

Nové vzdálené experimenty řízené přes internet

*PAVEL BROM, FRANTIŠEK LUSTIG, LUCIE FILIPENSKÁ, JIŘÍ DVOŘÁK
UK MFF – Kabinet výuky obecné fyziky*

Abstrakt

V příspěvku představujeme nové reálné experimenty řízené přes Internet prostřednictvím JAVA objektů. Tyto experimenty jsou fyzicky umístěny ve vzdálené laboratoři UK MFF a jsou volně přístupné komukoliv a kdykoli na adrese [1]. V rámci strategie výuky zvané integrovaný e-learning jsou doplněny e-texty s teorií a popisem, případně vhodnou simulací a multimediálními objekty (např. krátká instruktážní videa). Podrobněji jsou popsány dva experimenty: a) vnější fotoelektrický jev a b) studium radioaktivity a způsoby ochrany před ionizujícím zářením. Reálná data z těchto experimentů lze jednoduše stáhnout do programu typu MS Excel a následně statisticky a graficky zpracovat. Experimentální data lze využít jednak ve vyučovací hodině, tak i při domácí práci studentů, a to ve fyzice, informatice (práce s MS Excel) i v základech statistiky (radioaktivita jako přírodní zdroj náhodných čísel).

Úvod

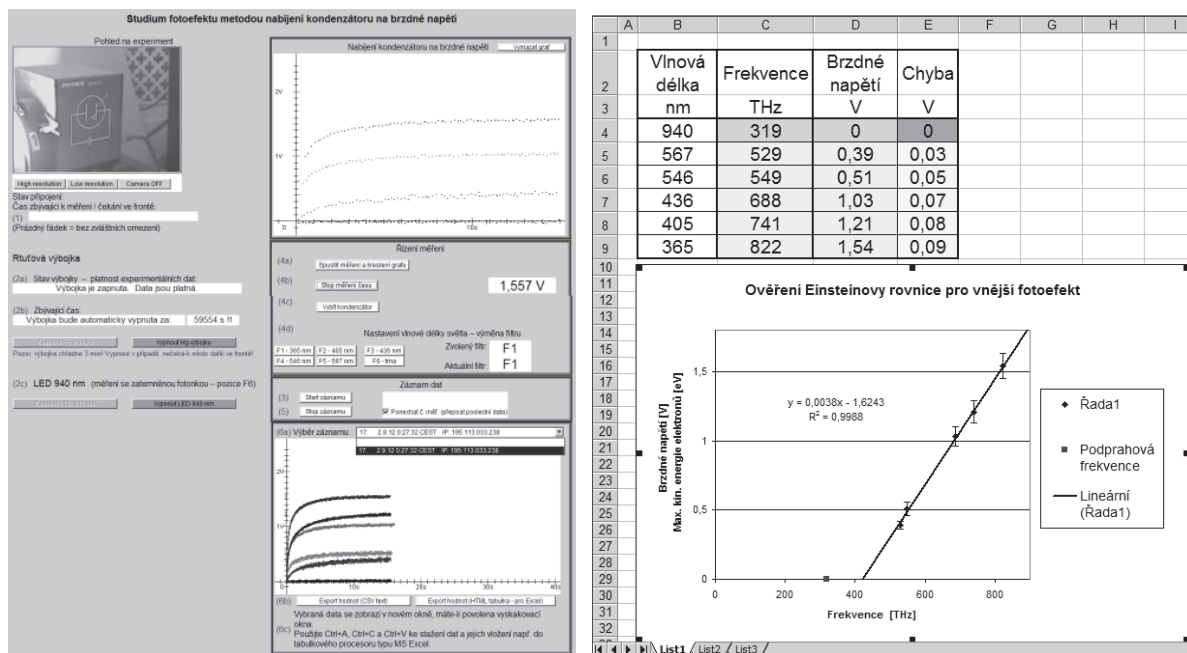
V některých tématech z fyziky není možné provádět experiment, protože škola nemá potřebné, zpravidla nákladné pomůcky (např. vakuovou fotonku), protože experiment je komplikovaný nebo časově náročný (zdlouhavá a jednotvárná měření radioaktivity) anebo z důvodu nebezpečnosti experimentu (např. práce se silnějšími radioaktivními zářiči). Řešení přináší strategie integrovaného e-learningu, jejímiž prostředky jsou e-texty či e-učebnice s teorií, simulace (aplety) a především reálné vzdálené experimenty volně přístupné komukoliv, kdykoliv a odkudkoliv přes Internet.

Experimenty v české vzdálené laboratoři [1] poskytují reálný obraz měřicí aparatury prostřednictvím webkamery, průběžný grafický náhled změřených hodnot (tyto se neukládají) a záznam dat podle přání uživatele. Data lze nakonec jednoduše stáhnout do běžných tabulkových procesorů (MS Excel, OpenOffice Calc apod.). Následně se studenti mohou zaměřit na vědecké metody zpracování vlastních naměřených hodnot, což zahrnuje především použití statistiky a grafické zpracování dat (proložení hodnot očekávanou modelovou funkcí, v MS Excel *přidání spojnice trendu*).

Dále uvádíme pro inspiraci příklady použití dvou vzdálených experimentů jak ve vyučovací hodině (výklad, zkoušení), tak při domácí práci studentů včetně typických výsledků. Jedinou podmínkou je stabilní a dostatečně rychlé připojení k Internetu (vyzkoušejte si ve své škole) a instalace JAVA Runtime Environment (JRE) – volně stažitelného z [2]. Pro **přípravu** na hodinu vždy doporučujeme rezervovat si čas a k úloze se přihlásit přes *rezervační systém* [3] a v předstihu si připomenout ovládání aparatury, popř. spustit záznam změřených hodnot, které lze v hodině přímo ukázat.

a) Vnější fotoelektrický jev

Učitel i studenti si mohou pro vzdálené experimentování vybrat jednu ze dvou běžných metod: 1) jednodušší nabíjení kondenzátoru na brzdné napětí, což je vhodné k demonstraci ve vyučovací hodině, nebo 2) komplexnější studium voltampérových charakteristik vakuové fotonky, z nichž je nejprve třeba vyhodnotit brzdná napětí pro různé vlnové délky elektromagnetického záření dopadajícího na fotokatodu. K dispozici jsou i podprahové frekvence, při nichž k vnějšímu fotoefektu zjevně nedochází.



Obr. 1. Uživatelské rozhraní vzdáleného experimentu na vnější fotoefekt – nabíjení kondenzátoru na brzdné napětí (vlevo). Ukázkové zpracování v MS Excel (vpravo).

Při domácím samostatném zpracování by studenti měli vyhodnocená brzdná napětí vynést do grafu v závislosti na frekvenci elektromagnetického záření. V případě nabíjení kondenzátoru hodnoty přímo odečtou z uživatelského rozhraní a chybu odhadnou anebo mohou v záznamu měření zprůměrovat hodnoty, kdy je napětí na kondenzátoru již dobře ustálené a odpovídá hodnotě brzdného napětí. Před měřením nesmíme kondenzátor zapomenout vždy vybit! V případě V-A charakteristik se brzdné napětí vyhodnocuje jako střední hodnota průsečíku charakteristiky s vodorovnou osou napětí na fotonce, kdy se objevuje fotoproud. (Nepatrný parazitní fotoproud z anody lze vůči fotoproudu z katody zanedbat, popř. při nejmenším zesílení si ho nevšimneme.) Jeli-kož v této úloze měříme velmi malé fotoproudy s šumem, měření brzdných napětí je nevyhnutelně zatíženo relativní chybou okolo 10 %, na což bychom měli studenty upozornit.

Ukázka vypracování je na obr. 1, příslušný dokument MS Excel lze stáhnout z [4]. Všechny 5 bodů ležících v přímce potvrzuje platnost Einsteinovy rovnice pro vnější fotoelektrický jev. Ze směrnice přímky kolem $0,0038 \text{ V/THz} = 3,8 \cdot 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{s}$ lze po vynásobení nábojem elektronu získat experimentální hodnotu Planckovy konstanty

asi $(6,1 \pm 0,7) \cdot 10^{-34}$ J·s. Průsečík se svislou osou neboli absolutní člen ve směrnice-
vém tvaru přímky potom odpovídá výstupní práci v jednotce elektronvolt – tzn.
($1,6 \pm 0,2$) eV, kterou lze obdobně po vynásobení nábojem elektronu převést na jouly
(J). Z e-návodu se studenti dozvědí, jak do společného grafu vynést vybrané body
a proložit jimi modelovou funkcí, dále jak přidat body, které jsou zatíženy hrubou
chybou měření či které na modelové funkci neleží (zejména ověření podprahové
frekvence). Téma vnějšího fotoefektu je rovněž vhodné k uvedení problematiky chyb
měření a jejich znázornění pomocí chybových úseček. Zpracování úlohy je zároveň
vynikající cvičení na zápis čísel i popis os v semilogaritmickém tvaru, resp. procviče-
ní dílčích a násobných jednotek soustavy SI (nano, tera).

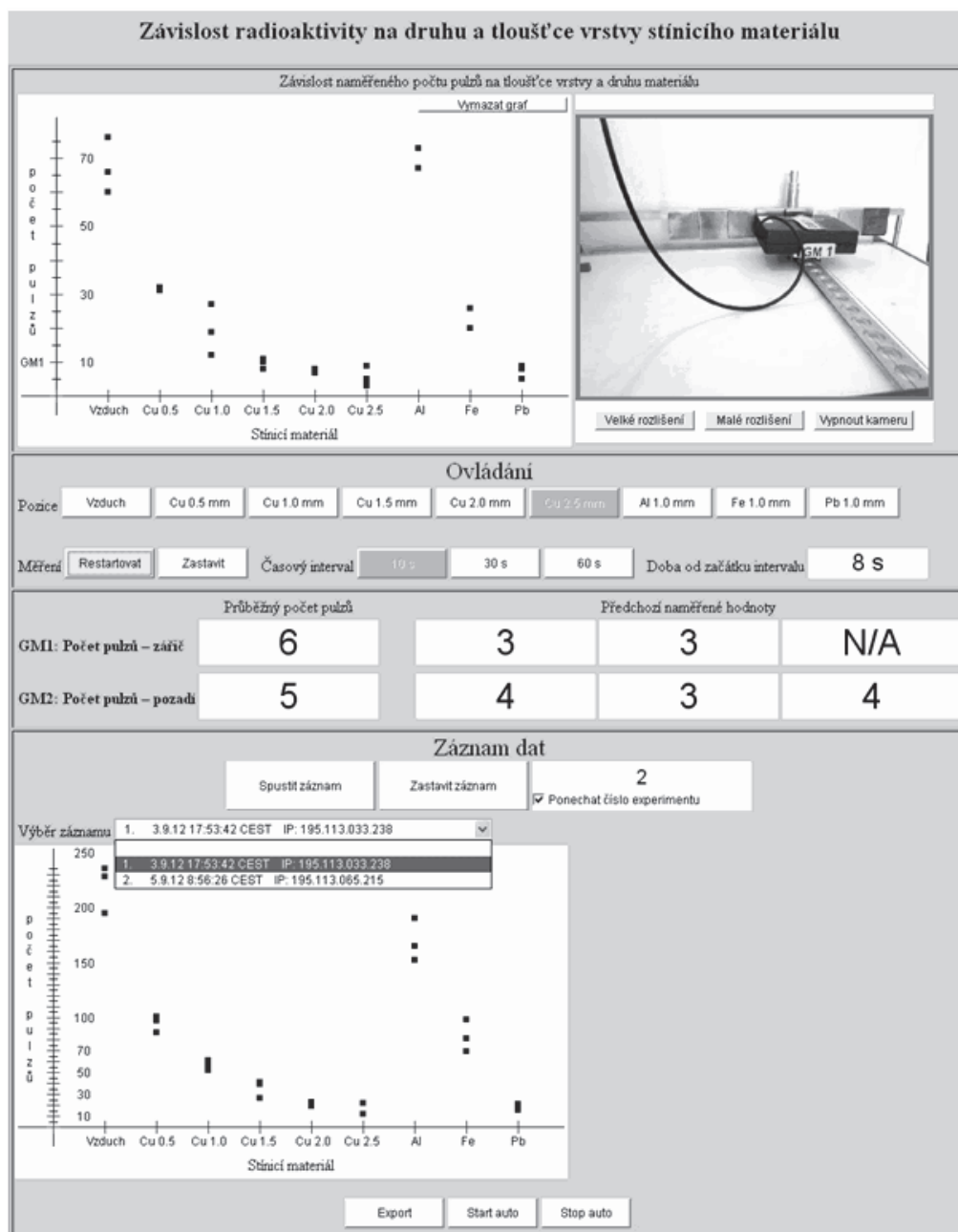
b) Studium radioaktivity

Nový vzdálený experiment ke studiu radioaktivity využívá dva Geigerovy-Müllerovy
čítače – jeden je odstíněn od zářiče a průběžně monitoruje přírodní radioaktivní poza-
dí, druhý je připojen k XY polohovacímu zařízení. Díky tomu lze zkoumat závislost
poklesu počtu pulzů jednak na *vzdálenosti od zářiče*, jednak s *rostoucí tloušťkou vrst-
vy* i podle *druhu stínícího materiálu*. S úlohou lze demonstrovat, že 1) přírodní radio-
aktivní pozadí je přirozenou součástí životního prostředí, že má náhodný charakter,
případně že jako příklad řídkého náhodného jevu jej popisuje tzv. Poissonovo rozdě-
lení; 2) že ochrana vzdáleností od radioaktivního zářiče i dobou expozice jsou jedno-
duché a intuitivní způsoby naší ochrany před zdroji ionizujícího záření a 3) že
ochrana stíněním je velmi efektivní způsob ochrany před ionizujícím zářením
v průmyslu či zdravotnictví. Viz obr. 2.

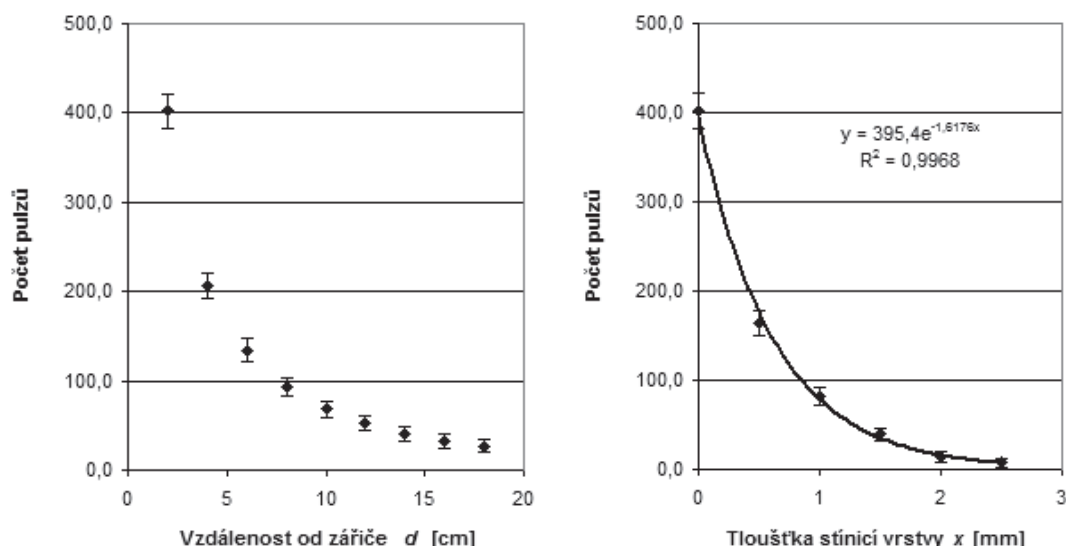
V úlohách 1) lze vysvětlit a procvičit základy statistického zpracování – průměrná
hodnota a výběrová směrodatná odchylka, případně rozdělení četností výskytu při
ověření Poissonova rozdělení – podrobněji viz e-texty k úloze [1]. Úlohy 2) a 3) de-
monstrují význam statistiky při popisu náhodných jevů, kdy jednotlivá měření mají
nízkou vypovídací hodnotu, zatímco průměrné hodnoty konvergují k očekávaným
hladkým závislostem. Demonstrace závislosti 2) je vhodná do vyučovací hodiny (lze
využít tlačítko Start AUTO a po dokončení automatického měření si prohlédnout vý-
sledek). Zákon převrácených čtverců odvozený pro bodový zdroj zde však
s experimentálními hodnotami nesouhlasí přesně, což lze zdůvodnit geometrií uspo-
řádání pokusu (nemáme bodový zdroj a účinná plocha G-M trubice neodpovídá před-
pokládané sférické ploše). Naopak v úloze 3) lze ověřit platnost Lambertova-Beerova
zákona, kdy lze všemi 6 zprůměrovanými hodnotami proložit exponenciální funkci
s ohledem na chyby měření (tj. výběrové směrodatné odchylky). Případné větší od-
chylky lze vždy zdůvodnit náhodnou chybou při měření. Navíc náhodnost radioaktiv-
ního rozpadu umožňuje snadno odhalit kopírované protokoly.

Pro každou z úloh 1–3) lze využít hodnoty naměřené při opakování experimentu.
V případě, že žádný uživatel není vzdáleně přihlášen, měřicí server provádí minutová
měření ve všech pozicích. Tato data z **dlohodobého** automatizovaného měření lze
stáhnout přes zvláštní rozhraní a provést statistické zpracování na rozsáhlejších statis-
tickém souboru. (Takto lze např. demonstrovat význam počtu opakování měření při
statistickém zpracování: jednotlivá měření pravděpodobně budou velmi rozptýlena

kolem očekávané hladké závislosti (modelové funkce), zatímco průměrné hodnoty se k ní velmi dobře přibližují s rostoucím počtem měření. Podrobnější návod ke statistickému zpracování v MS Excel s využitím funkce KDYŽ (IF) je rovněž uveden v e-textech, účastníci konference najdou ukázkový dokument MS Excel na adrese [4]. Do pracovního listu MS Excel stačí postupně přidávat změřené hodnoty z libovolně zvoleného období (které mohou zvolit studenti v hodině) a pozorovat konvergenci průměrů k jisté hladké závislosti. Viz též obr. 3.



Obr. 2. Uživatelské rozhraní vzdáleného experimentu ke studiu radioaktivity.



Obr. 3. Ukázka zpracování z dlouhodobé statistiky v MS Excel – ochrana před zdroji ionizujícího záření *vzdáleností* (vlevo) a *stíněním* (vpravo).

Závěr

Vzdáleně řízené experimenty umožní zpestřit a obohatit výuky fyziky, matematiky a informatiky, a to zejména pro vybraná témata, kde se klasický pokus zpravidla neprovádí. Využívá se sdílení nákladného či složitého experimentálního vybavení prostřednictvím Internetu a dalších výhod integrovaného e-learningu (non-stop provoz měřicích serverů, dlouhodobé měření pro získání rozsáhlého statistického souboru, neomezený přístup do vzdálené laboratoře). Studenti se mohou seznámit s metodami vědecké práce a ověřit si soulad teorie a experimentu pro mnoho zajímavých jevů – z kvantové fyziky a optiky např. studium vnějšího fotoelektrického jevu, ověření Heisenbergových relací neurčitosti; nově testujeme studium spektra atomu vodíku a ověření Ritzova-Rydbergova kombinačního principu pro Balmerovu sérii spektrálních čar. Z optiky jmenujme studium a praktické využití polarizace světla. Viz rozcestník na jednotlivé experimenty s teorií ve vzdálené laboratoři [1].

Poděkování

Vznik nových vzdálených úloh a výzkum jejich efektivity byly podpořeny grantem MŠMT – FRVŠ č. 957/2012 a grantem GAUK č. 4466/2011.

Literatura

- [1] Lustig F., Brom P., Dvořák J.: Česká vzdálená laboratoř – rozcestník na vzdálené experimenty včetně studijních textů. <http://www.ises.info>
- [2] Java Runtime Environment (JRE). <http://www.java.com/en/download/index.jsp>
- [3] Lustig F.: Rezervační systém. <http://kdt-12.karlov.mff.cuni.cz/rezervace.php>
- [4] Brom P.: Ukázky zpracování. <http://kdt-38.karlov.mff.cuni.cz/Veletrh/17.zip>
http://www.ises.info/ises_data/experiment/radioactivity/Veletrh/17.zip