458	2000
20	0,210	391	369	375	370	357	372	353	1680

22	0,195	306	304	299	338	314	312	293	1502
24	0,184	247	263	255	251	262	255	236	1282
26	0,165	197	209	185	185	191	193	174	1054
28	0,142	155	147	139	156	150	149	130	915
30	0,135	111	102	104	116	107	108	89	659
40	(600)	20	19	18	19	21	19	0	0

Detektorda qayd etilgan impulslar sonining masofaga bog'liqlik grafigi (1-grafik)



1-grafikdan foydalanib, alfa zarrachalarning ekstrapolyatsiyalangan yugurish masofasini grafikka o'tkazilgan urinning X o'qi bilan kesishuv nuqtasi sifatida aniqlaymiz: $R_\alpha \approx 40mm$.



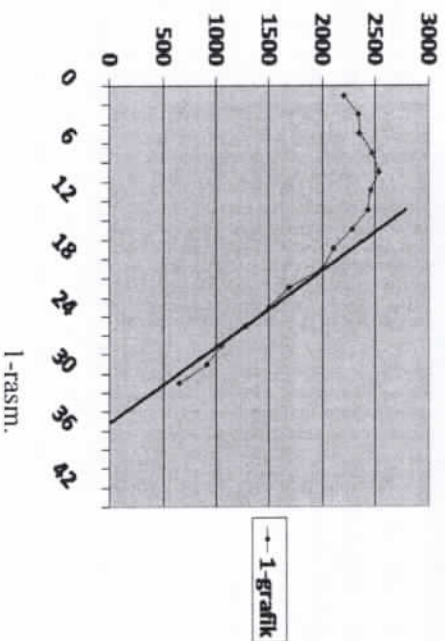
Alfa zarrachalarning manba ustiga qoplangan plyonkadagi yugurish masofasini hisobga olgan holda keltirilgan ekstrapolyatsiyalangan yugurish masofasi (R'_1) ni aniqlaymiz:

$$R'_1 = R_1 + \Delta R_1,$$

bu yerda $\Delta R_1 = l_0 C$ va $l_0 = 1,7$ mkm TiO_2 -plyonka qalindigi, $C = (3,4 \pm 0,1) \cdot 10^3$.

$$R'_1 = 34,9 \cdot 10^{-3} + 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 3,4 \cdot 10^3 = 34,9 \cdot 10^{-3} + 5,78 \cdot 10^{-3} = 40,68 \cdot 10^{-3} m = 40,68 mm \approx 4,07 sm$$

3-Namuna: 18-Laboratoriya ishi. Alfa zarrachalarning energiyasini virtual tajribada aniqlash.



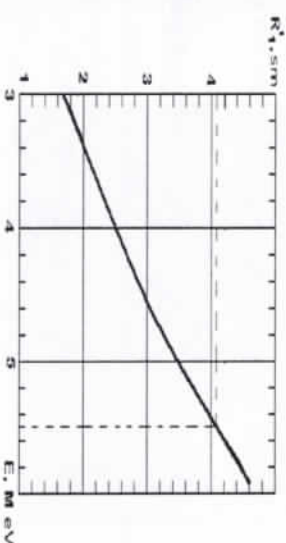
2-namunada alfa zarrachalarning manba ustiga qoplangan plyonkadagi yugurish masofasini hisobga olgan holda keltirilgan ekstrapolyatsiyalangan yugurish masofasi (R'_1) quyidagicha aniqlangan edi:

$$R'_1 = R_1 + \Delta R_1,$$

bu yerda $\Delta R_1 = l_0 C$ va $l_0 = 1,7$ mkm TiO_2 -plyonka qalindigi, $C = (3,4 \pm 0,1) \cdot 10^3$.

$$R'_1 = 34,9 \cdot 10^{-3} + 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 3,4 \cdot 10^3 = 34,9 \cdot 10^{-3} + 5,78 \cdot 10^{-3} = 40,68 \cdot 10^{-3} m = 40,68 mm \approx 4,07 sm$$

Bu tajriba ishida 1-rasmdagi keltirilgan ekstrapolyatsiyalangan yugurish masofasining alfa zarrachalar energiyasiga bog'liqlik grafigidan manbadan chiqayotgan alfa zarralar energiyasini aniqlaymiz: $E_{\alpha sp} = 5,48 MeV$ (2-rasm)



Geyger-Nettol qonuni asosida alfa zarrachalar energiyasining nazariy qiymatini hisoblaymiz.

$$\log_{10} \tau = 148 / \sqrt{E} - 53,6$$

Bu formulada plutoniy-238 izotopining real tajribalarda yarim yemirilish davri $T_{1/2} = 87,75$ yil ekanligini hisobga olsak,

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{87,75}{0,693} = 126,6 yil = 126,6 \cdot 31536000 sek = 3992457600 sek$$

ga teng va

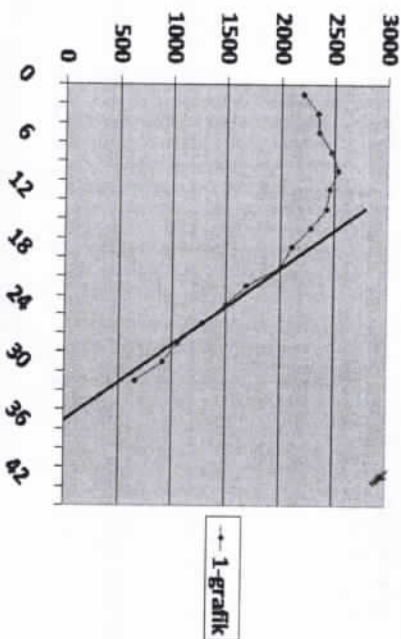
$$E_{nazariy} = \left(\frac{148}{\log_{10} \tau + 53,6} \right)^2 = \left(\frac{148}{9,6012403 + 53,6} \right)^2 = \left(\frac{148}{63,2} \right)^2 = 2,34177215^2 = 5,48389681 MeV$$

Yugorida olingan natijalar asosida energiyani aniqlashning nisbiy xatoligini hisoblaymiz.

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{maxim}} - E_{\text{dep}}}{E_{\text{maxim}}} \cdot 100\% = \frac{5,483 - 5,48}{5,483} \cdot 100\% = 0,05\%$$

4-Namuna: 19-Laboratoriya ishi. Radioaktiv plutoniy-238 izotopining yarim yemirilish davrini virtual tajribada aniqlash.

2-namunadagi jadval va grafikdan foydalanib, alfa zarrachalarning ekstrapolyatsiyalangan yugurish masofasini grafikka o'tkazilgan urimning X o'qi bilan kesishuv nuqtasi sifatida aniqlaymiz:
 $R_1 \approx 40mm$.

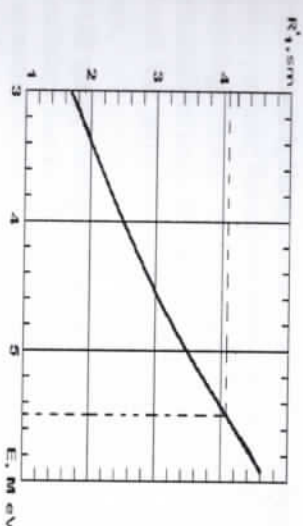


1-rasm

Alfa zarrachalarning manba ustiga qoplangan plyonkadagi yugurish masofasini hisobga olgan holda keltirilgan ekstrapolyatsiyalangan yugurish masofasi (R_1) ni aniqlaymiz:

$$R_1 = 34,9 \cdot 10^{-3} + 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 3,4 \cdot 10^3 = 34,9 \cdot 10^{-3} + 5,78 \cdot 10^{-3} = 40,68 \cdot 10^{-3} m = 40,68 mm \approx 4,07 cm$$

3-namunadagi ekstrapolyatsiyalangan yugurish masofasining alfa zarrachalar energiyasiga bog'liqlik grafigidan manbadan chiqayotgan alfa zarralar energiyasini aniqlaymiz: $E_{\text{dep}} = 5,48 MeV$ (2-rasm)



2-rasm

Alfa zarrachalar energiyasining eksperimental qiymati asosida plutoniy-238 izotopining yarim yemirilish davrini aniqlaymiz:

$$\log_{10} \tau = \frac{148}{\sqrt{5,48}} - 53,6 = \frac{148}{2,34} - 53,6 = 9,6224667$$

bundan o'racha yashash vaqti uchun quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$\tau = 419243874,1465 \text{ sek} = \frac{419243874,1465}{31536000} = 132,94 \text{ yil}$$

Bunga asoslanib, plutoniy-238 izotopining yarim yemirilish davri uchun quyidagi natijani olamiz:

$$T_{1/2} = \tau \cdot \ln 2 = 132,94 \cdot 0,693 = 92,1 \text{ yil}$$

$$\varepsilon = \frac{T_{1/2(\text{eks})} - T_{1/2(\text{namu})}}{T_{1/2(\text{eks})}} \cdot 100\% = \frac{87,75 - 92,1}{87,75} \cdot 100\% = 4,95\%$$

Laboratoriya ishlari bo'yicha My-test dasturidagi testlar.

1. Fotoning massasi qaysi formula bo'yicha aniqlanadi?
 - a) $m = \rho \cdot v$
 - b) $m = 2E/v^2$
 - c) $m = hv/c^2$
 - d) $m = h/v \cdot \lambda$
2. Fotoeffekt hodisasida fototokning to'yinish qismi yorug'lik ... bog'liq.
 - a) Oqimiga;
 - b) Oqimiga hamda chastotasiga;
 - c) To'liqin uzunligiga;
 - d) Metallning chiqish ishiga.
3. Fotoeffekt hodisasida fotoelektronlarning tezligi (kinetik energiyasi) yorug'lik ... bog'liq.
 - a) Oqimiga
 - b) Chastotasiga
 - c) Metallning chiqish ishiga
 - d) Ham yorug'lik oqimiga, ham yorug'lik chastotasiga.
4. Fotoeffektning qizil chegarasi deganda nima tushuniladi?
 - a) Fototok kuchining qiymati nol bo'lgan holni;
 - b) Yorug'lik fotonining energiyasi metallning chiqish ishidan kichik bo'lgan holni;
 - c) Metall sirtiga kelib tushayotgan yorug'lik chastotasi metallning chiqish ishi bilan quyidagi shartni bajaragan hol, ya'ni $h\nu = A$ ni;
 - d) Fotonning energiyasi metallning chiqish ishidan katta bo'lgan holni.
5. Fotoeffekt hodisasida fotoelektronlarni tutuvchi kuchlanish yorug'lik chastotasiga...
 - a) Bog'liq emas;
 - b) K vadrat bog'lanishda;
 - c) Chiziqi bog'lanishda;
 - d) Murakkab ko'rinishda bog'liq.
6. ... fotoelementlarning fotosezgirliigi eng katta bo'ladi.
 - a) Vakuumli;
 - b) Gaz to'ldirilgan;
 - c) Yarim o'tkazgichli;
 - d) Barcha fotoelementlarning.
7. Fotoeffekt hodisasida yorug'lik fotoni metallga kelib tushganda, unga qanday ta'sir ko'rsatadi?

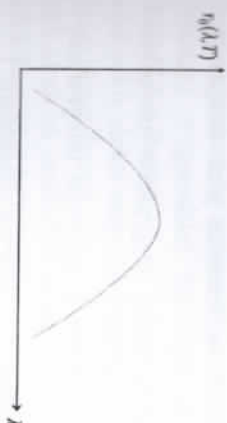
- a) Metall ionlari bilan o'zaro individual ta'sirlashadi, ya'ni metall ionlariga yutiladi;
- b) Metalldagi erkin elektronlarning biri bilan o'zaro individual ta'sirlashadi va unga yutiladi;
- c) Metall ion panjaralari bilan o'zaro ta'sirlashadi va o'z energiyasini uzatadi;
- d) Metall sirtiga tushib sochiladi;
- f) Metalldagi barcha elektronlar bilan o'zaro ta'sirlashadi va ularga o'z energiyasini uzatadi.
8. Fotoelementlarning sifati katod sirti sifatiga bog'liqmi?
 - a) Ha bog'liq, chunki turli fotokatodlarning chiqish ishlari turlicha bo'ladi; katod sirti qanchalik toza bo'lsa, chiqish ishi ham shunchalik aniq bo'ladi;
 - b) Yo'q, bog'liq emas, chunki katod sirtiga o'tirgan atomlar uning ishini o'zgartira olmaydi;
 - c) Unchalik bog'liq emas, chunki fototokning qiymati fotoelektronlar tezligiga bog'liq, fotoelektronlarning sifati fototoklarning qiymatiga bog'liq;
 - d) Yo'q, bog'liq emas, chunki fotoelementlarning sifati fotokatodlarning chiqish ishiga emas, balki vakuumning yuqori yoki pastligiga bog'liq.
9. Gaz to'ldirilgan fotoelementlar yasashda qanday gazlardan foydalaniladi va qanday maqsad nazarda tutiladi?
 - a) Kislород, водород, азот, chunki ularning elektron qardoshligi kichik;
 - b) Inert gazlar: neon, argon, geliy chunki ularning ionlashishlari oson;
 - c) Faqat водород gazidan foydalaniladi, chunki uning atomida bitta elektron bor;
 - d) Faqat kislород, chunki uni olish arzon.
10. Vakuumli va gaz to'ldirilgan fotoelementlar ... bilan farq qiladi.
 - a) Fototokning kattaligi;
 - b) Fotosezgirliigi;
 - c) Tutuvchi potensial qiymatining kattaligi;
 - d) Fotoelektronlar bulutining paydo bo'lishi.
11. Tajribalarda fotokatodning qizil chegarasi 300 nm ekanligi aniqlandi. Shu fotokatoddan elektronning chiqish ishi necha eV ekanligi aniqlansin.
 - a) 1,6; b) 3; c) 4,1; d) 4,8.
12. Qanday kuchlanishda fototokning qiymati nolga teng bo'ladi?

- a) Kuchlanish nol bo'lganda;
 - b) Kuchlanish manfiy bo'lganda;
 - c) Kuchlanish musbat bo'lganda;
 - d) Kuchlanish qiymati tutuvchi potensial qiymatiga teng bo'lganda.
13. Yorug'lik oqimi oshganda fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi qanday o'zgaradi?
 - a) Volt-ampere xarakteristikasi o'zgarmaydi;
 - b) Volt-ampere xarakteristikasining to'yinish qismi kamayadi;
 - c) Volt-ampere xarakteristikasining to'yinish qismi ortadi;
 - d) Volt-ampere xarakteristikasining bosh qismida o'zgarish yuz beradi.
 14. Fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi (VAX) chastotaga...
 - a) qarab o'tib boradi, uning oxirida o'zgarish sezilmaydi;
 - b) VAX ning oxiri chastota o'tishi bilan chapga qarab siljib boradi, to'yinish toki deyarli o'zgarmaydi;
 - c) VAX ning to'yinish qismi ham, uning oxiri ham chastotaga proporsional o'zgarib boradi.
 15. To'yinish fototoki yorug'likning ... bog'liq.
 - a) Chastotasiga;
 - b) Oqimiga;
 - c) Spektral tarkibiga;
 - d) Tabiiy yoki qublanganligiga.
 16. Qaysi holda Eynshteyn tenglamasi (fotoeffekt uchun) to'g'ri yozilganligini belgilang.

$$a) h\nu = \frac{m\nu^2}{2} + A; \quad b) h\nu_0 = A + \frac{m\nu^2}{2}; \quad c) h\nu = \frac{m\nu_{max}^2}{2} + A; \quad d) h\nu_0 = \frac{m\nu_{max}^2}{2} + A_0.$$
 17. Fotoeffekt vaqtida fotokatod materiali o'zgarmasa, fotoelektronning kinetik energiyasi nimaga bog'liq bo'ladi?
 - a) Elektronlarning chiqish ishiga;
 - b) Elektronlarga beriladigan kuchlanishga;
 - c) Yorug'lik chastotasiga;
 - d) Yorug'lik oqimiga.
 18. Yorug'likning ko'zga sirga ko'rsatayotgan bosimi (boshqa shart sharoitlar o'zgarmaganda) absolyut qora jismga ko'rsatayotgan bosimdan ... bo'ladi.
 - a) 2 marta katta;
 - b) 2 marta kichik;
 - c) 4 marta katta;

- d) 4 marta kichik.
19. Yorug'likning qattiq jismlarga ko'rsatayotgan bosimini sezish va o'lchashdagi asosiy eksperimental qiyinchiliklar nimada?
 - a) Yorug'likning bosimi molekular bosimdan kichikligida;
 - b) Radiometrik effektning bartaraf qilishda;
 - c) Yuqori vakuumni hosil qilishning qiyinchiligida;
 - d) Lebedev burama tarozisida elastikligi katta bo'lgan sim topilishining qiyinligida.
20. Maksvellning elektromagnit to'lqin nazariyasi asosida yorug'lik bosimi nimaga teng?
 - a) Birlik yuzga to'g'ri kelgan yorug'lik energiyasiga;
 - b) Birlik yuzga tushayotgan elektromagnit to'lqin energiyasiga;
 - c) Hajm birligidagi elektromagnit to'lqin energiyasiga;
 - d) Yorug'lik intensivligiga.
21. Lebedev tajribalarida radiometrik effekt qanday qilib yo'qotilgan?
 - a) Doirachalar yuqqa qilib olingan;
 - b) Doirachalarning biri qoraga bo'yalgan;
 - c) Konveksion oqim yo'qotilgan;
 - d) Doirachalar ulangan moslama shishadan yasalgan.
22. Lebedev tajribalarida qanday fizik kattaliklar absolyut o'lchangan?
 - a) Yorug'likning bosim kuchi burama tarozi (shishadan yasalgan moslama) ning burallash burchagi doirachalarning yuzi.
 - b) Burama tarozining burallash burchagi;
 - c) Burama tarozi o'silgan simning burallash momenti;
 - d) Burama taroziga kelib tushayotgan yorug'lik quvvati.
23. Astrofizik hodisalarda yorug'lik bosimi qanday namoyon bo'ladi?
 - a) Quyoshdan kelayotgan yorug'lik bosimi hisobiga kometalarning dumining shakli o'zgaradi;
 - b) Kometalarning dumining hajmi o'zgaradi;
 - c) Kometalarning shakli o'zgaradi;
 - d) Kometalarning ham shakli, ham massasi o'zgaradi.
24. Yorug'lik bosimini ... nazariyasi asosida tushuntirish mumkin. To'g'ri va to'liq javobni ko'rsating.
 - a) Elektromagnit to'lqin;
 - b) Fotonlar;
 - c) Elektromagnit to'lqin hamda fotonlar;
 - d) Kvantlar.
25. Moddalarning nurlanish qobiliyati deganda nima tushuniladi?
 - a) Birlik yuzga to'g'ri kelgan yorug'lik energiyasiga;
 - b) Birlik yuzga tushayotgan elektromagnit to'lqin energiyasiga;
 - c) Hajm birligidagi elektromagnit to'lqin energiyasiga;
 - d) Yorug'lik intensivligiga.

- a) Birlik vaqt oralig'idagi modda sirtidan tarqaladigan energiya;
 b) Moddaning birlik sirtidan birlik vaqt oralig'idagi nurlanadigan energiya;
 c) Modda sirtidan tarqaladigan quvvat;
 d) Energetik yorqinlik.
26. Absolyut qora jismning nur yutish qobiliyati ... teng.
 a) Nolga; b) Birga; c) Ikki ga; d) Birga teng emas.
27. Muvozanat nurlanish ... spektrga ega.
28. Muvozanat nurlanish xususiyati nurlanuvchi jismlarning tabiatiga....
 a) Bog'liq; b) Bog'liq emas; c) Unchalik bog'liq emas; d) Qisman bog'liq.
29. Absolyut qora jismlarning nurlanish qobiliyati nega boshqa birday haroratda turgan barcha jismlarning nurlanish qobiliyatlaridan katta bo'ladi?
- a) Chunki nur yutish qobiliyati birga teng;
 b) Chunki nur yutish qobiliyati nolga teng;
 c) Chunki nur yutish qobiliyati birdan kichik;
 d) Chunki nur yutish qobiliyati birdan katta.
30. Absolyut qora jismning integral nurlanish qobiliyati spektral nurlanish qobiliyati bilan qanday bog'langan?
- a) $R_0 = \int_0^\infty R_0 d\lambda$; b) $R = \int_0^\infty R d\lambda$;
 c) $R_0 = \int_0^\infty R_0 dT$ d) $R = \int_0^\infty R dT$.
31. Absolyut qora jismning energiya zichligi uning harorati bilan ... ko'rinishda bog'langan.
 a) $R_0 = \sigma T^4$; b) $R \sim T^5$; c) $R_0 \sim \sigma T^4$; d) $R \sim T^2$.
32. $r_0(\lambda, T)$ egri chiziqning e'gallagan yuzi qanday fizik ma'noni anglatadi?
- a) Yuz nurlanish energiyasini anglatadi;
 b) Yuz integral nurlanish energiyasini anglatadi;
 c) Yuz nurlanish quvvatini anglatadi;
 d) Yuz spektral nurlanish qobiliyatini anglatadi.
33. $r_0(\lambda, T)$ egri chiziqning qaysi qismi Reley – Jins formulasi asosida tushuntiriladi?
- a) Egri chiziqning uzun λ ga to'g'ri kelgan qismi;

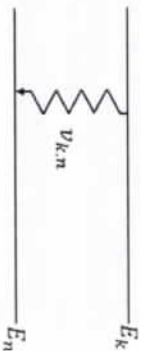


- b) Egri chiziqning qisqa λ ga to'g'ri kelgan qismi;
 c) Egri chiziqning maksimum nuqtasi;
 d) Egri chiziqni Reley — Jins formulasi asosida tushuntirib bo'lmaydi.
34. Absolyut qora jism haroratini 1000 K dan 2000 K ga o'rttirganda, uning nurlanish qobiliyati qanday o'zgaradi?
 a) 4 marta ortadi; b) 8 marta ortadi; c) 8 marta kamayadi; d) 16 marta ortadi.
35. «Ultrabinafsha halokat» deb ... tushunamiz.
 a) Nurlanish energiyasini nolga intilishini;
 b) Nurlanish quvvatining cheksizlikka intilishini;
 c) Nurlanish energiyasining cheksizlikka intilishini;
 d) Nurlanish quvvatining nolga teng bo'lib qolishini.
36. Kirxgofning oshkormas universal funksiyasi qanday fizik ma'noni anglatadi?
- a) Moddalarning nurlanish qobiliyatini anglatadi;
 b) Absolyut qora jismning nurlanish qobiliyatini anglatadi;
 c) Absolyut qora jismning nurlanish quvvatini anglatadi;
 d) Moddalarning nurlanish energiyasini anglatadi.
37. Absolyut qora jism taqsimot funksiyasi maksimumining balandligini xarakterlovchi to'liq uzunligi (λ_{max}) harorat bilan ... ko'rinishda bog'langan.
 a) $\lambda_{max} = \sigma T^4$; b) $\lambda_{max} = \frac{c}{T^2}$; c) $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$; d) $\lambda_{max} = \frac{c}{T^4}$;
38. Qora jism nurlanish spektridagi energiyaning taqsimlanish qonuni klassik nazariyaga asosan qanday formula bilan ifodalanishini belgilang.
 a) $r_{0,\lambda,T} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT d\nu$; b) $r_{0,\lambda,T} = r_{0,\lambda,T} \frac{c}{\nu^2}$;
 c) $r_{0,\lambda,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} e^{h\nu/kT}$; d) $\lambda_{max} \cdot T = const$
39. Plank formulasidan Stefan — Bolsman qonuni qanday qilib keltirib chiqariladi?
- a) Spektral nurlanish qobiliyati ifodasini chashtota bo'yicha 0 dan ∞ gacha integrallash natijasida keltirib chiqariladi;

- b) $\tau_{0,\lambda,T}$ ning ifodasidan chastota bo'yicha differensial olish natijasida keltirib chiqariladi;
- c) $\tau_{0,\lambda,T}$ ning ifodasini to'liq uzunligi bo'yicha integrallash natijasida keltirib chiqariladi;
- d) $\tau_{0,\lambda,T}$ ning ifodasini ham λ bo'yicha, ham T bo'yicha integrallash natijasida keltirib chiqariladi.
40. Plank formulasidan Vin qonuni qanday qilib keltirib chiqariladi?
- a) Spektral nurlanish ifodasini to'liq uzunligi bo'yicha 0 dan ∞ gacha integrallash natijasida keltirib chiqariladi;
- b) Spektral nurlanish qobiliyati ifodasidan λ bo'yicha differensial olish natijasida keltirib chiqariladi;
- c) Spektral nurlanish qobiliyati ifodasidan to'liq uzunligi bo'yicha differensial olib, chiqqan natijani no'ga tenglash bilan keltirib chiqariladi;
- d) $\tau_{0,\lambda,T}$ ning ifodasini ham λ bo'yicha, ham T bo'yicha integrallash natijasida keltirib chiqariladi.
41. Qachon va qaysi sharoitlarda Plank formulasi muvozanat nurlanish spektridagi energiyaning taqsimoti uchun olingan klassik ifodaga o'tadi?
- a) $\frac{h\nu}{kT} \gg 1$; b) $\frac{h\nu}{kT} \ll 1$; c) $\frac{h\nu}{kT} \approx i$; d) $\frac{h\nu}{kT} \approx 1$.
42. Rentgen nayining ... rentgen nurlanishi generatsiyalanadi.
- a) katodida;
- b) anodida;
- c) antikatodida;
- d) katodida va anodida.
43. Tormozlanish rentgen nurlanishi nimadan iborat?
- a) Antikatoddan generatsiyalangan elektronlar oqimidan iborat;
- b) Antikatod atomlari orasida elektronlarning harakati natijasida generatsiyalangan elektromagnit to'liqlardan iborat;
- c) Antikatod atomlari ichiga kirib borgan elektronlarning yuzaga keltirgan elektromagnit to'liqlardan iborat.
- d) Katoddan chiqqan elektronlar oqimidan iborat.
44. Xarakteristik rentgen nurlanish mexanizmi nimadan iborat?
- a) Elektronlarning antikatod atomlari orasida tormozlanishi hisobiga elektromagnit to'liqlarning yuzaga kelishidan iborat;

- b) Elektronlarning antikatod atomlari ichiga kirib ketishi hisobiga, atom ichidagi o'zgarishlar hisobiga elektromagnit to'liqlarning yuzaga kelishidan iborat;
- c) Kuchi elektr maydon hisobiga elektromagnit to'liqlarning yuzaga kelishidan iborat;
- d) Katod va antikatod o'rtasiga berilgan yuqori kuchlanish hisobiga elektromagnit to'liqlarning yuzaga kelishidan iborat.
45. Rentgen nurlarining minimal to'liq uzunligi ularni yuzaga keltiradigan anod kuchlanishining qiymati bilan qanday bog'langanligini belgilang.
- a) $\frac{hc}{\lambda_0} = eU$; b) $\frac{hc}{\lambda} = \frac{1}{eU}$; c) $\frac{hc}{\Delta\lambda} = eU$; d) $\frac{hc}{\lambda_0} = \frac{U}{e}$.
46. Vulf — Bregg sharti... ko'rinishida bo'ladi.
- a) $d\sin\theta = k\lambda$; a) $\frac{\sin\theta}{d} = k\lambda$; c) $2d\sin\theta = k\lambda$; d) $d\sin\theta = \frac{k\lambda}{2}$;
47. Tormozlanish rentgen nurlanish spektri ... bo'ladi.
- a) chiziqli;
- b) ma'lum shakldagi tutash;
- c) yo'l-yo'l;
- d) tutash spektr fonidagi chiziqli spektrdan iborat.
48. Xarakteristik rentgen nurlanishi ... bo'ladi.
- a) tutash spektr fonidagi chiziqli spektrdan iborat;
- b) tutash spektrdan iborat;
- c) yo'l-yo'l spektrdan iborat;
- d) ma'lum shakldagi tutash spektrdan iborat.
49. Mozli qonunining matematik ifodasi... ko'rinishga ega.
- a) $v = R(Z - \sigma)^2$; b) $\omega = R(Z - \sigma)^2$; c) $v = R(Z - \sigma)$; d) $v = R'(Z - \sigma)$.
50. Kompton effektida nurlanish chastotasi...
- a) o'zgarmaydi; b) $\Delta\lambda$ ga ortadi; c) $\Delta\lambda$ ga kamayadi; d) $v_0 + \Delta v$ ga ortadi.
51. Kompton effekti nurlanish chastotasining o'zgarishiga sabab nima?
- a) Energiyaning saqlanish qonuni; b) Impulsning saqlanish qonuni;
- c) Energiya va impulsning saqlanish qonuni; d) Massaning saqlanish qonuni.
52. Nurlanishning moddaga ta'sirida qaysi hollarda Kompton effekti yuz beradi?
- a) Og'ir moddalar bilan o'zaro ta'sirlashganda;

- b) Metallar bilan o'zaro ta'sirlashganda;
c) Yarin o'kazgichlar bilan o'zaro ta'sirlashganda;
d) Yengil moddalar bilan o'zaro ta'sirlashganda.
53. Tormozlanish nurlanish spektrlarining ko'rinishi antikatomodasiga ...
a) bog'liq; b) bog'liq emas; c) qisman bog'liq; d) katod moddasiga bog'liq.
54. Kompton effekti energiyaning saqlanish qonunining ifodasi qanday ekanligini belgilang.
- a) $\frac{h\nu}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + m_0\nu^2$; b) $h\nu' = h\nu + m_0\nu^2$; c) $h\nu = h\nu' + \frac{m_0\nu^2}{2}$; d) $h\Delta\lambda = \frac{h_0\sin 2\theta}{2}$.
55. Kompton diagrammasida $m_0\nu$... bildiradi.
a) sochilgan foton energiyasini; b) sochilgan elektron energiyasini;
c) sochilgan foton impulsini; d) sochilgan elektron impulsini.
56. Rentgen naviyga beriladigan kuchlanish ... bo'lishi kerak.
a) 20 V dan katta; b) 20 V gacha; c) 20 kV dan katta; d) 20 MV dan kichik.
57. Frank va Gers tajribasi atomning ... tasdiqlaydi.
a) impuls momentining kvantlanganligini;
b) Energiyasining kvantlanganligini;
c) Spinining kvantlanganligini;
d) Magnit momentining kvantlanganligini.
58. Atomdagi elektronning qabul qila oladigan energiyasining diskret xarakterida ekanligini... tajribasi tasdiqlaydi.
a) Shtern — Gerlax; b) Devisson — Djerner; c) Frank va Gers; d) De — Broyl.
59. Atomdagi elektron $E_K = 7,7 \cdot 10^{-19}$ J energiyali sathdan $E_n = 4,4 \cdot 10^{-19}$ J energiyali sathga o'tganda chiqariladigan elektromagnit nurlanishining to'liq uzunligi necha nm ekanligi aniqlansin.
a) 150; b) 300; c) 340; d) 600.
60. Atomda elektron spinga ega ekanligini ... tajribasi tasdiqlaydi. -
a) Frank va Gers; b) Devisson — Djerner; c) Erenfest; d) Shtern — Gerlax;



61. Atomar vodorod gazi nurlanish spektrining ... seriyasi yaqin infragizil nurlanish sohasida yotadi.
a) Balmer; b) Pashen; c) Layman; d) Brekett.
62. Quyidagi formula ... Balmer seriyasining formulasi hisoblanadi.
a) $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$; b) $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$; c) $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$; d) $\nu = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$.
63. Balmerning umumlashgan formulasi ko'rinishda bo'ladi.
a) $\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$; b) $\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$; c) $\nu = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, $k < n$;
d) $\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$, $k < n$.
64. Molekular spektrlar... bo'ladi....
a) chiziqli; b) tutash; c) yo'l — yo'l; d) ham tutash, ham chiziqli.

My-test dasturining javoblari

1 - c	15 — b	29-a	43-b
2 — a	16 — d	30-a	44-b
3-b	17 — b	31 -a	45-a
4-c	18 — a	32-b	46-c
5-c	19-b	33-a	47-b
6-c	20-c	34-d	48-a
7-b	21-a	35-c	49-a
8-a	22-b	36-b	50-c
9 -b	23-a	37-c	51-a
10-b	24-c	38-a	52-d
11-c	25-b	39-a	53-b
12-d	26-b	40-c	54-c
13-c	27-b	41-b	55-d
14-b	28-b	42-c	56-c
57-b	59-d	61-b	63-c
58-d	60-d	62-c	64-c

Hovalar Asosiy fizik doimiyliklar

Yorug'likning vakuumdagi tezligi	$c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Gravitatsiya doimiyisi	$\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2 (\text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{sek}^2)$
Normal sharoitlarda 1 kmol ideal gazning hajmi V_0	$V_0 = 22,4 \text{ m}^3$
Ideal gazning molyar hajmi	$(T_0 = 273,15 \text{ K}, p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa})$ $V_\mu = 0,0224138 \text{ m}^3 / \text{mol}$
Universal gaz doimiyisi	$R = 8,314 \text{ J} / (\text{K} \cdot \text{mol})$
Faradey soni	$F = 96485 \text{ Kl} / \text{mol}$
Avogadro doimiyisi	$N_A = 6,02204 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Bolsman doimiyisi	$k = 1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ J} / \text{K}$
Protonning tinchlikdagi massasi	$m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Elektronning tinchlikdagi massasi	$m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Neytronning tinchlikdagi massasi	$m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Proton bilan elektronning tinchlikdagi massalarining nisbati	$m_p / m_e = 1836,1515$
Elektronning zaryadi	$e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$
Vin doimiyisi	$h = 0,0028978 \text{ m} \cdot \text{K}$
Plank doimiyisi	$h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Stefan-Bolsman doimiyisi	$\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Wt} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
Ridberg doimiyisi	$R_\infty = 1,09737318 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Bor magnetoni	$\mu_B = 9,27408 \cdot 10^{-24} \text{ J} / \text{Tl}$
Yadro magneti momenti	$\mu_N = 5,05082 \cdot 10^{-27} \text{ J} / \text{Tl}$
Elektronning magneti momenti	$\mu_e = 9,28483 \cdot 10^{-24} \text{ J} / \text{Tl}$
Protonning magneti momenti	$\mu_p = 1,4106171 \cdot 10^{-26} \text{ J} / \text{Tl}$
Massaning atom birligi	$a.m.b. = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Elektronning massasi	$m_e = 9,09534 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ $m_p = 5,4858026 \cdot 10^{-27} \text{ a.m.b.}$
Elektronning solishtirma zaryadi	$\frac{e}{m_e} = 1,7588047 \cdot 10^8 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$
Bor radiusi	$a_0 = 5,291771 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
Erkin tushish tezlanishi	$g = 9,80665 \text{ m} / \text{s}^2$

Suvning maksimal zichligi ($t = 3,98^\circ\text{C}$; $\rho = 101325\text{Pa}$)	$\rho_{H_2O} = 999,973\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Normal atmosfera bosimi	$\rho_{atm} = 101325\text{Pa}$
Tovushning havodagi tezligi	$g = 331,46\text{m/s}$
Havoning zichligi	$\rho_{\text{hav}} = 1,293\text{kg/m}^3$
Magnit doimiyisi	$\mu_0 = 12,566371 \cdot 10^{-7} \text{N/m}$
Elektr doimiyisi	$\epsilon_0 = 8,854188 \cdot 10^{-12} \text{F/m}$
Loshmid soni	$N_L = 2,68719 \cdot 10^{25} \text{m}^{-3}$

Atomlar va molekularning diametrlari	
Geliy (He)	$2 \cdot 10^{-10} \text{m}$
Vodorod (H_2)	$2,3 \cdot 10^{-10} \text{m}$
Kislород (O_2)	$3 \cdot 10^{-10} \text{m}$
Azot (N_2)	$3 \cdot 10^{-10} \text{m}$

Elektronlarning metallardan chiqishdagi ishi (eV da)	
W	4,5
W+Cs	1,6
W+Th	2,63
Pt+Cs	1,40
Pt	5,3
Ag	4,74
Li	2,4
Na	2,3
K	2,0
Cs	1,9
Zn	4,2

Ba'zi radioaktiv moddalarning yarim parchalanish davri		
Bi	5,02 sutka	3,82 sutka
Ir	75 sutka	28 yil
^{45}Ca	164 sutka	1,39 $\cdot 10^{11}$ yil
Na	15,3 soat	7,1 $\cdot 10^8$ yil
Po	138 sutka	4,5 $\cdot 10^9$ yil
^{226}Ra ^{84}Ra	1590 yil	

Ba'zi izotoplarning massalari (m.a.b)					
Izotop	Massa	Izotop	Massa	Izotop	Massa
^1H Vodorod	1,00783	^4Be Berilliy	9,01505	^{23}Mg Magniy	23,00145
^2H	2,01410	^{10}B Bor	10,01294	^{24}Mg	23,99267
Deyteriy		^{11}B Bor	11,00931	Magniy	
^3H Tritiy	3,01605	^{12}C Uglorod	12,00000	^{30}Si Kremniy	29,98325
^4He Geliy	4,00260	^{14}N Azot	14,00307	^{63}Cu Mis	62,94962
^6Li Liy	6,01513	^{15}N Azot	15,00011	^{40}Ca Kalsiy	39,97542
^7Li Liy	7,01601	^{16}O Kislород	15,99491	^{113}Cd	112,94206
^9Be Berilliy	9,01218	^{17}O Kislород	16,99913	Kadmiy	
^{10}B Berilliy	10,01273	^{27}Al	26,98146	^{200}Hg Simob	200,02800
^{11}B Berilliy	11,00931	Aluminiy		^{235}U Uran	235,11750
^{12}C Uglorod	12,00000			^{238}U Uran	238,12376

Radioaktiv nuklidlarning gamma - kvantlari energiyasi					
Nuklid	$E_\gamma(\Delta E_\gamma), \text{keV}$	Nuklid	$E_\gamma(\Delta E_\gamma), \text{keV}$	Nuklid	$E_\gamma(\Delta E_\gamma), \text{keV}$
1	2	3	4	5	6
^{182}Ta	31,7370(7)	^{173}Lu	285,369(6)	^{160}Tb	962,342(18)
^{182}Ta	42,7143(9)	^{92}Ir	295,9483(52)	^{152}Eu	964,070(18)
^{241}Am	59,538(2)	^{160}Tb	298,571(6)	^{160}Tb	966,163(19)
^{169}Yb	63,1182(11)	^{131}Ba	302,850(6)	^{56}Co	1037,841(18)
^{182}Ta	65,7219(13)	^{173}Sc	303,908(10)	^{82}Br	1043,996(20)
^{182}Ta	67,7496(13)	^{169}Yb	307,732(6)	^{207}Bi	1063,660(19)
^{182}Ta	84,2517(15)	^{192}Ir	308,4464(54)	^{153}Eu	1085,835(19)
^{182}Ta	84,6802(16)	^{192}Ir	316,4977(56)	^{153}Eu	1112,065(22)
^{160}Tb	86,790(2)	^{152}Eu	344,267(7)	^{65}Zn	1115,555(20)
^{109}Gd	88,032(2)	^{133}Ba	356,005(7)	^{182}Ta	1121,290(20)
^{179}Lu	88,367(3)	^{133}Ba	383,831(8)	^{60}Co	1121,290(20)
^{75}Se	96,734(3)	^{113}Sn	391,688(7)	^{56}Co	1175,095(23)
^{109}Gd	97,432(3)	^{75}Se	400,650(8)	^{160}Tb	1177,970(22)
^{182}Ta	100,1067(19)	^{152}Eu	411,084(10)	^{182}Ta	1177,970(22)
^{153}Gd	103,181(2)	^{198}Hg	411,794(7)	^{160}Tb	1199,904(23)
^{169}Yb	109,784(3)	^{192}Ir	416,4501(79)	^{153}Eu	1212,895(23)

¹⁸² Ta	113,667(22)	¹⁵² Eu	443,940(9)	¹⁸² Ta	1221,391(22)
¹⁸² Ta	116,417(23)	¹¹⁰ Ag	446,802(11)	¹⁸² Ta	1230,988(23)
¹⁶⁹ Yb	118,191(3)	¹⁹² Ir	468,054(82)	⁵⁶ Co	1238,271(22)
⁷⁵ Se	121,117(3)	⁸² Br	554,330(11)	¹⁸² Ta	1257,416(23)
¹⁵² Eu	121,782(3)	¹³⁴ Cs	563,231(11)	¹⁸² Ta	1271,896(24)
⁵⁷ Co	121,060(2)	¹³⁴ Cs	569,322(12)	¹⁸² Ta	1273,711(24)
¹⁶⁹ Yb	130,525(3)	²⁰⁷ Pb	569,683(11)	²³ Na	1274,531(23)
¹⁴⁴ Ce	133,518(3)	¹⁹² Ir	588,556(106)	¹⁸² Ta	1289,119(24)
⁷⁵ Se	136,000(3)	¹⁹² Ir	604,394(106)	¹⁵² Eu	1289,119(24)
⁵⁷ Co	136,475(5)	¹³⁴ Cs	604,701(12)	¹⁶⁰ Tb	1312,174(26)
¹⁴⁴ Ce	145,443(3)	¹⁹² Ir	612,446(106)	⁸² Br	1317,459(25)
¹⁸² Ta	152,429(29)	¹¹⁰ Ag	620,353(14)	⁶⁰ Co	1332,485(25)
¹⁸² Ta	156,381(930)	¹⁷³ Lu	636,129(13)	⁵⁶ Co	1360,209(24)
¹³⁹ Ce	165,854(3)	¹¹⁰ Ag	657,744(13)	¹³⁴ Cs	1365,177(24)
¹⁷³ Lu	171,402(4)	¹³⁷ Cs	661,648(13)	²³ Na	1368,615(26)
¹⁶⁹ Yb	177,208(4)	¹¹⁰ Ag	677,613(14)	¹¹⁰ Ag	1384,285(26)
¹⁷³ Lu	179,363(4)	¹¹⁰ Ag	687,001(14)	¹⁵² Eu	1407,974(26)
¹⁸² Ta	179,389(534)	¹⁴⁴ Ce	696,492(13)	¹¹⁰ Ag	1475,778(27)
¹⁶⁹ Yb	197,026(4)	⁸² Br	698,361(13)	¹⁴⁴ Ce	1489,132(27)
¹⁸² Ta	198,347(838)	¹¹⁰ Ag	744,271(15)	¹¹⁰ Ag	1505,036(28)
⁷⁵ Se	198,603(5)	¹¹⁰ Ag	763,936(16)	²⁰⁷ Pb	1770,253(34)
¹⁶⁷ Tm	207,797(4)	⁸² Br	776,516(14)	⁵⁶ Co	1771,347(32)
¹⁶⁰ Tb	215,641(4)	¹⁵² Eu	778,914(15)	⁵⁶ Co	1810,768(37)
⁸² Br	221,476(6)	^{95m} Br	786,188(15)	⁸⁸ Y	1836,074(34)
¹⁸² Ta	222,103(742)	¹³⁴ Cs	795,856(16)	⁵⁶ Co	1963,760(38)
¹⁸² Ta	229,316(52)	¹³⁴ Cs	801,957(16)	⁵⁶ Co	2015,196(40)
¹⁷³ Lu	233,603(5)	¹¹⁰ Ag	818,028(15)	⁵⁶ Co	2034,772(37)
¹⁵² Eu	244,691(5)	^{95m} Tc	820,632(19)	⁵⁶ Co	2113,154(48)
¹¹³ Sn	255,132(8)	⁸² Br	827,828(16)	¹⁴⁴ Ce	2185,607(41)
¹⁶⁹ Yb	261,069(9)	⁵⁴ Mn	834,858(15)	⁵⁶ Co	2212,859(55)
¹⁸² Ta	264,071(150)	⁵⁶ Co	846,777(16)	⁵⁶ Co	2598,444(47)
⁷⁵ Se	264,652(5)	¹⁵² Eu	867,383(16)	²⁴ Na	2753,989(51)
¹⁷³ Lu	272,111(5)	¹⁶⁰ Tb	879,387(17)	⁵⁶ Co	3009,587(59)
¹³³ Ba	276,397(5)	¹¹⁰ Ag	884,695(16)	⁵⁶ Co	3201,987(60)
²⁰³ Hg	279,189(6)	⁸⁸ Y	898,048(19)	⁵⁶ Co	3253,414(60)

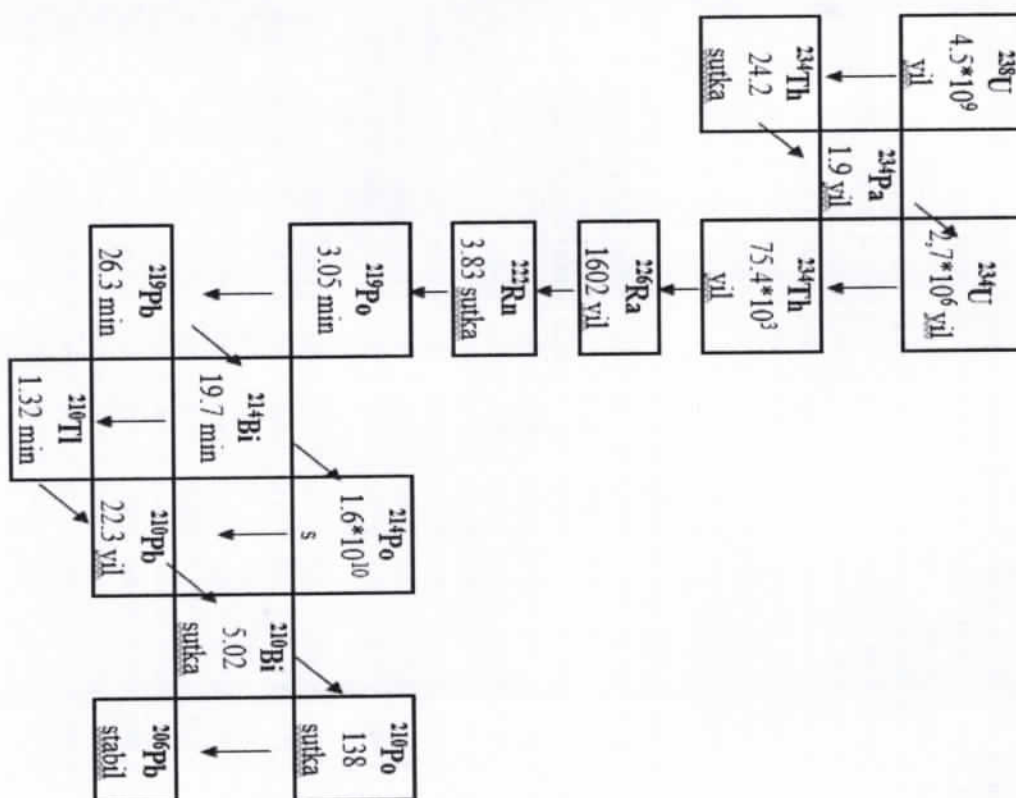
Sun'iy ravishda olingan radioaktiv elementlar

Ele- ment- ning tarth raqami	Kimyoviy element nomi va formulasi	Element sintez qilingan yil	Nisbatan eng ko'p yashaydigan izotoplarining massa soni	Nisbatan eng ko'p yashaydigan izotoplarining yarim yemirilish davrlari
43	Texnety	1937	97	2,6·10 ⁶ yil
61	Prometiy	1947	145	18 yil
85	Astias	1940	210	8 soat 18 daqiqaga
87	Fransiy	1939	223	21 daqiqaga

D.I.MENDELEYEVNING KIMYOVIY ELEMENTLAR DAVRIY JADVALI

DAVR-LAR	GATOR-LAR	ELEMENT GRUPPALARI																
		I	II	III	IV	V	VI	VII	(H)	VIII								
1	1	H																He
2	2	Li	Be	B	C	N	O	F										Ne
3	3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl										Ar
4	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
5	5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
6	6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
7	7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Uuu						
		* L A N T A N O I D L A R 58-71																
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
		* A K T I N O I D L A R 88-103																
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)			

Kimyoviy belgisi	Tartib raqami	Energetik pog'onadagi elektronlar soni	s - elementlar	d - elementlar
Nisbiy atom massasi	Element nomi		p - elementlar	f - elementlar



Natural logarifmlar jadvali

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0	0.0000	0.0100	0.0198	0.0296	0.0392	0.0488	0.0583	0.0677	0.0770	0.0862
1.1	0.0953	0.1044	0.1133	0.1222	0.1310	0.1398	0.1484	0.1570	0.1655	0.1740
1.2	0.1823	0.1906	0.1989	0.2070	0.2151	0.2231	0.2311	0.2390	0.2469	0.2546
1.3	0.2624	0.2700	0.2776	0.2852	0.2927	0.3001	0.3075	0.3148	0.3221	0.3293
1.4	0.3365	0.3436	0.3507	0.3577	0.3646	0.3716	0.3784	0.3853	0.3920	0.3988
1.5	0.4055	0.4121	0.4187	0.4253	0.4318	0.4383	0.4447	0.4511	0.4574	0.4637
1.6	0.4700	0.4762	0.4824	0.4886	0.4947	0.5008	0.5068	0.5128	0.5188	0.5247
1.7	0.5306	0.5365	0.5423	0.5481	0.5539	0.5596	0.5653	0.5710	0.5766	0.5822
1.8	0.5878	0.5933	0.5988	0.6043	0.6098	0.6152	0.6206	0.6259	0.6313	0.6366
1.9	0.6419	0.6471	0.6523	0.6575	0.6627	0.6678	0.6729	0.6780	0.6831	0.6881
2.0	0.6931	0.6981	0.7031	0.7080	0.7129	0.7178	0.7227	0.7275	0.7324	0.7372
2.1	0.7419	0.7467	0.7514	0.7561	0.7608	0.7655	0.7701	0.7747	0.7793	0.7839
2.2	0.7885	0.7930	0.7975	0.8020	0.8065	0.8109	0.8154	0.8198	0.8242	0.8286
2.3	0.8329	0.8372	0.8416	0.8459	0.8502	0.8544	0.8587	0.8629	0.8671	0.8713
2.4	0.8755	0.8796	0.8838	0.8879	0.8920	0.8961	0.9002	0.9042	0.9083	0.9123
2.5	0.9163	0.9203	0.9243	0.9282	0.9322	0.9361	0.9400	0.9439	0.9478	0.9517
2.6	0.9555	0.9594	0.9632	0.9670	0.9708	0.9746	0.9783	0.9821	0.9858	0.9895
2.7	0.9933	0.9969	1.0006	1.0043	1.0080	1.0116	1.0152	1.0188	1.0225	1.0260
2.8	1.0296	1.0332	1.0367	1.0403	1.0438	1.0473	1.0508	1.0543	1.0578	1.0613
2.9	1.0647	1.0682	1.0716	1.0750	1.0784	1.0818	1.0852	1.0886	1.0919	1.0953
3.0	1.0986	1.1019	1.1053	1.1086	1.1119	1.1151	1.1184	1.1217	1.1249	1.1282
3.1	1.1314	1.1346	1.1378	1.1410	1.1442	1.1474	1.1506	1.1537	1.1569	1.1600
3.2	1.1632	1.1663	1.1694	1.1725	1.1756	1.1787	1.1817	1.1848	1.1878	1.1909
3.3	1.1939	1.1969	1.2000	1.2030	1.2060	1.2090	1.2119	1.2149	1.2179	1.2208
3.4	1.2238	1.2267	1.2296	1.2326	1.2355	1.2384	1.2413	1.2442	1.2470	1.2499
3.5	1.2528	1.2556	1.2585	1.2613	1.2641	1.2669	1.2698	1.2726	1.2754	1.2782
3.6	1.2809	1.2837	1.2865	1.2892	1.2920	1.2947	1.2975	1.3002	1.3029	1.3056
3.7	1.3083	1.3110	1.3137	1.3164	1.3191	1.3218	1.3244	1.3271	1.3297	1.3324
3.8	1.3350	1.3376	1.3403	1.3429	1.3455	1.3481	1.3507	1.3533	1.3558	1.3584
3.9	1.3610	1.3635	1.3661	1.3686	1.3712	1.3737	1.3762	1.3788	1.3813	1.3838
4.0	1.3863	1.3888	1.3913	1.3938	1.3962	1.3987	1.4012	1.4036	1.4061	1.4085
4.1	1.4110	1.4134	1.4159	1.4183	1.4207	1.4231	1.4255	1.4279	1.4303	1.4327
4.2	1.4351	1.4375	1.4398	1.4422	1.4446	1.4469	1.4493	1.4516	1.4540	1.4563
4.3	1.4586	1.4609	1.4633	1.4656	1.4679	1.4702	1.4725	1.4748	1.4770	1.4793
4.4	1.4816	1.4839	1.4861	1.4884	1.4907	1.4929	1.4951	1.4974	1.4996	1.5019

4.5	1.5041	1.5063	1.5085	1.5107	1.5129	1.5151	1.5173	1.5195	1.5217	1.5239
4.6	1.5261	1.5282	1.5304	1.5326	1.5347	1.5369	1.5390	1.5412	1.5433	1.5454
4.7	1.5476	1.5497	1.5518	1.5539	1.5560	1.5581	1.5602	1.5623	1.5644	1.5665
4.8	1.5686	1.5707	1.5728	1.5748	1.5769	1.5790	1.5810	1.5831	1.5851	1.5872
4.9	1.5892	1.5913	1.5933	1.5953	1.5974	1.5994	1.6014	1.6034	1.6054	1.6074
5.0	1.6094	1.6114	1.6134	1.6154	1.6174	1.6194	1.6214	1.6233	1.6253	1.6273
5.1	1.6292	1.6312	1.6332	1.6351	1.6371	1.6390	1.6409	1.6429	1.6448	1.6467
5.2	1.6487	1.6506	1.6525	1.6544	1.6563	1.6582	1.6601	1.6620	1.6639	1.6658
5.3	1.6677	1.6696	1.6715	1.6734	1.6752	1.6771	1.6790	1.6808	1.6827	1.6845
5.4	1.6864	1.6882	1.6901	1.6919	1.6938	1.6956	1.6974	1.6993	1.7011	1.7029
5.5	1.7047	1.7066	1.7084	1.7102	1.7120	1.7138	1.7156	1.7174	1.7192	1.7210
5.6	1.7228	1.7246	1.7263	1.7281	1.7299	1.7317	1.7334	1.7352	1.7370	1.7387
5.7	1.7405	1.7422	1.7440	1.7457	1.7475	1.7492	1.7509	1.7527	1.7544	1.7561
5.8	1.7579	1.7596	1.7613	1.7630	1.7647	1.7664	1.7681	1.7699	1.7716	1.7733
5.9	1.7750	1.7766	1.7783	1.7800	1.7817	1.7834	1.7851	1.7867	1.7884	1.7901
6.0	1.7918	1.7934	1.7951	1.7967	1.7984	1.8001	1.8017	1.8034	1.8050	1.8066
6.1	1.8083	1.8099	1.8116	1.8132	1.8148	1.8165	1.8181	1.8197	1.8213	1.8229
6.2	1.8245	1.8262	1.8278	1.8294	1.8310	1.8326	1.8342	1.8358	1.8374	1.8390
6.3	1.8405	1.8421	1.8437	1.8453	1.8469	1.8485	1.8500	1.8516	1.8532	1.8547
6.4	1.8563	1.8579	1.8594	1.8610	1.8625	1.8641	1.8656	1.8672	1.8687	1.8703
6.5	1.8718	1.8733	1.8749	1.8764	1.8779	1.8795	1.8810	1.8825	1.8840	1.8856
6.6	1.8871	1.8886	1.8901	1.8916	1.8931	1.8946	1.8961	1.8976	1.8991	1.9006
6.7	1.9021	1.9036	1.9051	1.9066	1.9081	1.9095	1.9110	1.9125	1.9140	1.9155
6.8	1.9169	1.9184	1.9199	1.9213	1.9228	1.9242	1.9257	1.9272	1.9286	1.9301
6.9	1.9315	1.9330	1.9344	1.9359	1.9373	1.9387	1.9402	1.9416	1.9430	1.9445
7.0	1.9459	1.9473	1.9488	1.9502	1.9516	1.9530	1.9544	1.9559	1.9573	1.9587
7.1	1.9601	1.9615	1.9629	1.9643	1.9657	1.9671	1.9685	1.9699	1.9713	1.9727
7.2	1.9741	1.9755	1.9769	1.9782	1.9796	1.9810	1.9824	1.9838	1.9851	1.9865
7.3	1.9879	1.9892	1.9906	1.9920	1.9933	1.9947	1.9961	1.9974	1.9988	2.0001
7.4	2.0015	2.0028	2.0042	2.0055	2.0069	2.0082	2.0096	2.0109	2.0122	2.0136
7.5	2.0149	2.0162	2.0176	2.0189	2.0202	2.0215	2.0229	2.0242	2.0255	2.0268
7.6	2.0281	2.0295	2.0308	2.0321	2.0334	2.0347	2.0360	2.0373	2.0386	2.0399
7.7	2.0412	2.0425	2.0438	2.0451	2.0464	2.0477	2.0490	2.0503	2.0516	2.0528
7.8	2.0541	2.0554	2.0567	2.0580	2.0592	2.0605	2.0618	2.0631	2.0643	2.0656
7.9	2.0669	2.0681	2.0694	2.0707	2.0719	2.0732	2.0744	2.0757	2.0769	2.0782
8.0	2.0794	2.0807	2.0819	2.0832	2.0844	2.0857	2.0869	2.0882	2.0894	2.0906
8.1	2.0919	2.0931	2.0943	2.0956	2.0968	2.0980	2.0992	2.1005	2.1017	2.1029

8.2	2.1041	2.1054	2.1066	2.1078	2.1090	2.1102	2.1114	2.1126	2.1138	2.1150
8.3	2.1163	2.1175	2.1187	2.1199	2.1211	2.1223	2.1235	2.1247	2.1258	2.1270
8.4	2.1282	2.1294	2.1306	2.1318	2.1330	2.1342	2.1353	2.1365	2.1377	2.1389
8.5	2.1401	2.1412	2.1424	2.1436	2.1448	2.1459	2.1471	2.1483	2.1494	2.1506
8.6	2.1518	2.1529	2.1541	2.1552	2.1564	2.1576	2.1587	2.1599	2.1610	2.1622
8.7	2.1633	2.1645	2.1656	2.1668	2.1679	2.1691	2.1702	2.1713	2.1725	2.1736
8.8	2.1748	2.1759	2.1770	2.1782	2.1793	2.1804	2.1815	2.1827	2.1838	2.1849
8.9	2.1861	2.1872	2.1883	2.1894	2.1905	2.1917	2.1928	2.1939	2.1950	2.1961
9.0	2.1972	2.1983	2.1994	2.2006	2.2017	2.2028	2.2039	2.2050	2.2061	2.2072
9.1	2.2083	2.2094	2.2105	2.2116	2.2127	2.2138	2.2148	2.2159	2.2170	2.2181
9.2	2.2192	2.2203	2.2214	2.2225	2.2235	2.2246	2.2257	2.2268	2.2279	2.2289
9.3	2.2300	2.2311	2.2322	2.2332	2.2343	2.2354	2.2364	2.2375	2.2386	2.2396
9.4	2.2407	2.2418	2.2428	2.2439	2.2450	2.2460	2.2471	2.2481	2.2492	2.2502
9.5	2.2513	2.2523	2.2534	2.2544	2.2555	2.2565	2.2576	2.2586	2.2597	2.2607
9.6	2.2618	2.2628	2.2638	2.2649	2.2659	2.2670	2.2680	2.2690	2.2701	2.2711
9.7	2.2721	2.2732	2.2742	2.2752	2.2762	2.2773	2.2783	2.2793	2.2803	2.2814
9.8	2.2824	2.2834	2.2844	2.2854	2.2865	2.2875	2.2885	2.2895	2.2905	2.2915
9.9	2.2925	2.2935	2.2946	2.2956	2.2966	2.2976	2.2986	2.2996	2.3006	2.3016

- 13701/23 -
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI VA O'RTA
MAXSUS TALIM VAZIRLIGI CHIRCHIQ DAVLAT
PEDAGOGIKA UNIVERSITETI
AXBOROT RESURS MARKAZI

Adabiyotlar

1. Лавренко В.Н. Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов. -М.: Энергоатомиздат, 1996 г
2. Фраунфельдер Г., Э. Хейли. Субатомная физика (пер. с англ.) -М.: Мир, 1999 г
3. Веермидон U.Sh., Махмудова Х.М., Габоуев О.А., Камолов J., Г'Ойлазатова G.N., Toshkova J.A. Fizikadan praktikum, O'prika va kvant fizika. -Toshkent. Mustaqil nashriyot, 2007.
4. Бессонов А.А., Дерюбозов К.А. Физика атома и ядра: виртуальная лаборатория. -Чебоксары, 2018.
5. Xudaybergulov E.N., Bissanova V.T. Ushshu fizika (Yadro fizikasi)dan laboratoriya ishlari. Ushshu qo'llanma. -Navoiy, 2017.
6. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Т.1-2. -Москва, Энергоатомиздат, 1993.
7. Бекжонов Р.Б. Атом ядроси ва заррарлар физикаси. -Тошкент, Ўқитувчи, 1995.
8. Тешабоев С.Ш. Ядро ва элементар заррарлар физикаси. -Тошкент, Ўқитувчи, 1992.
9. Мўминов Т.М., Хушмуродов Ш.Х., Холикулов А.Б. Атом ядроси ва элементар заррарлар физикаси маъруза курси. -Самарканд, 2001.
10. Бекжонов Р.Б. Элементар ядро физикаси. -Тошкент, Ўқитувчи, 1982.
11. Сивухин Д.В. Общий курс физики. -Москва, Наука, 1989.
12. Наумов А.И. Физика атомного ядра и элементарных частиц. -Москва, Просвещение, 1984.
13. Альфа, бета и гамма-спектрокопия. Под редакцией К.Энбана. Вып. 1,2,3,4. Перевод с англ. -Москва, Атомиздат, 1969.
14. Петрик Т.Б. и др. Лабораторный практикум по физике. Т.2. УПН-УГТУ. -Екатеринбург-2009.
15. Ахсенберг И., Гравнер В. Модели ядер коллективные и одночастичные явления. Перевод с англ. канд. ф.-м. наук С.П.Камерджанова и Б.А.Тулупова. -Москва, 1975.
16. Shproskiy E.V. Atom fizikasi. I tom, -Toshkent, O'qituvchi, 1970.
17. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Ч.1. -Москва, Наука, 1986.
18. Teshaboev Q.T. Yadro va elementar zarralar fizikasi. -Toshkent, O'qituvchi, 1992.
19. Bekjonov R., Axmadjonov B. Atom fizikasi. -Toshkent, O'qituvchi, 1979.
20. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. -М.: КиоРус, 2012. -Т.3. -368 с.
21. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. -М.: ФИЗМАТЛИТ, МФТИ, 2006. -Т.5. -784 с.
22. Трофимова Т.И. Курс физики. -20-е изд., стер. -М.: Академия, 2014. -560 с.
23. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. -9-е изд., стер. -М.: Академия, 2014. -720 с.
24. www.pedagog.uz
- www.zivonet.uz
- www.teachmen.ru
- www.edu.uz

**E. N. XUDAYBERDIYEV, K.R.NASRIDDINOV,
L. Q. SAMANDAROV**

**UMUMIY FIZIKA (ATOM, YADRO VA
ELEMENTAR ZARRALAR
FIZIKASIDAN LABORATORIYA
ISHLARI**

Muharrir: X. Tahirov
Texnik muharrir: S. Meliquziyeva
Musahhib: M. Yunusova
Sahifalovchi: A. Muhammad

Nashr. lits № 2244. 25.08.2020.
Bosishga ruxsat etildi 02.08.2022.
Bichimi 60x84 1/16. Ofset qog'ozi. "Times New Roman"
garnituras. Hisob-nashr tabog'i. 11,25.
Adadi 100 dona. Buyurtma № 62.

«ZEBO PRINT» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent sh., Yashnobod tumani, 22-harbiy shaharcha