



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Digitální učební materiál

Číslo projektu	CZ.1.07/1.5.00/34.0802
Název projektu	Zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT
Číslo a název šablony klíčové aktivity	III/2 – Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT
Příjemce podpory	Gymnázium, Jevíčko, A. K. Vitáka 452

Název DUMu	Základy kvantové fyziky
Název dokumentu	VY_32_INOVACE_16_20
Pořadí DUMu v sadě	20
Vedoucí skupiny/sady	Mgr. Petr Mikulášek
Datum vytvoření	3. 4. 2013
Jméno autora	Mgr. Alena Luňáčková
e-mailový kontakt na autora	lunackova@gymjev.cz
Ročník studia	4.
Předmět nebo tematická oblast	Fyzika
Výstižný popis způsobu využití materiálu ve výuce	Materiál pro přípravu na profilovou část maturitní zkoušky z fyziky Inovace: mezipředmětové vztahy s matematikou, využití ICT, mediální techniky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ZÁKLADY KVANTOVÉ FYZIKY

Poznávání mikrosvětla, svět molekul a atomů, nitro atomu, složení jádra, vazebná energie a energie reakce, kvantová hypotéza, fotoelektrický jev, foton, vlnové vlastnosti částic, kvantová mechanika.

Mikrosvět je světem atomů, molekul a menších částic, ve kterém je platnost zákonů klasické fyziky omezena. Pochopit a vysvětlit jevy a děje mikrosvětla umožňuje **kvantová fyzika**, která vznikla z kvantové hypotézy **Maxe Plancka**: záření je vydáváno a pohlcováno v kvantech o energii $E = hf$, kde f je frekvence a $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ je Planckova konstanta.

Albert Einstein považoval kvanta záření za částice o hybnosti $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$. Kvanta záření při dopadu na fotokatodu uvolňují elektrony a pomocí kvantové hypotézy vysvětlil **fotoelektrický jev** \Rightarrow **Einsteinova rovnice fotoefektu** (1921 Nobelova cena): $hf = W + E_k$

W ... výstupní práce, $E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$... kinetická energie elektronu.

Materiál fotokatody je charakterizován **mezní frekvencí** $f_0 = \frac{W}{h}$ a **mezní vlnovou délkou**

$\lambda_0 = \frac{hc}{W}$. Fotoefekt mohou vyvolat kvanta splňující podmínky $f \geq f_0, \lambda \leq \lambda_0$.

Proud v obvodu závisí na intenzitě záření.

Částicový (korpuskulární) charakter záření potvrzuje **Comptonový jev**. **Kvanta záření = fotony: částice o nulové klidové hmotnosti pohybující se ve vakuu rychlostí světla.**

Louis de Broglie částici s nenulovou hmotností přiřadil vlnovou délku \Rightarrow de Brogliovy vlny

(hmotnostní vlny) $\Rightarrow \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$.

$p = mv$... hybnost částice

Dualismus vlna – částice – podle druhů experimentů se fotony chovají jako částice (korpuskule), nebo jako elektromagnetické vlnění.

Kvantová mechanika popisuje pohyb částice pomocí vlnové funkce ψ , jejíž absolutní hodnota na druhou udává hustotu pravděpodobnosti výskytu částice v prostoru v daném okamžiku.

Pohybuje-li se částice v dané oblasti prostoru, vedou její vlnové vlastnosti ke kvantování energie.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Příklady:

1. Největší vlnová délka záření, které ještě způsobí fotoemisi u stříbra je $\lambda_0 = 260\text{nm}$. Určete: a) výstupní práci elektronu; b) maximální rychlost elektronů při osvětlení monochromatickým světlem o vlnové délce $\lambda = 150\text{nm}$; c) maximální energii fotoelektronů.

Řešení: a) Pro výstupní práci platí z Einsteinovy rovnice fotoelektrického jevu vztah

$$A = W = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,6 \cdot 10^{-7}} = 7,6 \cdot 10^{-19} \text{ J};$$

b) Z rovnice pro fotoelektrický jev najdeme pro rychlost fotoelektronů

$$v = \sqrt{\frac{2hc - W\lambda}{m_e \lambda}} = 11,1 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1};$$

c) Maximální energie fotoelektronu je kinetická energie elektronu pohybující se s rychlostí určenou v odstavci b, takže

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \cdot 11,1^2 \cdot 10^{10} = 5,61 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,5 \text{ eV}$$

2. Výstupní práce elektronů v platině je $W = 6,323\text{eV}$. Určete nejkratší vlnovou délku záření, které ještě může vyvolat fotoelektrický jev.
($\lambda \doteq 200\text{nm}$)

3. Určete výstupní práci elektronu v mědi, mají-li fotoelektrony při osvětlení povrchu kovu světlem vlnové délky $\lambda = 150\text{nm}$ rychlost $v = 830\text{kms}^{-1}$.
($W = 6,323\text{eV}$)

4. Určete rychlost fotoelektronů vylétajících z povrchu wolframové fotokatody ozářené ultrafialovým světlem vlnové délky $\lambda = 180\text{nm}$, jestliže fotoelektrický jev u wolframu začíná pro vlnovou délku $\lambda_0 = 275\text{nm}$.

$$(v = \sqrt{\frac{2hc - W\lambda}{m_e \lambda}} = 9,1 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1})$$



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

5. Při fotoemisi vystupují z kovu s výstupní prací 3eV elektrony, jež mají energii 3eV. Určete největší vlnovou délku fotonu, který fotoemisi způsobil.

$$(\lambda = 206\text{nm})$$

6. Délka de Broglieovy vlny urychleného elektronu je $1,2 \cdot 10^{-11}\text{m}$. Hmotnost elektronu je $9,1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$, elektrický náboj je $-1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$. a) Jaká je rychlost elektronu? b) Jaké je urychlovací napětí?

$$\left(a) \lambda = \frac{h}{mv} \Rightarrow v = \frac{h}{m\lambda} \doteq 6 \cdot 10^7 \text{ms}^{-1}, b) eU = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow U = \frac{mv^2}{2e} = 10\text{kV} \right)$$

7. Výstupní práce elektronů pro cesium je 1,9eV, Planckova konstanta $6,6 \cdot 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}$. a) Jaká je mezní frekvence záření pro cesium? b) S jakou kinetickou energií vyletují elektrony z povrchu cesiové katody, dopadá-li na ni záření o vlnové délce 500nm? c) Jak velkou rychlostí elektrony z povrchu cesiové katody vyletují?

$$\left(a) h\nu_0 = W \Rightarrow \nu_0 = \frac{W}{h} = 4,61 \cdot 10^{14} \text{Hz}; b) E_k = h\frac{c}{\lambda} - W = 0,575\text{eV}; c) v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ms}^{-1} \right)$$

8. Na sodíkovou katodu dopadá záření o vlnové délce 300nm. Mezní vlnová délka záření u fotoelektrického jevu pro sodík je 536nm. Planckova konstanta je $6,6 \cdot 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}$. a) Jaká je výstupní práce elektronů pro sodík? b) S jakou energií vyletují z povrchu sodíkové katody? c) Jak velkou rychlostí elektrony z povrchu katody vyletují? Hmotnost elektronu je $9,1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$.

$$\left(a) W = h\nu_0 = h\frac{c}{\lambda_0} = 3,696 \cdot 10^{-19} \text{J} = 2,31\text{eV}; b) E_k = h\frac{c}{\lambda} - W = 1,82\text{eV}; c) v = \sqrt{\frac{2\left(h\frac{c}{\lambda} - W\right)}{m_e}} \doteq 8 \cdot 10^5 \text{ms}^{-1} \right)$$

9. Vlnová délka fialového světla je 400nm. Planckova konstanta je , rychlost světla ve vakuu je $3 \cdot 10^8\text{ms}^{-1}$. a) Jaká je frekvence fialového světla ve vakuu? b) Jakou energii má foton fialového světla? c) Jakou hybnost má foton fialového světla?

$$\left(a) \nu = \frac{c}{\lambda} = 7,5 \cdot 10^{14} \text{Hz}; b) E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = 4,95 \cdot 10^{-19} \text{J}; c) \lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda} = 1,65 \cdot 10^{-27} \text{kgms}^{-1} \right)$$



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

10. Určete vlnovou délku záření, jehož foton má stejnou energii, jakou získá elektron při průchodu dvěma body elektrického pole, v nichž je rozdíl potenciálů 770kV.

$$\left(eU = h \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{eU} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ nm} \right)$$



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Seznam použité literatury a pramenů:

- Lepil,O.: Optika. Prometheus, Praha 2003. 205s. ISBN 80-7196-237-6.
- Lepil,O.- Bednařík,M.- Široká,M.: Fyzika. Sbíрка úloh pro střední školy. Prometheus, Olomouc 1995. 269s. ISBN 80-7196-048-9.
- Kružík,M.: Sbíрка úloh z fyziky. Státní pedagogické nakladatelství, n. p., Praha 1984. 335s. ISBN 14-117-84.

Materiál je určen pro bezplatné užívání pro potřebu výuky a vzdělávání na všech typech škol a školských zařízení. Jakékoliv další využití podléhá autorskému zákonu.

Dílo smí být šířeno pod licencí CC BY – SA.