**Úloha č.3. Určení Planckovy konstanty**

***A) Určení Planckovy konstanty pomocí vnitřního fotoefektu LED diod***

**Pracovní úkoly:**

1. Změřte spektra tří různých LED diod

2. Proměřte voltampérové charakteristiky těchto diod

3. Pomocí extrapolace určete Umin jednotlivých diod

4. Určete hodnotu Planckovy konstanty

**Teorie:**

LED diody jsou polovodičové součástky, které při přiložení napětí vyzařují elektromagnetické záření ve viditelné oblasti. Diody vyzařují světlo, pouze pokud je napětí přiloženo ve správném (otevřeném) směru a překročí minimální prahovou hodnotu. Za těchto podmínek začnou v diodě elektrony a díry vést elektrický proud. Nad prahovým napětím roste proud vůči napětí exponenciálně.

Když elektron s dírou rekombinují, je uvolněná energie vyzářena formou fotonu, jehož frekvence, resp. vlnová délka jsou s energií spjaty vztahem: . Ze znalosti energie a vlnové délky fotonu můžeme určit Planckovu konstantu *h*. Světlo emitované LED diodou může zahrnovat množství diskrétních vlnových délek, které se zmenšuje se zmenšujícím se napětím.

Proto se zajímáme o maximalní vlnovou délku, která je určená minimálním napětím potřebném k vytvoření páru elektron-díra. To je rovno startovacímu (prahovému) napětí diody *V0* (tj. napětí, kdy začne protékat proud a začne svítit).

Pak lze určit Planckovu konstantu ze vztahu mezi maximální vlnovou délkou *λmax* a *U0*: , kde *h* je Planckova konstanta, *c*=299 792 458 ms-1 rychlost světla, *e*=1,602176565x10-19 C náboj elektronu.

**Postup měření:**

1. Zapněte počítač a po nastartování systému spusťte program **Spectra**. Tento program obsluhuje spektrometr.

2. Zapojte přístroj s LED diodami ke zdroji napětí 3V. **Dejte pozor na polarizaci napětí! Připojujte „+“ k „+“ a „–“ k „-“!** Na přístroji jsou dva knoflíky. Levý slouží k přepínání mezi vypnuto, modrá dioda, zelená a červená dioda. Pravý slouží k regulaci napětí.

3. V levé stěně krabičky jsou zdířky, do kterých zapojte multimetr a zapněte jej do pozice měření proudu (mA). Do zdířek na pravé straně zapojte multimer v pozici měření stejnosměrného napětí (V). Pravým knoflíkem zvyšujte napětí až se rozsvítí dioda.

4. K diodě přiložte optické vlákno spektrometru a v programu Spectra zaznamenejte světelné spektrum emitované diodou, uložte jej na pevný disk ve formě txt a zkopírujte na vlastní flash disk pro pozdější zpracování doma (zastavit měření → File → Export, uložte do adresáře Data/201516/<vaše příjmení>).

5. Nastavte napětí do maximální polohy (max 3 V) a během snižování napětí proměřte voltampérovou charakteristiku diody.

6. Opakujte měření pro všechny tři diody.

**Zpracování dat:**

1. Proveďte extrapolaci lineární části voltampérové charakteristiky a určete *U0*. (*U0* je napětí, kdy extrapolovaná křivka protíná osu U, tj. pro *I=0 A*.)

2. Převeďte spektrální data z vlnových délek na frekvence dle vztahu *f=c/λ*. **Pozor!** Spektrum je v podstatě histogram, kde každému kanálu je přiřazena vlnová délka. Pro zjednodušení budeme předpokládat, že šířka *i*-tého kanálu *Δλi*, kterému odpovídá vlnová délka *λi*, je dána jako rozdíl mezi hodnotami dvou sousedních kanálů, tj. *Δλi=λi+1-λi*. Zatímco šířka kanálů u spektra vyneseného ve vlnových délkách je v podstatě stejná, po převedení do frekvencí se jejich šířka kanál od kanálu mění. Intenzita *Ii* udávaná na *y*-ose, je v podstatě plocha obdélníku o stranách *Δλi* a *vλi*, tj. *Ii=Δλi∙vλi*, kde *vλi* je výška kanálu, která je vynesená ve vlnodélkovém grafu. Intenzita ve frekvenčním grafu musí zůstat zachována, proto se výška kanálu *fi* oproti příslušnému vlnodélkovému kanálu *λi* bude měnit, tj. *vfi=Ii/Δfi*. Zde *vfi* je výška kanálu *fi* a *Δfi =c/fi-c/fi+1* jeho šířka. Finální formule pro přepočet je tedy:  a *fi=c/λi*.

3. Poté, co získáte spektrum ve frekvencích, proložte grafem Gaussovu křivku. Střední hodnotu *fmax* použijte k výpočtu Planckovy konstanty (*λmax=c/fmax*), pološířku k výpočtu chyby. K fitování Gaussovy křivky můžete použít program Fityk, jehož volnou Windows verzi můžete stáhnout na moodle stránkách kurzu, verze na Unix můžete stáhnout na <http://fityk.nieto.pl/>

Po spuštění programu klikněte na Data/Load File a v dialogovém okně vyberte datový soubor. Ve skrolovacím okénku vyberte „Gaussian“ a klikněte na ikonku auto-add, nacházející se hned vedle okénka. Poté klikněte na Fit/Run a tam OK. Pak klikněte na červenou křivku nafitované Gaussovy křivky a vpravo dole odečtete hodnoty center (střed křivky) a hwhm (polovina šířky v polovině maxima).

4. V protokolu uveďte spektra (ve frekvencích, nebo energiích) všech tří diod a u každého z nich uveďte hodnotu *fmax* a pološířku a *λmax*.

5. Uveďte grafy voltampérových charakteristik všech tří diod, včetne extrapolací a hodnot *U0* (včetně chyby).

6. Vytvořte graf, kde vynesete závislost *U0* na 1/*λmax* (uvádějte v cm-1) a proložte přímkou. Vypočtěte její sklon (tj. *hc/e*) a odtud hodnotu Planckovy konstanty *h*. Při lineární regresi použijte závislosti *y=Ax*, **nepoužívejte** *y=Ax+B*.

***B) Určení Planckovy konstanty pomocí vnějšího fotoelektrického jevu***

**Pracovní úkoly:**

1. Změřte brzdná napětí pro 5 různých vlnových délek světla

2. Vypočtěte Planckovu konstantu

**Teorie:**

Popis zařízení:

1. halogenový zdroj světla; 2. kolejnice umožňující nastavit vzdálenost (6-40 cm) zdroje od 3. fotodiody; 4. displej – k odečítání proudu (pozice páčky vlevo) nebo brzdného napětí (páčka vpravo); 5. přepínač násobení proudu (hodnoty x1, x0.1, x0.01 a x 0.001 μA); 6. potenciometr intenzity světla; 7. potenciometr brzdného napětí; 8. přepínač polaritybrzdného napětí; 9. indikační LED dioda; 10. vypínač přístroje

**Postup měření:**

1. Nastavte násobič proudu na polohu x1, nastavte intenzitu světla na minimum, nastavte brzdné napětí na minimum.

2. Zapněte přístroj a nastavte jas světla **nad** střední hodnotu. Vzdálenost zdoje a fotodiody nastavte na 20 cm.

3. Polaritu brzdného napětí nastavte do polohy „-“

4. Do okénka fotodiody vložte první optický filtr. Zaznamenejte si vlnovou délku světla, které propouští.

5. Pokud je na displeji nenulová hodnota proudu, zvyšujte brzdné napětí, dokud hodnota proudu neklesne na 0. Poté přepněte na multiplikačni faktor 0.1 a zvyšujte brzdné napětí, dokud hodnota proudu neklesne na 0. Opakujte postup pro další násobky dokud na x0.001 neklesne proud na nulu. Poté přepněte displej na odečet napětí. Toto napětí si zaznamenejte.

6. Přepněte násobič proudu zpět na hodnotu x1 a nastavte brzdné napětí na minimum.

7. Opakujte body 4 – 6 dokud nebudete mít změřena brzdná napětí pro všechny filtry.

8. Nastavte přístroj dle bodu 1 a vypněte.

**Zpracování dat:**

1. Maximální kinetická energie elektronů je dána vztahem *Kmax=hf-W*, kde *h* je Planckova konstanta, *f* je frekvence světla a *W* je výstupní práce, potřebná k uvolnění elektronu z povrchu kovu. Okamžiku, kdy už žádný elektron není schopen překonat bariéru brzdného napětí, odpovídá maximální hodnota kinetické energie, tj. *Kmax=eU=hf-W*. Brzdné napětí je tedy funkcí frekvence světla .

2. Udělejte lineární regresi typu , kde U je funkcí 1/λ. Do protokolu uveďte graf. Vypočtěte Planckovu konstantu a výstupní práci fotodiody. Pomocí literatury/internetu se pokuste se určit kov, z kterého je fotodioda vyrobena.

3. U obou metod srovnejte naměřenou hodnotu Planckovy konstanty s tabulkovou a porovnejte přesnost metod.