

Fyzika mikrosvětla (SŠ)

Fotoelektrický jev

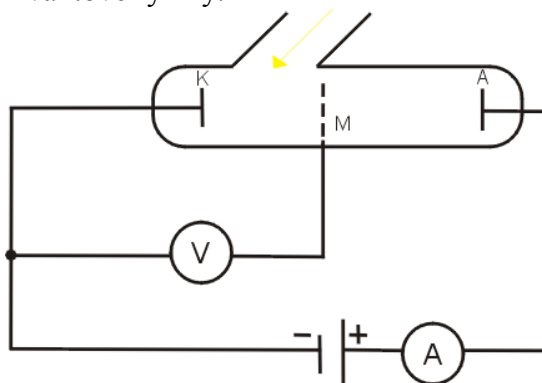
Fyzikální princip

Max Planck vyslovil hypotézu, že záření vydávané a pohlcované jednotlivými atomy zahřátého tělesa nemůže mít libovolnou energii, ale je vždy vydáváno a pohlcováno po malých "kouscích" energie, kvantech. Toto kvantum světla nazýváme foton. Má-li světelná vlna frekvenci f , pak platí:

$$E = h \cdot f, \quad (1)$$

kde E je energie fotonu a h je Planckova konstanta, která má hodnotu $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Ozařujeme-li svazkem světla čistý kovový povrch, pak světlo uvolňuje z tohoto povrchu elektrony, které mohou vytvářet elektrický proud v obvodu. Tento jev se nazývá fotoefekt (fotoelektrický jev) a hraje důležitou roli v rozvoji kvantové fyziky.



Obr. 1: Zařízení pro studium fotoelektrického jevu.

Na obr. 1 je zobrazeno schéma zařízení pro studium fotoelektrického jevu. Světlo o frekvenci f dopadá na katodu (K) a uvolňuje z ní elektrony, které se pohybují směrem k anodě (A) a vytváří fotoelektrický proud I (fotoproud). Na mřížku (M) dodáváme záporné napětí U , které zpomaluje vyražené elektrony. Napětí, při kterém fotoproud klesne na nulu, nazýváme brzdné napětí. Při tomto napětí jsou i elektrony emitované s nejvyšší energií zastaveny. Kinetická energie E_k těchto elektronů s nejvyšší energií je

$$E_k = e \cdot U, \quad (2)$$

kde e je elementární náboj ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

Při experimentech se ukázalo, že pro každý kov existuje určitá mezní (prahová) frekvence f_0 taková, že elektrony se z kovu uvolňují pouze při ní a vyšších frekvencích. Jestliže je frekvence světla menší než mezní frekvence ($f < f_0$), pak fotoelektrický jev nenastává. Při fotoelektrickém jevu předá každé kvantum záření svou energii hf vždy jednomu elektronu. Tato energie se využije jednak na uvolnění elektronu z kovu (vykonání výstupní práce W_v) a také přejde v kinetickou energii elektronu. Einsteinova formulace fotoelektrického zákona tedy zní:

$$h \cdot f = E_k + W_v. \quad (3)$$

Mezní frekvence f_0 (resp. mezní vlnová délka λ_0) záření odpovídá uvolnění elektronu s nulovou kinetickou energií. Pro $E_k = 0$ tedy dostáváme:

$$f_0 = \frac{W_v}{h}, \quad \lambda_0 = \frac{h \cdot c}{W_v}. \quad (4)$$

Přepíšeme-li rovnici (3) dosazením za E_k ze vztahu (2) dostáváme rovnici:

$$U = \frac{h}{e} f - \frac{W_v}{e}. \quad (5)$$

Cíl

1. Seznámit se s vzdáleně ovládaným experimentem *Fotoelektrický jev*.
2. Vytvořit graf závislosti napětí U na frekvenci f .
3. Stanovit mezní frekvenci f_0 a mezní vlnovou délku λ_0 pro daný kov.
4. Vypočítat výstupní práci W_v .
5. Experimentálně ověřit hodnotu Planckovy konstanty h .
6. Stanovit závislost mezi napětím U a propustností filtru T pro různé vlnové délky λ .
7. Vypracovat protokol o měření.

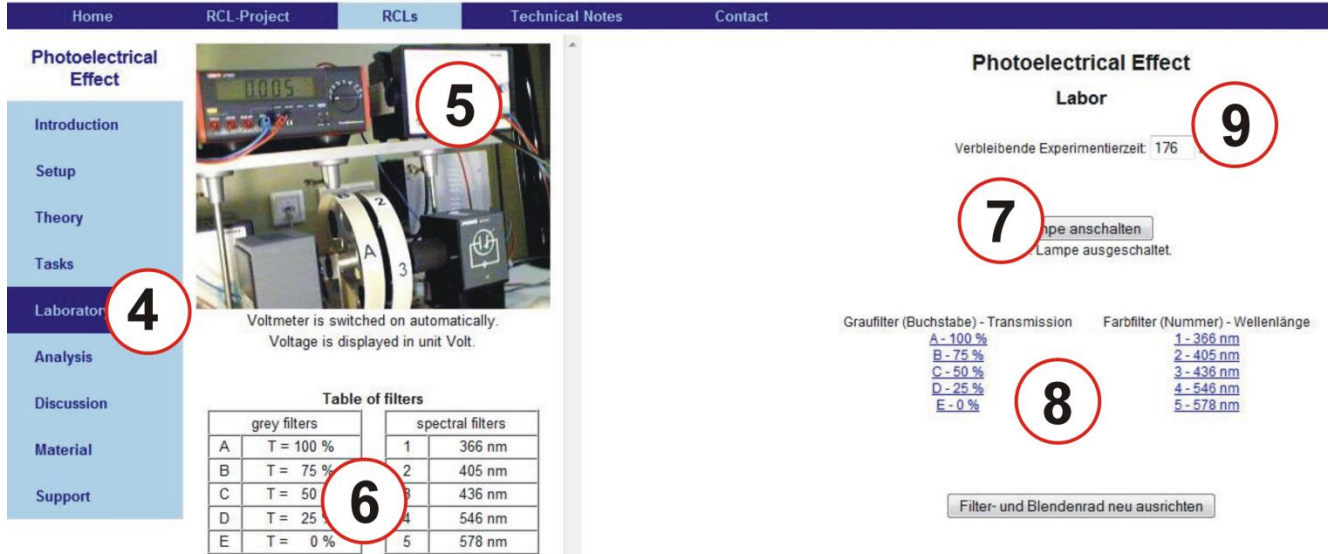
Pomůcky

Počítač s připojením na internet.

Schéma

Obr. 2: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 2) si nejprve vyberte jazykovou mutaci (nejlépe angličtinu; číslo 1) a poté klikněte na nápis "RCLs" v horní modré liště (číslo 2). Na další webové stránce se vám v levé části zobrazí seznam vzdáleně ovládaných experimentů. Klikněte na položku s názvem "Photoelectrical Effect" číslo 3) a otevře se vám nová webová stránka s tímto experimentem (viz obr. 3). Na této webové stránce si můžete v levém modrém sloupci přečíst o tomto experimentu (teorie, úkoly, analýzy, sestava experimentu apod.). Pokud chcete přejít k měření, musíte kliknout na nápis "Laboratory" (číslo 4). V levé části obrazovky je obraz z webové kamery, který sleduje aktuální změny na experimentu (číslo 5), v dolní části je tabulka (číslo 6), která zobrazuje jednak hodnotu šedých filtrů (A-E), které propouští různé intenzity světla a také seznam filtrů (1-5), které vytváří monochromatické světlo určité vlnové délky.



Obr. 3: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

V pravé části webové stránky (viz obr. 3) se nachází tlačítko (číslo 7), kterým se zapíná světelný zdroj. V dolní části (číslo 8) si volíte různé filtry (A-E) a (1-5). V horní části stránky (číslo 9) se odpočítává čas, který ještě máte k provádění experimentu. Maximální čas je 180s. Při jakékoliv aktivitě na stránce se časový limit vždy zpět nastaví na maximální hodnotu.

Postup měření

1. Zapněte počítač a připojte se na internet. Experiment je umístěn na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 2-3).
2. Pokud by se na této webové stránce vyskytly chyby, vyzkoušejte tento experiment v jiném webovém prohlížeči.
3. Pokud je vše v pořádku lze přejít k měření. Nejprve se seznámte s ovládáním experimentu a proveďte jedno zkušební měření, kde se seznámíte s funkcemi jednotlivých tlačítek (Lampe anschalten, A – 100%, 1 – 366 nm apod.).
4. Z webové stránky si opište (do tab. 1) propustnost T pěti různých šedých filtrů a hodnoty pěti různých vlnových délek.

Tab. 1

Propustnost filtrů		Vlnová délka [nm]	
A	$T =$	1	
B	$T =$	2	
C	$T =$	3	
D	$T =$	4	
E	$T =$	5	

5. Klikněte na tlačítko „Lampe anschalten“ (Zapnout lampu). Nyní klikněte na filtr A (100 % propustnost). Pro tento filtr postupně vyzkoušejte všechny vlnové délky (1-5), vždy chvíli počkejte (max. 20 s), než se údaj na multimetru ustálí a opište si hodnotu napětí do tab. 2. Až proměříte všech 5 různých vlnových délek pro propustnost A, změňte filtr s propustností např. na pozici B (75 %) a znovu proměřte 5 různých vlnových délek (1-5). Takto postupujte pro filtry (A-D, 100 % – 25 %). Filtr E (0 %) neproměřujte.

Tab. 2

Filtr	Vlnová délka λ	Frekvence f	Napětí U [V] (na dvě desetinná místa)			
			T = 100 %	T = 75 %	T = 50 %	T = 25 %
1						
2						
3						
4						
5						

- Pro hodnoty z tabulky 2 vytvořte bodový graf závislosti napětí U na frekvenci f . Určete, o jakou závislost se jedná a graf proložte vhodnou křivkou (a spojnicí trendu), tak aby tato křivka protínala také základní osy x a y (tj. přímky $y = 0$ a $x = 0$).
- Z grafu určete frekvenci pro $U = 0$ V, jedná se o mezní frekvenci f_0 .
- Ze vzorce (5) lze odvodit, že pro $f = 0$ Hz platí: $U = -\frac{W_v}{e}$. Odečtěte tedy z grafu hodnotu napětí U pro $f = 0$ Hz a dopočítejte výstupní práci W_v .
- Jestliže znáte mezní frekvenci f_0 a výstupní práci W_v , tak ze vzorce (4) dopočítejte hodnotu Planckovy konstanty h . Srovnajte váš výsledek s tabulkovou hodnotou.
- Vytvořte jeden společný graf závislosti napětí U na propustnosti filtru T pro všechny vlnové délky. Z grafu rozhodněte, jaký je vztah mezi měřeným napětím U a propustností filtru T .
- Vypracujte protokol o měření, který má standardní části: Úvod, Teoretická část, Experimentální část (naměřená data, grafy, výpočty a tabulky), Závěr a Zhodnocení měření.

Doplňující otázky

- Jaké barvě (ve viditelném spektru) by odpovídala mezní frekvence f_0 z tohoto měření?
- Na internetu vyhledejte a popište nějaké technické zařízení, které využívá fotoelektrický jev.
- Vysvětlete pojem „korpuskulárně vlnový dualismus“.
- Pokuste se provést podobný experiment v laboratoři nebo ve třídě. Jaké pomůcky budete k tomuto pokusu potřebovat?

Použitá literatura

- [1] Štoll, I.: *Fyzika pro gymnázia. Fyzika mikrosvěta*. Prometheus, Praha, 2002.
- [2] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika. Část 5. Moderní fyzika*. VUTIUM, Brno, 2006.
- [3] Reichl, J.: *Encyklopedie fyziky*. [on-line] [cit. 2010-8-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/>.
- [4] <http://rcl.physik.uni-kl.de/>. [on-line] [cit. 2011-4-8].