

## Posviťme si na kovy

1.) O co jde při vnějším fotoelektrického jevu (tzv. fotoefektu)? Co děláme a co pozorujeme?. Zkuste vyjádřit podstatu děje jednou větou, co nejjednodušeji (bez vysvětlení, pouze popis situace).

### „Proměřujeme“ a popisujeme

2.) Spusťte si applet fotoefekt<sup>(1)</sup> a náležitě prozkoumejte, co umí. Naučte se měnit intenzitu a barvu (vlnovou délku) světla, určovat velikost proudu procházejícího obvodem a měnit napětí v obvodu.

Pokud chcete mít možnost si porovnat svoje číselné výsledky s ostatními, zvolte si pro další úkoly jako materiál katody sodík (ang. sodium).

3.) Vaším úkolem je prozkoumat a kvalitativně popsat, na čem závisí proud obvodem (pro jednoduchost zatím při nulovém napětí baterie). Co proud zvyšuje a co ho zmenšuje? V jaké situaci neprotéká obvodem žádný proud? Svá pozorování napište.

4.) „Proměřte“ (v daném appletu) závislost proudu (jeho hodnota je v ampérech) na intenzitě a barvě světla. Výsledky si můžete zaznamenat do následující tabulky, ale klidně proměřte dané závislosti detailněji.

| $\lambda$<br>[nm] | $f$<br>[ Hz ] | intenzita |     |     |      |
|-------------------|---------------|-----------|-----|-----|------|
|                   |               | 25%       | 50% | 75% | 100% |
| 250               |               |           |     |     |      |
| 300               |               |           |     |     |      |
| 400               |               |           |     |     |      |
| 500               |               |           |     |     |      |
| 600               |               |           |     |     |      |
| 700               |               |           |     |     |      |
| 800               |               |           |     |     |      |

Na základě měření načrtněte grafy<sup>(2)</sup> a rozhodněte se, zda je vhodnější používat pro charakterizaci světla vlnovou délku nebo frekvenci. Doplňte a zpřesněte popis závislosti proudu z předchozího úkolu.

<sup>(1)</sup>K dispozici jsou dva různé applety, vyberte si ten, který se vám víc líbí. Applet z kolekce PhET umožňuje o trochu více věcí a tento text vychází z něho.

<sup>(2)</sup>V celém tomto materiálu se pracuje s velmi jednoduchými grafy pouze s několika body. Sami se rozhodněte, zda bude pro vás rychlejší je dělat na počítači nebo črtat na čtverečkovaný/milimetrový papír.

Poznámka: Následujících několik úkolů lze řešit pouze pomocí appletu z kolekce appletů PhET.

5.) Elektronů opouštějí kovovou desku s různou rychlostí, což je v appletu znázorněno. Které charakteristiky světla tuto rychlost ovlivňují a jak? Na čem se zdá být rychlost elektronů nezávislá?

6.) A teď přišel čas prozkoumat, co dělá změna napětí na baterii. Měňte napětí, pozorujte, co se děje, popište to a pokuste se vysvětlit.<sup>(3)</sup> Zaměřte se na popis pohybu elektronů, ale i na to, jak napětí ovlivňuje proud.

7.) V závislosti proudu na napětí (při dané barvě a intenzitě světla) lze sledovat dva „zlomové“ body. Popište, k čemu při nich dochází a co je možné pomocí nich určit.

8.) Jak již bylo napsáno, elektrony opouštějí kovovou desku s různými rychlostmi. Je možné nějak určit maximální rychlost?

9.) Zjistěte a „proměřte“, jak závisí maximální rychlost, resp. kinetická energie<sup>(4)</sup> elektronů na barvě a intenzitě světla. Přidejte popis těchto závislostí k charakterizaci fotoefektu v úkolu 3.

10.) Pokud nemáte sestrojeny, tak si sestrojte graf závislosti maximální kinetické energie elektronu na frekvenci dopadajícího záření. Proložte přímkou a určete/odhadněte koeficienty, budeme je potřebovat v další části.

## Směřujeme k vysvětlení

11.) Představme si, že **světlo je vlnění** – stejné jako vlnění na vodní hladině. Uvědomte si, na čem závisí energie vlnění.

Elektron uvnitř kovu se může téměř volně pohybovat (je zde jen velmi slabě vázán), ale na to, aby kov opustil je třeba mu dodat nějakou energii<sup>(5)</sup>.

12.) Na základě předchozích dvou tvrzení odvoďte, jak by měly vypadat závislosti počtu uvolněných elektronů (tj. proudu) a jejich max. energie (tj. potřebného brzděho napětí) na barvě a intenzitě světla.

13.) Porovnejte popis závislostí z předchozího úkolů (tj. světlo je vlnění, jak to říká klasická fyzika) s tím, co jste objevili. V čem se shodují, v čem se liší?

---

<sup>(3)</sup>Bude-li zadávat hodnoty napětí z klávesnice, je třeba psát desetinnou tečku, i když se zobrazuje desetinná čárka.

<sup>(4)</sup>V tomto i následujících úkolech uvažujeme rychlost, resp. kinetickou energii, se kterou elektron opouští kov, i když to není výslovně uvedeno. V závislosti na hodnotě napětí na baterii se rychlost/energie elektronu může během jeho pohybu měnit.

<sup>(5)</sup>Obvykle se této energii říká „výstupní práce“.

14.) a) Pokud bychom si světlo představovali jako proud nějakých kuliček (částic), co by znamenalo změnit intenzitu nebo barvu světla? Jak by se tyto změny projevíly na energii jedné „částice“ světla?

b) Představme si, že uvolnění elektronu z kovu probíhá tak, že jedna „částice“ světla vrazí do elektronu a ten ji pohltí (přijme její energii). Jak by vypadaly závislosti popisující fotoefekt v tomto modelu? V čem se shodují s námi „objeveným“ popisem, v čem se liší?

15.) V tomto konkrétním experimentu je tedy vhodnější si světlo a jeho interakci s kovem připodobnit k vlnám nebo ke kuličkám? Proč?

16.) Vraťme se tedy k závislosti max. kinetické energie elektronu na frekvenci (graf vytvořený v úloze 10) – podívejme se na energetickou bilanci celého děje:

$$\text{energie elektronu} = \text{energie dodaná světlem} - \text{energie potřebná na uvolnění elektronu z kovu}$$

Pokuste se interpretovat konstanty v dané závislosti a porovnejte je s hodnotami v tabulkách (jistě je lehce dohledáte).

## Pár věcí dalších...

17.) Applet umožňuje použít i katodu z jiných kovů. Zkuste určit jejich výstupní práce. Co by asi tak mohl být ten neznámý kov označený otazníky?

18.) Vezměte si zelenou a červenou LED-ku. Proměřte závislost proudu na napětí na diodě pro obě barvy.

19.) Posviťte na diody intenzivním světlem (nejlépe slunečním) a změřte na nich napětí.

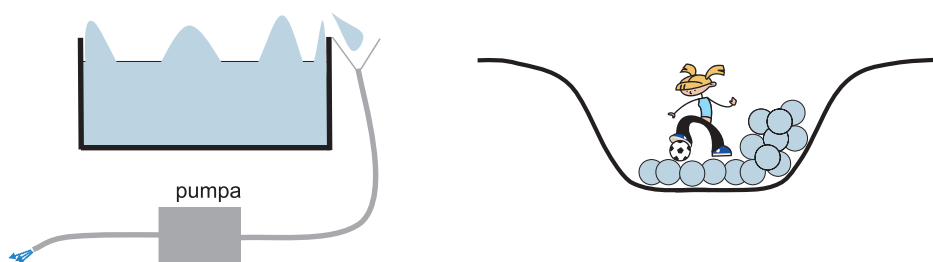
## Chci přemýšlet o metodice

20.) Applet umožňuje zobrazovat v levé části také grafy. Při naší práci jsme je nepoužili, protože je lepší si je naměřit a sestavit samostatně. Na druhou stranu by mohly urychlit výklad. Zkuste se zamyslet nad tím, jak by se tento applet včetně uvedených grafů dal použít přímo v hodině.

21.) Níže popisují dvě analogie, modely. Nedaly by se nějak využít při výkladu fotoelektrického jevu?

A) U bazénu, který není naplněn úplně po okraj, stojí zapnutá pumpa na vodu, která odčerpává vycákanou vodu.

B) V jámě plné míčů stojí fotbalista, který umí vykopnout míč s přesně danou energií.



Nebo zkuste vymyslet nějaké modely jiné.

## Použité materiály

- Physics Education Technology - sada appletů pro použití ve výuce (nejen) fyziky, <<http://phet.colorado.edu>> – použit byl applet *The Photoelectric Effect*
- McKagan, S.: *Intro to Photoelectric Effect Interactive Lecture a Understanding the Photoelectric Effect*, materiály k appletům, <<http://phet.colorado.edu>>
- Applet: *Photo Effect*, <<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap28/PhotoEffect/photo.htm>> – applet znázorňující fotoelektrický jev, tento applet nebyl v rámci semináře použit
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika – Moderní fyzika*, VUTIUM, Brno, 2000
- Štoll, I.: *Fyzika pro gymnázia - Fyzika mikrosvěta*, Prometheus, Praha, 2002