FYZIKA

Napětí naprázdno fotovoltaického článku v závislosti na intenzitě ozáření

JIŘÍ KOS – MICHAELA KŘÍŽOVÁ

Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové

Moderní technologie se čím dál více uplatňují ve výuce na základních i středních školách. Běžnou součástí výuky jsou počítače, projektory, interaktivní tabule, mobilní telefony, ..., nicméně vývoj tohoto odvětví je natolik rychlý, že výše uvedené technologie nepostačují k tomu, aby byl absolvent našeho školství skutečně dobře vybaven potřebnými kompetencemi. Proto je velmi důležité žákům poskytnout možnost s technologiemi aktivně pracovat. Snažili jsme se navrhnout několik námětů na úlohy, které si mohou žáci samostatně v rámci výuky fyziky proměřit, data zpracovat a učinit závěry svých měření. Využili jsme 3D tiskárnu, senzory Vernier, robotickou stavebnici VEX IQ i jednodeskový počítač Arduino. Veškeré náměty jsou podrobně zpracovány v diplomové práci [1]. U každé takto připravené úlohy je uvedena teoretická část, kterou si žáci prostudují před laboratorní úlohou, poté zadání vlastní laboratorní práce (úkol, pomůcky, podrobný postup) a možné výsledky měření. Nedílnou součástí námětů jsou metodické pokyny pro učitele. Každý námět obsahuje pět ikon prezentujících úvodní informace o něm (část fyziky, metody a formy výuky...). Schematické značky, podrobné popisy a ilustrační obrázky umožňují lepší pochopení zadání práce. V neposlední řadě je uveden výčet a popis dodávaných materiálů včetně odkazů na konkrétní přílohy výše uvedené diplomové práce.

Materiály byly postupně upravovány tak, aby co nejvíce odpovídaly potřebám žáků. Byly vyzkoušeny v pedagogické praxi na vyšším stupni

osmiletého gymnázia v rámci dvouhodinových laboratorních cvičení, která se konají jednou měsíčně v každé třídě daného ročníku. Jelikož se třídy na cvičení dělí do skupin, bylo možné jednotlivé náměty do výuky zařadit opakovaně, a to v obměněných podobách dle připomínek žáků, které vyjádřili v následné reflexi cvičení.

V tomto článku bychom rádi jako ukázku námětů popsali laboratorní cvičení na téma „Určení napětí naprázdno v závislosti na intenzitě ozáření“. K tomuto námětu vzniklo v rámci výše uvedené diplomové práce celkem sedm materiálů – metodický list pro učitele a šest příloh. Vhledem k rozsahu článku není možné zahrnout veškeré vytvořené podklady, a tak zařazujeme pouze vybrané ukázky. Zájemci naleznou kompletní znění právě v diplomové práci [1].

Metodické pokyny k námětu pro učitele

a) úvodní informace

Obr. 1 Ikony ilustrující úvodní informace k úloze [1]

b) popis námětu

Cílem námětu je proměřit závislost napětí naprázdno na intenzitě ozáření.

c) potřebné pomůcky

Datalogger LabQuest 2, voltmetr Vernier, robotická stavebnice VEX IQ, improvizovaný zdroj světla Arduino, solární panel upevněný k držáku, svinovací metr.

d) výčet materiálů dodávaných k námětu

Teoretická stať, pracovní list pro žáky, možné řešení úlohy, návod pro realizaci improvizovaného zdroje světla a 3D výtisku stojanu solárního panelu, návod pro sestavení robotické stavebnice VEX.

e) komentář autora

Úloha sestává z většího počtu měření, a tak je možné ji realizovat ve větších skupinkách žáků.

Součástí úlohy je práce s jednodeskovým počítačem Arduino. Pro stanovení výsledků měření byl využit odečet okamžitých hodnot přímo z dataloggeru. V ostatních úlohách je zařazen i jiný způsob.

Žáci jsou v protokolu vyzváni k tomu, aby zdroj světla považovali za bodový. Je vhodné s nimi prodiskutovat, proč je toto zjednodušení přípustné. Byť se jedná o plošný zdroj, úkolem žáků není stanovovat jednotlivé radiometrické veličiny, pouze zjišťují, zda se intenzita ozáření při oddalování od zdroje snižuje. To platí pro bodové i plošné zdroje.

Úlohu by bylo možné upravit tak, aby žáci neproměřovali pouze napětí naprázdno, ale i celou voltampérovou charakteristiku. Na druhou stranu se však už jedná o učivo přesahující gymnaziální znalosti, a tak byla úloha koncipována do podoby, v jaké se aktuálně nachází.

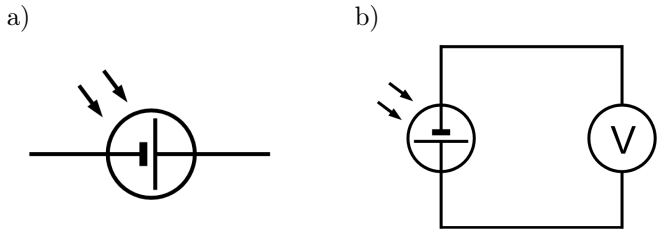
Pro autorovo měření byl použit solární panel o velikosti 6 cm × 8 cm, jmenovitém napětí 3 V, maximálním proudu 300 mA a výkonu 0,6 W.

Zadání laboratorní úlohy pro žáky

Teoretická část (viz [2, 3, 4, 5, 6])

a) solární baterie

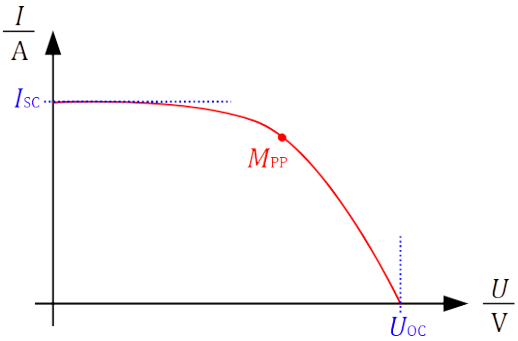
Fotovoltaický článek (fotočlánek) je polovodičová součástka, která slouží k přeměně energie dopadajícího záření na energii elektrickou. Schématická značka fotočlánku je uvedena na obr. 2a.



Obr. 2 Schématická značka fotočlánku a obvod pro určení napětí naprázdno (převzato z [1], upraveno)

Jednotlivé fotočlánky se liší průběhem své voltampérovou charakteristiky (příklad charakteristiky je na obr. 3), přičemž tvar charakteristiky ovlivňují nejrůznější faktory (teplota, intenzita dopadajícího světla, ...). Jedním z parametrů V-A charakteristiky je i napětí naprázdno (na obr. 3 označeno jako U_{OC}), což je napětí, při kterém obvodem neprochází žádný

elektrický proud. Aby obvodem neprocházel žádný proud, je třeba, aby zapojený spotřebič měl nekonečně velký odpor. Realizovat nekonečně velký odpor je samozřejmě nemožné, nicméně dost dobře tuto podmínku splňuje voltmetr, jelikož vnitřní odpory běžných multimetrů se pohybují řádově okolo 10 MΩ (schéma takového obvodu představuje obr. 2b).



Obr. 3 Příklad voltampérové charakteristiky fotočlánku (převzato ze [2], upraveno)

Fotočlánky pak za účelem zvyšování elektromotorických napětí a proudu v obvodu spojujeme do tzv. solárních baterií. Pod pojmem solární baterie tedy rozumíme spojení několika fotovoltaických článků.

b) radiometrie

Světlo je elektromagnetické záření o vlnových délkách 390 nm až 760 nm. Toto záření přenáší do prostoru zářivou energii Q_e. V radiometrii pak ale pracujeme s dalšími fyzikálními veličinami.

Jednou z těchto veličin je veličina nesoucí název zářivý tok Φ_e, která představuje výkon zářivé energie, která prošla určitou plochou za nějaký časový interval.

Zářivostí bodového zdroje I_e označujeme podíl zářivého toku, který zdroj vysílá do malého prostorového úhlu $\Delta\Omega$, a tohoto úhlu, tj.

$$I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}. \tag{1}$$

Intenzitou ozáření E_e rozumíme podíl zářivého toku, který dopadá na elementární plochu ΔS, a této plochy. Pokud je plocha kolmá ke směru

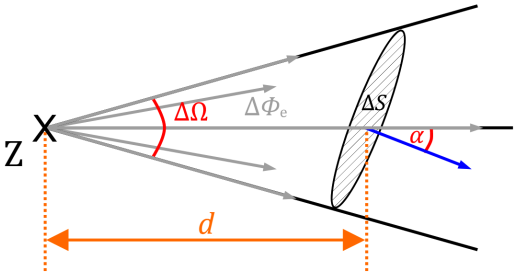
šíření, pak

$$E_\mathrm{e} = \frac{\Delta\Phi_\mathrm{e}}{\Delta S}. \tag{2}$$

Mezi intenzitou ozáření a zářivostí zdroje platí vztah

$$E_\mathrm{e} = \frac{I_\mathrm{e}}{d^2}\cos\alpha, \tag{3}$$

kde α představuje úhel svíraný dopadajícím zářením a normálou uvažované plochy, d je pak vzdálenost zdroje a ozařované plochy. Význam jednotlivých veličin ilustruje obr. 4. U zdrojů, jejichž rozměry nejsou zanedbatelné



Obr. 4 K objasnění některých radiometrických veličin převzato ze [2], upraveno)

vůči vzdálenosti, výše uvedené vztahy neplatí. Musíme totiž na takový zdroj hledět jako na zdroj plošný.

Úkol

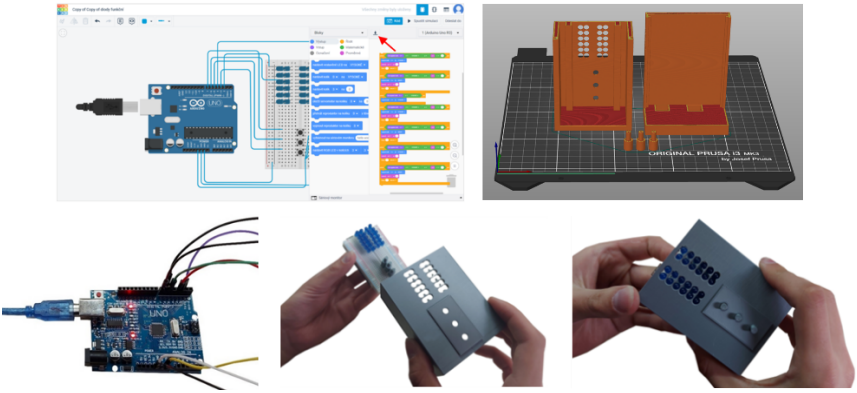
Pomocí sestavené soupravy stanovte závislost velikosti napětí naprázdno na různé intenzitě ozáření.

Pomůcky

Datalogger LabQuest 2, voltmetr Vernier, robotická stavebnice VEX IQ, improvizovaný zdroj světla Arduino, solární panel upevněný k držáku, svinovací metr.

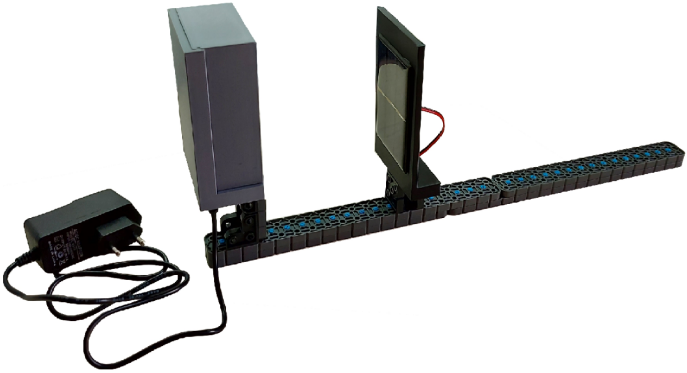
Postup

1. Dle návodu sestavte za pomocí jednodeskového počítače Arduino improvizovaný zdroj světla s krytem vytištěným na 3D tiskárně (návod tvoří přílohy 25, 26 a 27 diplomové práce [1], na obr. 5 jsou uvedeny vybrané snímky z tohoto návodu).



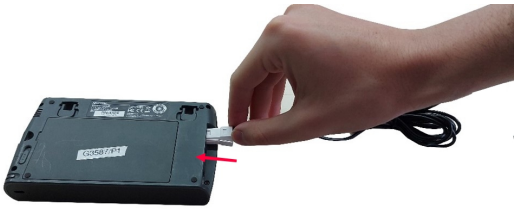
Obr. 5 Vybrané snímky z návodu pro sestavení improvizovaného zdroje světla (převzato z [1], upraveno)

2. S pomocí obrázkového návodu sestavte optickou lavici (vzdálenost povrchu solárního panelu od svítivých diod by měla být 9,5 cm). Návod tvoří přílohu 28 diplomové práce [1], na obr. 6 je uvedena finální podoba optické lavice.



Obr. 6 Požadovaná podoba optické lavice [1]

3. K výstupům ze solárního článku připojte voltmetr firmy Vernier (viz obr. 7). Ten pak propojte s dataloggerem (výsledkem měření budou pouze hodnoty napětí, a tak je odečteme přímo z displeje, nebudeme potřebovat propojení s počítačem).



Obr. 7 Připojení voltmetru k dataloggeru (převzato z [1], upraveno)

4. Datalogger zapněte a vyčkejte, dokud nenaběhne jeho operační systém.

5. Zapojte improvizovaný zdroj světla do zásuvky.

6. Solární panel zakryjte a proveďte nulování senzoru Vernier. Nulování provedete tak, že poklepáte na číselnou hodnotu napětí, která se právě ukazuje na displeji. Po poklepání se objeví podokno možností, ve kterém vyberete položku *Nulovat*.

7. Odkryjte solární panel.

8. Na improvizovaném zdroji stisknete první tlačítko, čímž rozsvítíte dvě řady diod. Na dataloggeru odečtete hodnotu napětí naprázdno a poznamenejte si ji.

9. Postupně rozsviťte i další řady diod (respektive zvyšujte intenzitu ozáření), pokaždé proměřte napětí naprázdno a vhodně si jej poznamenejte.

10. Ponechte rozsvícené všechny diody a postupně zvětšujte vzdálenost panelu od zdroje světla o 6 cm, dokud nedojdete na konec optické lavice (posunu o 6 cm odpovídá posun o 5 zdířek na optické lavici). V každé poloze opět stanovte hodnotu napětí.

11. Zpracujte výsledky měření:

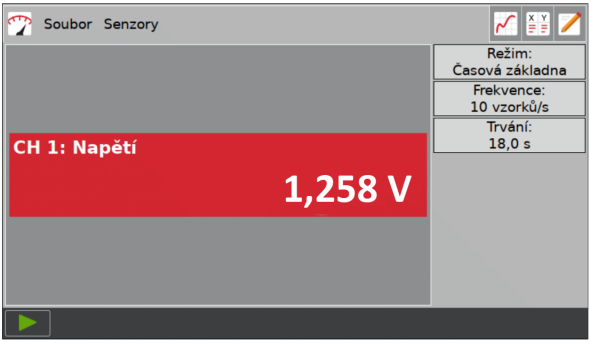
    - Okomentujte, jak se měnilo napětí naprázdno při zvyšování intenzity ozáření.
    - Sestavte bodový graf závislosti napětí naprázdno na vzdálenosti solárního panelu od improvizovaného zdroje světla, naměřené hodnoty proložte vhodnou regresní křivkou.

- Na základě sestaveného grafu vyvoďte, jak se mění intenzita ozáření se zvyšující se vzdáleností (zdroj světla považujte za bodový – jedná se o hrubé zjednodušení, ale pro naše úvahy je dostatečné).

12. Zformulujte závěr měření.

Naměřené hodnoty a jejich zpracování, možné interpretace výsledků

Během měření ve vzdálenosti $d = 9{,}5$ cm solárního panelu od zdroje světla byla při rozsvícení dvou řad svítivých diod stanovena hodnota napětí naprázdno $U_I = 1{,}063$ V (viz obr. 8).



Obr. 8 Ukázka měření napětí naprázdno (převzato z [1], upraveno)

Při rozsvícení dalších dvou řad diod pak hodnota napětí vzrostla na $U_{II} = 1{,}187$ V. V posledním případě byly v provozu veškeré diody, přičemž hodnota napětí naprázdno byla rovna $U_{III} = 1{,}258$ V.

Ve druhé části úlohy byla při rozsvícení všech řad diod stanovena závislost napětí naprázdno U na vzdálenosti d. Tuto závislost představuje tabulka 1.

V první části laboratorního cvičení bylo určeno, že v závislosti na zvyšující se intenzitě ozáření roste napětí naprázdno. Proměřená závislost ve druhé části cvičení pak ukazuje, že s rostoucí vzdáleností klesá napětí naprázdno, z čehož lze usoudit, že se zvyšující se vzdáleností klesá intenzita ozáření.

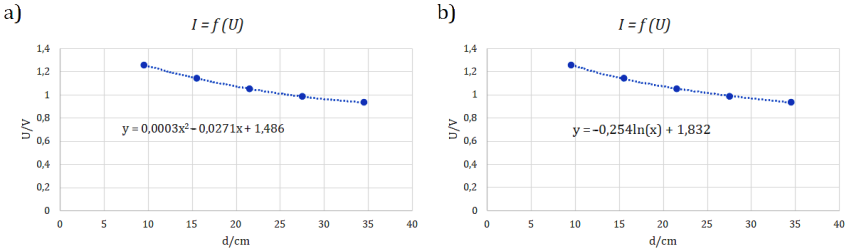
Je nasnadě konstatovat, že výše uvedené interpretace do jisté míry nemusí naplňovat očekávání středoškolské fyziky, neboť nevedou k získání

funkčního předpisu regresní funkce tak, jak bývá v laboratorních cvičeních z fyziky zvykem. Pro zpracování dat lze tedy uvážit užití tabulkového procesoru a pokusit se funkční závislost stanovit.

číslo měření i	$\frac{d_i}{\text{cm}}$	$\frac{U_i}{\text{V}}$
1	9,5	1,258
2	15,5	1,144
3	21,5	1,052
4	27,5	0,987
5	34,5	0,936

Tabulka 1 Závislost napětí naprázdno U na vzdálenosti d [1]

Při hledání regresní funkce samozřejmě platí, že naměřená data lze dost dobře proložit polynomickou funkcí dostatečného stupně (tak jako ve všech dalších fyzikálních měřeních). V případě našich dat dokonce vyplývá, že bychom mohli využít polynom pouze druhého stupně (viz obr. 9a). Je však otázkou, nakolik tato křivka odpovídá skutečné závislosti. Z některých zdrojů (např. [7]) lze usuzovat, že by závislost měla být logaritmická (viz obr. 9b). Hledání funkčního předpisu může být určitě velmi zajímavým problémem, o kterém lze s žáky v hodinách diskutovat, a tak rozšířit jejich zkušenosti s regresní analýzou.



Obr. 9 Graf závislosti napětí naprázdno U na vzdálenosti d (převzato z [1], upraveno)

Závěr

Moderní technologie neoddiskutovatelně patří do výchovně-vzdělávacího systému 21. století, a to i do fyzikálního vzdělávání. Doufáme, že si uvedená úloha získala své čtenáře a že i motivovala některé vyučující fyziky k tomu, aby nahlédli do citované diplomové práce a některé moderní technologie do svých hodin zkusili zařadit.

Literatura

[1] *Kos, J.*: Využití moderních technologií ve výuce fyziky na SŠ [online]. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Hradec Králové, 2022. Dostupné z: https://theses.cz/id/z68et0/.

[2] *Kos, J.*: Inovace Fyzikálního praktika 2 [online]. Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Hradec Králové, 2020. Dostupné z: https://theses.cz/id/o545xt/.

[3] *Nečásek, S., Janeček, J. a Rambousek, J.*: Elektronické a elektroakustické součástky: Jejich volba a použití. Praha, Nakladatelství technické literatury, n. p., 1985.

[4] *Němeček, O.*: Teplotní charakteristiky fotovoltaických panelů [online]. Diplomová práce. Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Plzeň, 2017. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11025/26879.

[5] *Baumruk, V.*: Učební text k přednášce UFY102: Fotometrie a radiometrie [online]. MFF UK, Praha [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: http://fu.mff.cuni.cz/biomolecules/media/files/courses/Fotometrie_a_radiometrie.pdf.

[6] *Halliday, D., Resnick, R. a Walker, J.*: Fyzika. 2. vyd. Brno, VUTIUM, 2013.

[7] *Honsberg, Ch. a Bowden, S.*: Effect of Light Intensity. PVCEducation [online], [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-light-intensity%20.