

Fotoelektriska effekten

19 okt. 2026, 5 min läsning

UTKAST

#fysik #kvantfysik #fenomen

Kurs: F0005T Förkunskaper: Fotonen

Ljus som faller på en metallyta frigör elektroner, men bara om frekvensen överstiger en tröskelfrekvens som beror på materialet. Under tröskeln händer ingenting hur intensivt ljuset än är, och över den uppstår ingen tidsfördröjning hur svagt det än är — vågmodellen förutsäger motsatsen i båda fallen. Einstein förklarade effekten år 1905 genom att låta en enda foton absorberas av en enda elektron: allt eller inget, utan den kontinuerliga energiöverföring vågteorin kräver. Fotonens energi hf går åt till utträdesarbetet ϕ , och resten blir elektronens kinetiska energi.

Photoelectric effect:

$$K_{\max} = eV_0 = hf - \phi \quad (\text{formel 38.4 i bok})$$

Fysika: Fd3 (fotoelektriska effekten, med Φ för utträdesarbetet)

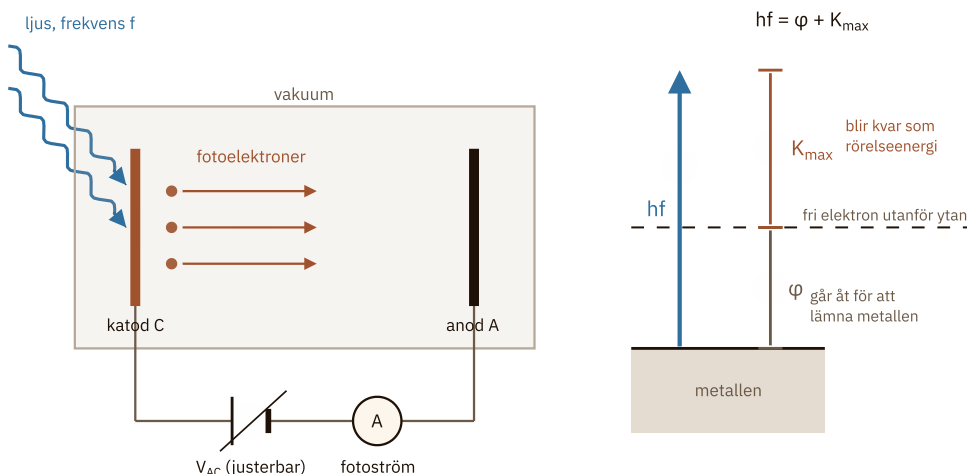
Formeln, symbol för symbol

$$\underbrace{K_{\max}}_{\text{snabbaste elektronens rörelseenergi}} = \underbrace{e}_{\text{elementar-laddningen}} \underbrace{V_0}_{\text{broms-potentialen}}$$
$$\underbrace{K_{\max}}_{\text{det som blir över}} = \underbrace{hf}_{\text{fotonens energi}} - \underbrace{\phi}_{\text{kostnaden för att lämna metallen}}$$

Den övre raden är vad man **mäter**, den undre vad som **händer**: en foton ger hela sin energi till en elektron, en del går åt för att ta sig ut, och resten syns som bromspotential.

1. Experimentet och bromspotentialen

Två elektroder sitter i ett vakuumrör. Katoden belyses med monokromatiskt ljus, och de utslagna **fotoelektronerna** kan ta sig över till anoden och ge en ström i i den yttre kretsen. Vänder vi fältet så att anoden repellerar elektronerna, och ökar det tills strömmen precis upphör, har vi hittat **bromspotentialen** V_0 .



Vänster: fotoröret. Ljuset slår ut elektroner ur katoden, och amperemetern mäter strömmen till anoden medan spänningen V_{AC} justeras. Höger: samma sak i energi – fotonens hf räcker först till utträdesarbetet ϕ , och resten blir K_{max} .

Den snabbaste elektronen lämnar katoden med K_{max} och når nätt och jämnt anoden med $K = 0$. Fältet uträttar arbetet $-eV_0$ på den, så arbets-energisatsen ger

$$W = \Delta K$$

$$-eV_0 = 0 - K_{max}$$

$$K_{max} = eV_0$$

Genom att mäta en spänning mäter vi alltså den största kinetiska energin.

2. Vad vågmodellen förutsäger – och vad som händer

	Vågmodellen förutsäger	Experimentet visar
Frekvens	Effekten bör finnas för alla frekvenser, bara ljuset är starkt nog	Under en gränshänsfrekvens f_0 blir det ingen ström alls, hur stark intensiteten än är

	Vågmodellen förutsäger	Experimentet visar
Fördröjning	Svagt ljus behöver tid för att samla ihop utträdesarbetet	Ingen mätbar fördröjning, hur svagt ljuset än är
Bromspotential	V_0 bör öka med intensiteten	V_0 beror bara på frekvensen; intensiteten ändrar bara strömmen

3. Einsteins förklaring

Ljuset består av **fotoner** med energin hf , och *en* foton absorberas av *en* elektron. Elektronen måste betala utträdesarbetet ϕ för att lämna ytan, och resten blir kinetisk energi. Energins bevarande ger

$$hf = \phi + K_{\max}$$

vilket är formeln i rutan överst. Den förklarar alla tre observationerna:

- **Gränshfrekvens.** Elektronen kommer loss bara om $hf \geq \phi$. Gränsen ligger där $K_{\max} = 0$:

$$\boxed{f_0 = \frac{\phi}{h}} \quad \lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{hc}{\phi}$$

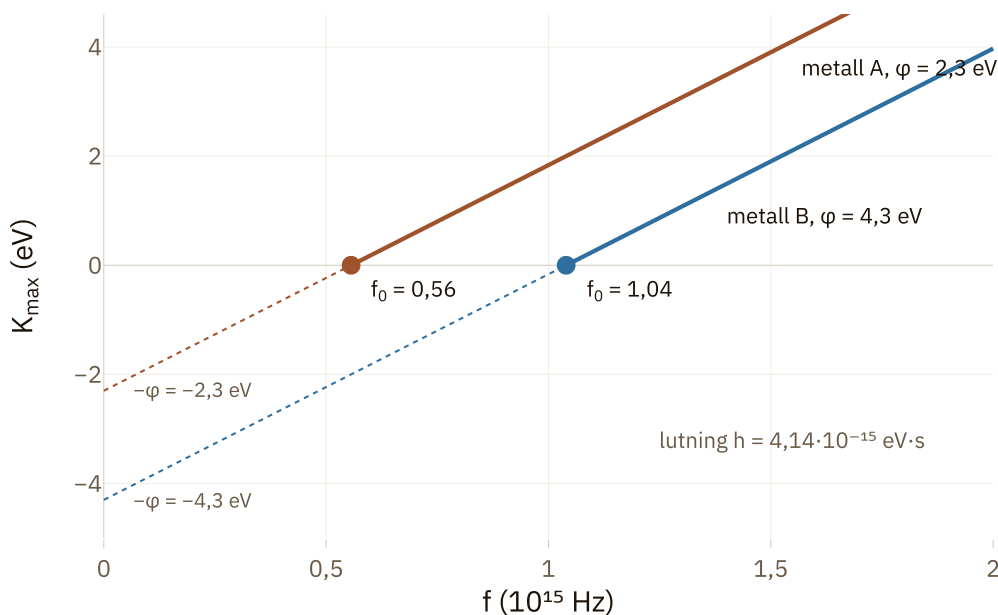
- **Ingen fördröjning.** Energin kommer i ett enda paket, så elektronen kan lämna ytan så fort första fotonen träffar.
- **Intensiteten.** Starkare ljus betyder fler fotoner per sekund, alltså fler elektroner och större ström — men varje foton har fortfarande energin hf , så $K_{\max}$ och V_0 ändras inte.

4. Att mäta h och ϕ

Löser vi ut bromspotentialen ur $eV_0 = hf - \phi$ får vi en rät linje i f :

$$V_0 = \frac{h}{e}f - \frac{\phi}{e}$$

Mäter vi V_0 för några olika frekvenser ger **lutningen** h/e och **skärningen** med V_0 -axeln $-\phi/e$. Alla metaller ger parallella linjer — lutningen är naturkonstanten h — men de är förskjutna i sidled efter sitt utträdesarbete.



$K_{\max}$ mot frekvensen för två metaller. Linjerna är parallella med lutningen h , och gränshfrekvensen $f_0 = \phi/h$ ligger där de skär frekvensaxeln. Strekat: under f_0 kommer inga elektroner ut alls.

⚠ Vanliga fel

- **eV och J blandas.** ϕ och K anges oftast i eV. Räkna med $h = 4,136 \cdot 10^{-15}$ eV·s eller $hc \approx 1240$ eV·nm, eller omvandla med $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ – men inte hälften av varje.
- **Gränshfrekvens och utträdesarbete förväxlas.** ϕ är en energi, $f_0 = \phi/h$ en frekvens och $\lambda_0 = hc/\phi$ den längsta våglängd som fungerar.
- **Intensiteten påverkar $K_{\max}$.** Den gör det inte; den ändrar bara antalet elektroner och därmed strömmen.
- **$K_{\max}$ används för alla elektroner.** Formeln ger den största kinetiska energin. Elektroner längre in i metallen förlorar energi på vägen ut och kommer ut långsammare.

5. Lösta exempel

☰ Exempel – Silver i ultraviolett ljus

Ljus med våglängden 250 nm faller på en silveryta med utträdesarbetet 4,30 eV. Bestäm bromspotentialen och fotoelektronernas största fart.

 Lösning

Fotonenergin. Med $hc = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$:

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{250 \text{ nm}} = 4,96 \text{ eV}$$

Största kinetiska energin.

$$K_{\max} = hf - \phi = 4,96 - 4,30 = 0,66 \text{ eV}$$

Bromspotentialen. $eV_0 = K_{\max}$ ger $V_0 = \boxed{0,66 \text{ V}}$.

Största farten. $K_{\max} = 0,66 \text{ eV} = 0,66 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,06 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, så

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2K_{\max}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,06 \cdot 10^{-19}}{9,109 \cdot 10^{-31}}} \approx \boxed{4,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}}$$

Farten är under 0,2 % av ljushastigheten, så den klassiska formeln för kinetisk energi räcker.

Ej kontrollerat mot facit – två oberoende lösningar stämmer överens.

 Exempel – Plancks konstant ur två mätningar

En okänd metall belyses först med 400 nm och sedan med 250 nm. Bromspotentialen blir 0,80 V respektive 2,66 V. Bestäm Plancks konstant, metallens utträdesarbete och gränsvåglängden.

 Lösning

Frekvenserna. $f = c/\lambda$ ger

$$f_1 = \frac{2,998 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} = 7,50 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \quad f_2 = \frac{2,998 \cdot 10^8}{250 \cdot 10^{-9}} = 1,20 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Lutningen. Linjen $V_0 = (h/e)f - \phi/e$ genom de två punkterna har lutningen

$$\frac{h}{e} = \frac{\Delta V_0}{\Delta f} = \frac{2,66 - 0,80}{1,20 \cdot 10^{15} - 7,50 \cdot 10^{14}} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{s}$$

så

$$h = 4,14 \cdot 10^{-15} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \approx \boxed{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}$$

Uträdesarbetet. Ur första mätningen, i eV:

$$\phi = hf_1 - eV_0 = 4,14 \cdot 10^{-15} \cdot 7,50 \cdot 10^{14} - 0,80 = 3,10 - 0,80 = \boxed{2,30 \text{ eV}}$$

Gränsvåglängden.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{\phi} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{2,30 \text{ eV}} \approx \boxed{539 \text{ nm}}$$

Grönt ljus räcker alltså precis, rött gör det inte.

Ej kontrollerat mot facit — två oberoende lösningar stämmer överens.

Läsning

- 38.1 Light Absorbed as Photons: The Photoelectric Effect