

УПРАЖНЕНИЕ 2. ФОТОЕФЕКТ: ОПРЕДЕЛЯНЕ КОНСТАНТАТА НА ПЛАНК

Цел на упражнението е експерименталното определяне на една от фундаменталните константи във физиката на микросвета – константата на Планк.

Теоретични бележки

Идеята за кванта електромагнитно излъчване е въведена през 1900 г. от Планк във връзка с обяснение на топлинното излъчване (вж. напр. [1-4]). Планк постулира, че атомните осцилатори излъчват енергия

$$E = n \epsilon_0 \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

а минималната порция енергия е пропорционална на честотата

$$(II.4) \quad \epsilon_0 = h\nu.$$

Константата на пропорционалност, известна като *константа на Планк*, се появява във всички изрази, описващи законите на микросвета. Големината на тази универсална константа е J.s. Често се използва и редуцираната константа на Планк \hbar .

Фотоефектът представлява избиване на електрони от веществото под действие на електромагнитно излъчване като светлина (от видимата или УВ област), рентгенови лъчи или γ -лъчи. При *външния фотоефект* фотоелектроните се избиват от зоната на проводимост, т. е. от почти свободни електрони, докато при *вътрешния фотоефект* това са електрони от дълбоко разположените атомни слоеве, при което получената ваканция незабавно се запълва с електрони от по-горните слоеве и се излъчват

характеристични рентгенови лъчи (вж. Упражнение 10).

Външният фотоефект може да се изследва с фотоклетка Р, която представлява вакуумен прибор с два електрода – анод и катод (фиг. II.3). Светлина с точно определена честота, получена от монохроматора М, влиза през прозрачната стена на фотоклетката и пада върху катода, от който избива електрони. Приложеното напрежение между него и анода насочва електроните към анода (колектора) и във външната верига протича ток I_{ϕ} (фототок). Основните закономерности при фотоефекта са следните.

1. Съществува гранична честота на светлината (ν_0 или λ_0), под която за дадения материал на катода не може да се наблюдава фотоефект, независимо от интензитета на светлинния поток.
2. Фотоелектроните напускат катода с енергии от 0 до eU_0 , където U_0 е спиращият потенциал, при който фототокът става 0. Максималната енергия зависи линейно от честотата и не зависи от плътността на светлинния поток.
3. При фиксирана честота броят на фотоелектроните за единица време е пропорционален на интензитета на светлината.
4. Фотоелектроните се появяват около 10^{-9} s след облъчването със светлина, т. е. практически мигновено.

Обяснението на тези закономерности дава през 1905 г. Айнщайн, който разглежда светлината като корпускули с енергия $E = h\nu$, наречени от него *фотони*. Фотоните предават енергията си на електрон от веществото, чиято кинетична енергия е

(5)

Тук A е отделителната работа на електрона. Този израз всъщност представлява законът за запазване на енергията. Граничната честота (или дължина на вълната) зависи от отделителната работа на метала, от който е направен катодът на фотоклетката:

Ако в този израз заместим A с една типична стойност 2 eV , за се получава $\sim 600 \text{ nm}$, което е в червената област на видимия спектър, затова се нарича *червена граница на фотоэффекта*

Опитна постановка

Опитна проверка на закона на Айнщайн за фотоэффекта и определяне константата на Планк може да бъде направена с показаната на фиг. II.3 постановка. Светлина с точно определена честота се получава от *монохроматор*. Тя влиза през прозорчето на фотоклетката и се измерва волт-амперната характеристика I_{ϕ} зависимостта на фототока I_{ϕ} от спиращото напрежение. Типична зависимост е показана на фиг. II.4. Вижда се, че веднага след подаване на отрицателно напрежение фототокът започва плавно да спада. Ако всички електрони имаха една и съща енергия, при определена стойност на спиращото напрежение фототокът би станал равен на нула рязко и без преход. Зависимостта на това максимално спиращо напрежение от честотата следва от уравнение (II.5):

(II.6)

Електроните обаче излизат от различни дълбочини в материала на катода и под различни ъгли, така че техните загуби на енергия са различни. Освен това обикновено двата електрода на фотоклетката са направени от различни метали и между тях се появява контактна потенциална разлика, чиято стойност зависи и от дебелината на окисния слой върху повърхността на металите. Големината на максималния спиращ потенциал не може да се определи много точно, защото фототокът не спира рязко при

даден потенциал, а особено при по-високи честоти и по-слаб интензитет на линиите намалява много бавно. В такъв случай трябва да се вземе подходящо подобрена екстраполирана стойност.

Изпълнение на упражнението

Ако се работи със светлина с непрекъснат спектър, най-напред трябва да се построи *дисперсионната крива на монохроматора*

, която представлява зависимостта на дължината на вълната от скалните деления на барабана

N , въртящ стъклените призми, . Тази крива се построява с помощта на източник на светлина с линеен спектър с известни дължини на вълните на линиите, напр. живачна лампа.

Измерването на дисперсионната крива може да се избегне, ако се работи със светлина с линеен спектър, напр. също от живачна лампа. В този случай обаче, броят на точките, с които се проверява уравнението на Айнщайн (II.6), е силно ограничен. Практически функцията се построява само върху четири точки, получени чрез зависимостта на фототока от спиращото напрежение за четирите най-ярки във видимата област линии: жълта, жълто-зелена, синя и виолетова (червената линия в спектъра на живака е с честота под граничната за фотоефект). Ако се работи с лампа с нагряване (непрекъснат спектър), чрез барабана на монохроматора и входния му процеп се подбира монохроматична светлина с малко отклонение около средната стойност λ_0 . Последната се определя от дължината на вълната, получена опитно чрез дисперсионната крива. За получаване коефициентите на правата (II.6) с по-голяма точност се определят спиращите напрежения за 10-15 честоти. Проверката на уравнението на Айнщайн за фотоефекта става, като на графика се нанасят стойностите на ν в зависимост от честотата ν на светлината ν фиг. II.5. Тъй като се очаква линейна зависимост, ъгловият наклон и пресечната точка на правата с абсцисната ос се определят по метода на

линейната регресия

. Ако някоя точка лежи много далеч от правата, очевидно определянето на ν не е коректно и измерванията за тази честота трябва да се повторят. Ъгловият наклон на правата дава отношението

h
/
 e
, така че стойността на константата на Планк се получава от него с умножение по e

. Работата за извличане на електрон от метала

A

се определя от пресечната точка на правата с ординатната ос, а пресечната точка с абсцисната ос дава . От известната стойност на

h

се оценява относителната неопределеност