

Plank doimiysini kompakt o'lchash qurilmasi yordamida aniqlash

Tajriba ob'ektlari

- Elektronlarning kinetik energiyasini yorug'lik chastotasining funksiyasi sifatida o'lchash.
- Plank doimiysi h ni aniqlash

Kirish

Plank doimiysi

$$h \quad \text{or} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

fizikaning fundamental doimiylaridan biri bo'lib, mikrofizikaviy ob'ektlarning, misol uchun elektronlar va fotonlarning, kvant xarakteristikalarini tavsiflashda ishlatiladi. Shuning uchun, Plank doimiysi kop tajribalarda tabiatning kvant xossalari tavsiflashda fundamental doimiy sifatida ishlatiladi.

Bu tajribada Plank doimiysi h fotoelektrik effekt yordamida aniqlanadi.

Asosiy ma'lumotlar

Elektronlar metal sirtidan yorug'lik nurlari yordamida urib chiqarilishi mumkin (fotoelektrik effekt). "Fotoelektronlarning" soni yorug'lik intensivligidan bog'liq bo'ladi. Ammo, urib chiqarilgan elektronlarning energiyasi faqat yorug'lik chastotasidan bog'liq bo'ladi. Bu tajribalarning natijalari 1905 yilda Eyinshteyn tomonidan tushuntirib berildi. Bunda U yorug'lik "fotonlar" deb ataluvchi zarrachalarning oqimidan tashkil topgan deb faraz qildi, va har bir fotoelektron energiyasi chastotaga proporsional bo'lgan individual foton tomonidan urib chiqariladi deb faraz qildi, ya'ni foton energiyasi:

$$E = h \cdot \nu \quad (I)$$

"Eyinshteyn munosabati" bu jarayon uchun energiyaning saqlanish qonunini ifodalaydi. Har bir urib chiqarilgan elektron fotonning $h \cdot \nu$ energiyasini oladi. Chiqish ishi W dan ortiqcha energiya elektron tomonidan kinetik energiya E_{kin} sifatida olinadi:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = h \cdot \nu - W \quad (II)$$

Elektronning chiqish ishi material turidan bog'liq bo'ladi.

Plank doimiysi h fotoyacheykani monoxromatik yorug'lik (ya'ni, maxsus to'lqin uzunlikka ega bo'lgan yorug'lik) bilan ekspozitsiyalash yo'li bilan aniqlanishi mumkin va urib chiqarilgan elektronlarning kinetik energiyasi o'lchanishi mumkin. Rasm 1. da bunday tajribaning sxematik tasviri keltirilgan. Yorug'lik halqa shaklidagi anod orqali (platina sim) kaliy sirtiga tushadi. Fotoelektronlar anodgacha yetib boradi, va fototok I shaklida o'lchanadi.

Agar fotoelektronlar asta-sekin orttirilib boriladigan manfiy potentsial bilan qaytarilsa fototok mos ravishda kamayib boradi. Fototok qiymati nolga teng bo'lgandagi bu kuchlaishning qiymati U_0 ga

chegaraviy kuchlanish deyiladi. Bu kuchlanishda hatto eng kuchsiz bog'langan elektronlar, ya'ni, eng kuchsiz chiqish ishiga ega bo'lgan va shuning uchun eng katta kinetik energiyaga E_{kin} ega bo'lgan elektronlar ham anod kuchlanishini yenga olmaydi.

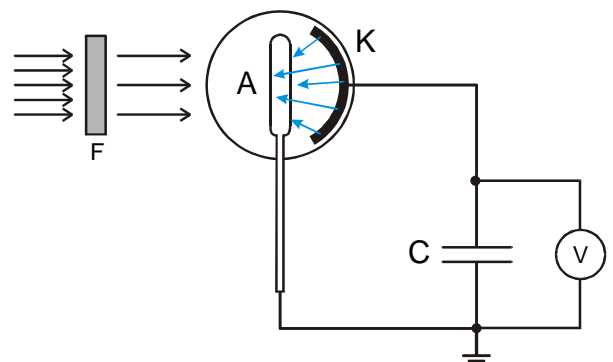
Bu tajribada anod kuchlanishi tushuvchi elektronlar bilan U_0 chegaraviy kuchlanishgacha zaryadlanadigan kondensatordan foydalanib hosil qilinadi. Chegaraviy kuchlanish U_0 bu kuchsiz bog'langan elektronlarning kinetik energiyasini hisoblashda foydalanilishi mumkin:

$$e \cdot U_0 = h \cdot \nu - W \quad (III)$$

e : elementar zaryad

W : chiqish ishi (qo'shimcha ma'lumotlarga qarang)

Agar tushuvchi yorug'likning chastotasi $\Delta \nu$ ga ortsa elektronning energiyasi $h \cdot \Delta \nu$ ga ortadi.



Rasm 1. Fotoelektrik effekt yordamida Plank doimiysini o'lchash uchun qurilmaning sxematik ko'rinishi. To'lqin uzunligi bo'yicha filtr F yordamida hosil qilingan monoxromatik yorug'lik nuri fotoyacheykani K katodiga tushadi. Fotoelektronlar anodga tomon harakatlanadi va C kondensatorni chegaraviy kuchlanish U_0 gacha zaryadlaydi.

Chegaraviy kuchlanish fototokni kompensatsiyalash uchun ΔU_0 ga o'rtirilishi lozim. Bu holat uchun quyidagi tenglama qo'llaniladi:

$$e \cdot \Delta U_0 = h \cdot \Delta \nu \quad (IV)$$

ya'ni energiya $h \cdot \Delta \nu$ ga ortishi bilan $e U_0$ energiya yo'qotilishi bilan kompensatsiyalanadi.

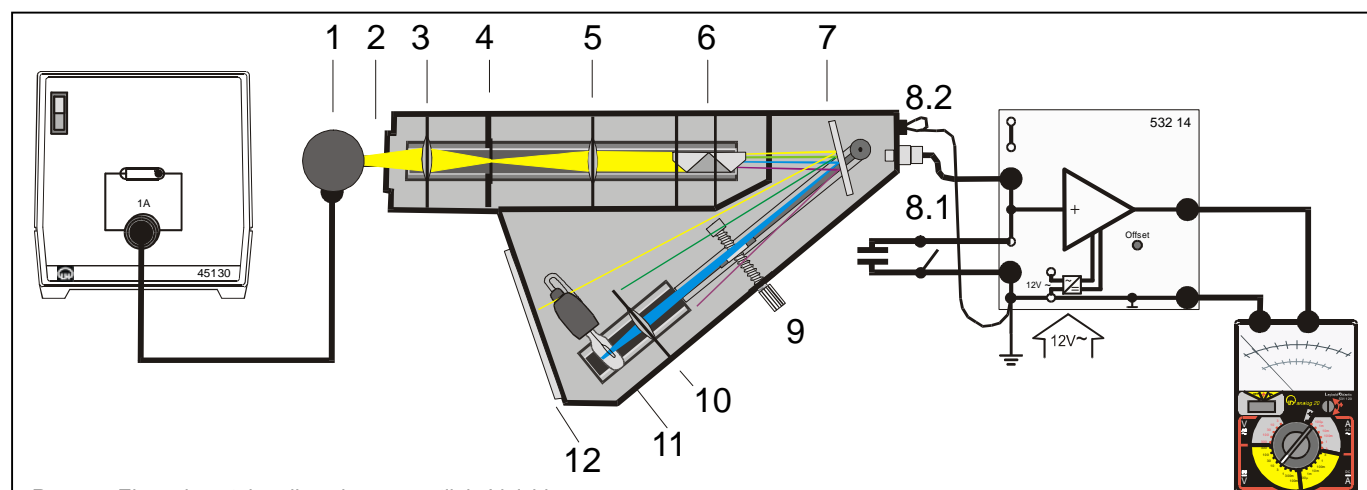
Agar chegaraviy kuchlanish U_0 chastota ν limited voltage U_0 is plotted as function of ν ning funksiyasi sifatida chizilsa (IV) tenglama qiyaligi quyidagiga teng bo'lgan tog'ri chiziqni beradi:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} = \frac{h}{e} \quad (V)$$

Qiyamati ma'lum bo'lgan elementar zaryad uchun Plank doimiysi h $U_0(\nu)$ grafikning qiyaligidan aniqlanishi mumkin.

Asboblarni ro'yxati

1 h ni aniqlash uchun fotoyacheyka.....	558 77
1 h uchun kompakt qurilma	558 79
1 Yuqori bosimli simob lampa.....	451 15
1 Universal drossel.....	451 30
1 Elektrometr kuchaytirgich.....	532 14
1 O'zgartiriluvchi energiya manbai 12 V AC	562 791
1 Kondensator 100 pF, 630 V	578 22
1 Kalit qo'shgich (NO), bir qutbli.....	579 10
2 Qisqichli vilka	590 011
1 Multimeter LD-analog 20.....	531 120
1 Ekranli kabel BNC/4 mm	575 24
1 Taqsimlash karobkasi.....	502 04
1 Juft kabellar, 50 cm, qizil/ko'k.....	501 45
1 Juft kabellar, 100 cm, qora	501 461
1 Ulash simlari Lead, 25 cm, qora.....	500 414
1 Ulash simlari, 100 cm, sariq/yashil	500 440



Rasm 2: Eksperimental qurilmaning sxematik ko'rinishi.

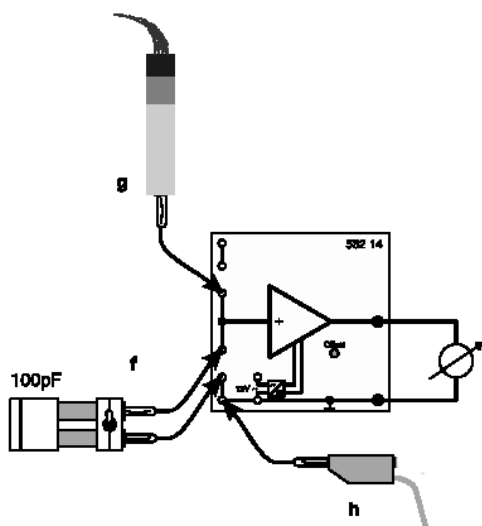
- | | |
|--|------------------------------|
| (1) yuqori bosimli simob lampasi | (2) surg'ich |
| (3) yig'uvchi linza | (4) tirqish |
| (5) tasvirlovchi linza | (6) to'g'ri ko'rish prizmasi |
| (7) oyna | |
| (8.1) BNC/4 mm ekranlangan kabel uchun vilka (katod) | (9) burovchi ruchka |
| (8.2) 4 mm vilkalar (halqa anod) | (11) fotoyacheyka |
| (10) tirqishli diafragma bilan yig'uvchi linza | |
| (12) oyna va pasaytiruvchi surg'ich | |

Qurilmaning elektr tuzilishi

Fotoyacheykaning metal halqali anodiga tushuvchi fotoelektronlar kondensatorni zaryadlaydi, va unda chegaraviy kuchlanish U_0 ni hosil qiladi. Fotoelektronlarning kinetik energiyani aniqlash uchun shu kuchlanishni o'lchash lozim. Elektrometr kuchaytirgich kondensatordagi kuchlanishni o'lchash uchun foydalaniladi.

Rasm 2. va Rasm 3. da ko'rsatilgan elektrometr kuchaytirgich zanjirini tuzing:

- Qisqichli vilka (f), 100 pF kondensator va kalitni ulang (Rasm 3)
- Ekranli kabel BNC/4 mm ni BNC pozetkaga (Rasm 2. da 8.1.) va elektrometr kuchaytirgichga (g) ulang; Ekranli kabel BNC/4 mm ning "yer" simini elektrometr kuchaytirgich "yer" iga ulang (Rasm 3. h)
- 4 mm rozetkalarining har ikkalasini (Rasm 2. da 8.2–kabel halqasi) 25 sm li kabel bilan ulang. 4 mm li rozetkani 100 sm li kabel bilan elektrometr kuchaytirgichning "yer" kontaktiga ulang (Rasm 3. h)
- Multimetрни 50 sm li kabel bilan elektrometr kuchaytirgichning chiqishiga ulang (Rasm 2.)
- Elektrometr kuchaytirgichning "yer"ini taqsimlovchi karobkaning "yer" kontakti bilan sariq/yashil kabel yordamida ulang.



Rasm 3: Chegaraviy kuchlanish U_0 ni o'lchash uchun elektrometr kuchaytirgich zanjiri

Qurilmani optik to'g'rilash

Rasm 2. ga mos tayyorlash: chiqarish oynasining pleksiglass platasining ichki qismini (12) oq qog'oz bilan yoping. (6) to'g'ri korish prizmasini va (10) tirqishli diafragma bilan linzani nur yo'lidan olib qo'ying. "elektr ulashlarni o'rnatish" tavsiflangan elektr ulashlarni bajaring (Rasm 3. ga qarang). Yuqori bosimli simob lampasini (1) kompakt qurilma asosidan dan taxminan 5 mm masofada o'rnatang.

-Yuqori bosimli simob lampasining (1) tasvirini linza (3) bilan tirqish (4) ustida hosil qiling. Lampani va linzalarni to'g'rilang (tirqish tutgichning o'rtasida).

- Tirqishning tasvirini chiqarish oynasining ustida tasvirini (5) linzani to'g'rilash bilan, agar lozim bo'lsa (7) oynani to'g'rilash bilan hosil qiling.

-To'g'ri ko'rish prizmasi (6) ni shunday kiritingki, yuqori bosimli simob lampasining har ikkala, binafsha chizig'i va sariq chizig'i chiqarish oynasiga to'g'ri tushsin.

-Fotoyacheykani rozetkaga burab kiriting; tirqishli diafragma birlashtirilgan linzani nurning yo'lga shunday joylashtiringki spektral chiziq tasviri fotokatod ustida hosil bo'lsin.

- Agar lozim bo'lsa ikkinchi qadamni takrorlang.

Izoh: Optik sirtlarni toza saqlang. Chang va barmoq izlarining natijasida parasit nurlar hosil bo'lib, ular past chastotalarda nihoyatda katta chegaraviy kuchlanishga (U_0 ga) olib keladi.

Tajribalarni o'tkazish

Izoh:

Kondensatorning kuchlanishiga turli induksion effektlar ta'sir qilishi mumkin. Bu qismni tajriba davomida imkon boricha kamroq siljiting Fotoyacheykaning kirlanishi anod va katod o'rtasida tok qochishiga olib kelishi va chegaraviy kuchlanish U_0 ni o'lchashga ta'sir etishi mumkin. Fotoyacheykani spirt bilan tozalang. Qo'shimcha ma'lumotlar uchun fotoyacheykaning 55877 ko'rsatmalar kitobiga qarang

- Xonani qisman qoronfilashtiring. (10)linza tirqishli diafragmasining tasviri chiqarish oynasida ko'rinadi.
- Multimetрни qo'shing va 3 V DC diapazonga ornating.
- Sariq nur uchun chegaraviy kuchlanish U_0 ni aniqlang: buni bajarish uchun (9) ip yordamida buraluvchi ruchkani sariq chiziq chiqarish oynasidan ko'rinadigan qilib to'g'rilang.
- Agar siz tajribani qorong'ilashtirilmagan xonada o'tkzangiz (12) chiqarish oynasini qorong'ilashtiruvchi surg'ich bilan yoping.
- Kondensatorni kalitini pastga bosib, multimetr nolni ko'rsatguncha razryadlang
- Tajribani qo'shish kalitini ulash bilan boshlang; kondensator chegaraviy kuchlanish U_0 gacha zaryadlanguncha taxminan 30 s dan to 1 min gacha kuting.

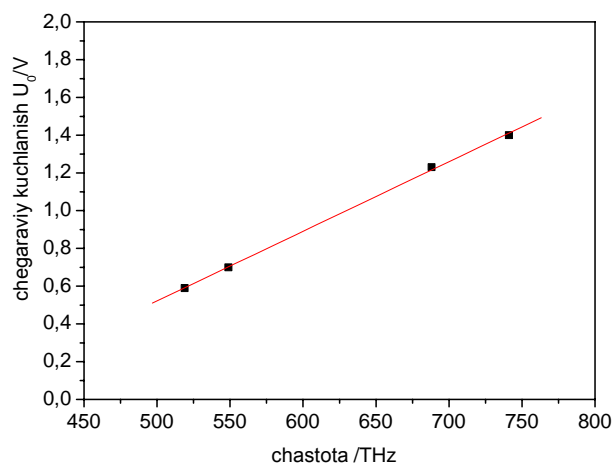
- U_0 uchun o'lchangan qiymatlarni yozib oling.

- Bu ishlarni yashil, ko'k va binafsha spektral chiziqlar uchun takrorlang.

O'lchash misollari

Jadval 1: O'lchangan chegaraviy kuchlanish U_0 to'liqin uzunligi λ va chastota ν ning funksiyasi sifatida

rang	$\frac{\lambda}{\text{nm}}$	$\frac{\nu}{\text{THz}}$	$\frac{U_0}{\text{V}}$
sariq	578	519	0.59
yashil	546	549	0.70
ko'k	436	688	1.23
binafsha	405	741	1.40



Rasm 4: Chegaraviy kuchlanish U_0 chastota ν ning funksiyasi sifatida (Jadval 1 ga qarang).

Izoh: Yuqori bosimli simob lampasining turli chiziqlarining chastotasi prizmadan foydalanib, yoki P5.7.1.1 va P5.7.2.1. tajribalarda tavsiflangan panjarali spektrometr yordamida aniqlanishi mumkin

Hisoblashlar va natijalar

Rasm 4. da chegaraviy kuchlanish U_0 ning yuqori bosimli simob spektral chiziqlarining chastotasi ν dan bog'liqlik grafigi tasvirlangan. O'lchash natijasida aniqlangan nuqtalar bir to'g'ri chiziqda yotadi. To'g'ri chiziqning qiyaligini aniqlash natijasida quyidagini aniqlash mumkin:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} = 0.38 \cdot 10^{-14} \text{ Vs}$$

Elementar zaryad bilan

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

bunda Plank doimiysi uchun:

$$h = 6.1 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Adabiyotlardagi qiymatlar: $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Ajralib chiqqan fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan nurning chastotasidan bog'liq bo'ladi. Plank doimiysini chegaraviy kuchlanishning U_0 qiymatini turli chastotalar uchun o'lchash natijasida aniqlash mumkin.

Qo'shimcha ma'lumotlar

- Chiqish ishi material turidan bog'liq. Katod sifatida kaliydan foydalanish, elektronlari kuchsiz bog'langanligi va chiqish ishi ishqoriy metallarda boshqa metallarga nisbatan kichik bo'lganligi sababli tanlab olingan.
- Fotoelektrik effektini o'z ichiga oladigan jarayonni chuqurroq

tushunish uchun, metallarda elektronlarning energetik taqsimotini o'rganib chiqish lozim bo'ladi. Elektronlarning kinetik energiyasi eU_0 ning nurlantiruvchi yorug'lik chastotasidan bog'liqlik grafigidan (II) tenglama bilan mos holda, ordinata bilan kesishishidan chiqish ishini aniqlash mumkin.

Ammo bu, birinchi qarashda tuyulganidek, katodning chiqish ishi emas. Prinsip jihatdan katodning chiqish ishini o'lchash imkoni yo'q:

Katoddagi elektronlar E_F Fermi sathiga nisbatan olinganda chuqurligi W_C bo'lgan potentsial chuqurlikda joylashadi. Xuddi shu yo'l bilan olinganda, anoddagi elektronlar ham chuqurligi W_A bo'lgan potentsial chuqurlikda joylashadi.

Anod va katod o'rtasida elektr o'tkazuvchan bog'lanish amalga oshirilganda, ularning materiallarining Fermi sathlari bir xil balandlikka erishguncha to'g'rilanadi (Rasm 5).

Agar anod va katod o'rtasiga U kuchlanish qo'yilsa, Fermi sathlari bir - biriga nisbatan eU energiyaga siljiydi. Bu holda katoddagi elektronlar potentsial to'siqning eng yuqori nuqtasini yengib o'tishlari lozim bo'lib u quyidagi ifodadan topiladi:

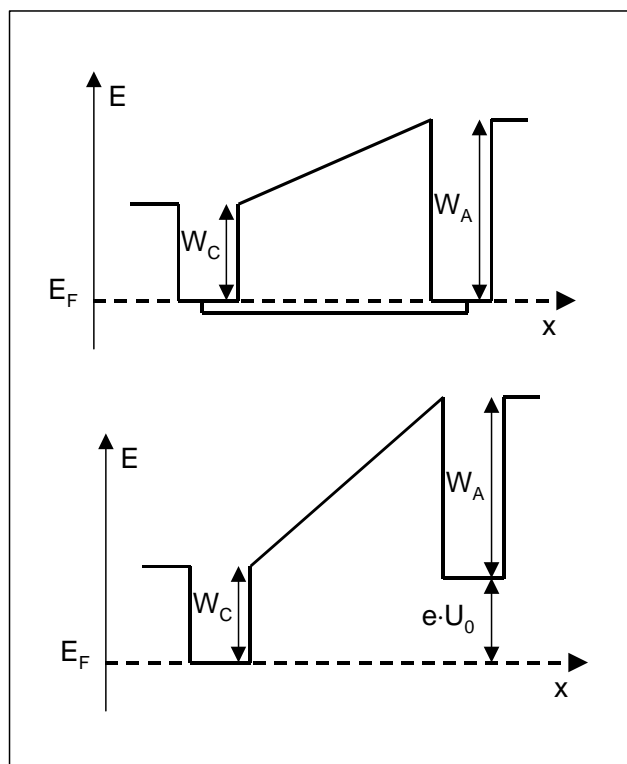
$$W_A + e \cdot U_0 \quad (VI)$$

Potentsial to'siqni yengish uchun zarur bo'ladigan energiya foton tomonidan ta'minlanadi. Anod toki nol bo'ladi, qachonki quyidagi munosabat o'rinli bo'lsa

$$h \cdot \nu = W_A + e \cdot U_0 \quad (VII)$$

Ammo, anodning chiqish ishi W_A kristalning oriyentatsiyasidan va gaz atomlarining sirt akkumulyatsiyasidan bog'liq bo'lganligi uchun osonlikcha aniqlanib bo'lmaydi.

- Tarixan, yorug'likning (II) tenglama yordamida taklif etilgan kvant xarakteri to undan bog'liq bo'lmagan holda Kompton tajribalarida tasdiqlanmaguncha turli mulohazalar ostida bo'lib turgan edi. Ammo, fotoelektrik effektga qarama-qarshi ravishda, Kompton effektida fotonlar energiyasining faqat bir qismigina elektronlarga o'tadi. (fotonlarning kuchsiz bog'langan elektronlarda sochilishi, P6.3.7.2 yoki P6.5.6.1 tajribalarga qarang). Fotoelektrik jarayonlarda esa fotonning energiyasi to'lig'icha yutiladi.



Rasm 5: Turli chiqish ishiga ega bo'lgan ikki metal (katod va anod) uchun energetik diagramma.