

Přehled vzdálených experimentů na platformě ISES a Arduino

František Lustig

Univerzita Jane Evangelisty Purkyně, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyziky

Abstrakt

Příspěvek je úplným přehledem vzdálených experimentů provozovaných na platformě ISES a Arduino. Na jednom místě soustředí všechny funkční vzdálené experimenty. Dále odkáže na tři nejdůležitější rozcestníky – na původní ises.info, na nový rozcestník eEdu.eu na MFF UK Praha, na rozcestník na UJEP Ústí nad Labem. Zmíníme též vzdálené experimenty s Arduinem na Škoda Auto Vysoká škola Mladá Boleslav. Během prezentace předvedeme živě všechny vzdálené experimenty. U vzdáleného experimentu Elektromagnetická indukce navíc ukážeme nové zajímavé pracovní úkoly pro ZŠ, SŠ i VŠ (včetně využití AI). Součástí příspěvku je prezentace s aktivními odkazy na jednotlivé vzdálené experimenty.

Úvod

Vzdálené experimenty již mají dlouhou tradici. Naše vzdálené experimenty s plnohodnotnou funkčností byly jedny z prvních v České republice (a dovolíme si říci, že i v Evropě a snad i na světě ...). Vznikly na MFF UK již v roce 2002. Školy z ČR i ze světa si je postupně zkoušely a začaly je používat ve výuce. Opravdu aktivní využívání vzdálených experimentů se objevilo během Covidu 19. Tehdy se aktivní využívání zvedlo o cca 450 %. V běžném režimu máme na naše vzdálené laboratoře asi 300 přístupů za měsíc, v době Covidu 19 to bylo přes 1400 přístupů za měsíc. Přestože vzdálené experimenty prezentujeme na konferencích, na seminářích, v publikacích aj. již přes 20 let, přesto se stále objevují učitelé, studenti, kteří je vždy vidí poprvé! A musíme se pochválit, vzdálené experimenty se jim líbí. Tímto příspěvkem chceme znovu a znovu připomenout, že jsou na internetu komukoliv a kdykoliv volně přístupné tyto naše vzdálené experimenty s jednoduchým intuitivním ovládním. Vzdálené experimenty jsou převážně sestaveny na platformě systému ISES, později jsme vzdálené experimenty konstruovali na levné a všem dostupné variantě s Arduinem. Pro uživatele to není důležité, vzdálené experimenty fungují se stejným ovládacím rozhraním.

Kolem našich vzdálených experimentů bylo napsáno mnoho článků a příspěvků. Zde v textu uvedeme zásadní klíčové publikace, které se věnovaly jak vývoji software pro tvorbu vzdálených laboratoří, tak popisu našich vzdálených experimentů [1], [2], [3], [4], [5], (pozn.: v Literatuře jsou interaktivní linky, takže se velice snadno dostanete k našim všem klíčovým publikacím).

Přehled vzdálených experimentů

Všechny níže popsané vzdálené experimenty mají jednotné intuitivní ovládní. Vzdálený experiment má vždy *živý kamerový pohled*. Experiment je pokud možno maximálně interaktivní, má vždy nějaké *Ovládní, resp. Nastavování, resp. Řízení*. Dále má vždy *Záznam experimentu* a nakonec má vždy *Export* naměřených průběhů (dat) do vašeho

lokálního počítače. Přenesená data jsou v Excelovském formátu „csv“ nebo v textovém formátu „txt“, takže umožňují snadné další zpracování.

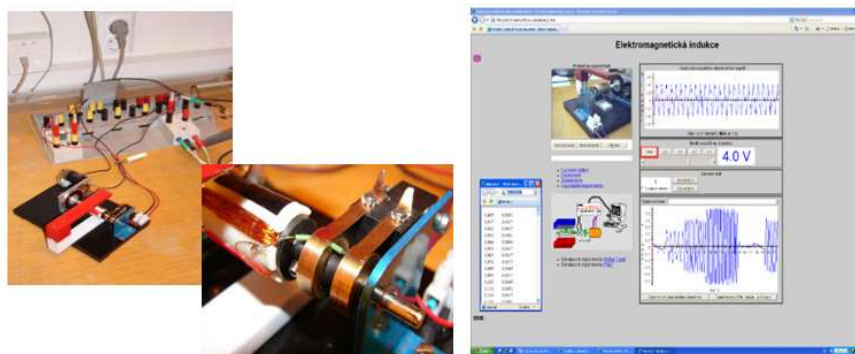
Vzdálený experiment Elektromagnetická indukce

Tento vzdálený experiment popíšeme trochu podrobněji. Vzdálený experiment Elektromagnetická indukce běží nepřetržitě již 16 let! Je nejvíce využívaným naším vzdáleným experimentem. Během 16 let prošel vývojem zdrojový software, drobné úpravy, či spíše opravy, si vyžádal i vlastní experiment – otočná cívka v homogenním magnetickém poli. Nyní je tento experiment v komfortním uživatelském stavu. A jenom bychom ještě poznamenali, že se o tento vzdálený experiment není potřeba starat klidně i měsíc i více. Pozn.: ale možná je vhodné cca jednou za měsíc počítač i experiment restartovat a upgradovat (běží na Windows).

Ve vzdáleném experimentu Elektromagnetická indukce můžeme vzdáleně otáčet cívku v magnetickém poli. Obdélníková cívka známých rozměrů má dvě vinutí o 18 a 36 závitů. Pólové nástavce vytvářejí v místě rotace cívky homogenní magnetické pole. Kartáčky z jednoho vinutí a z druhého vinutí snímají indukované napětí při různých rychlostech otáčení. Snímání obrazu experimentu je dostatečně rychlé, takže můžeme zároveň sledovat rotující cívku a zároveň sledovat grafický průběh indukovaného napětí. Úloha může být pouze kvalitativní, při vyšších otáčkách vyšší indukované napětí, nebo žáci základních škol mohou spočítat počet otáček cívky, a to jak z on-line přenosu videa, tak i přesně z grafického průběhu indukovaného napětí.

Nechme své žáky, studenty zatočit cívku, jen tak si na dálku pohrát. Pro základní školu nechme žáky určit třeba počet otáček cívky za 10 sekund. Měření času nechť se děje pomocí vlastních hodinek, resp. stopek. Zde se nám evokuje Komenského *Obris pictus*, v našem případě *Physica picta* – „Fyzika v obrazech“ a ještě výstižněji „*Per oculus ad mentem*“ – „Skrze oči do mysli“.

Středoškoláci mohou spočítat velikost indukovaného napětí a porovnat ho s naměřenou hodnotou (známe rozměry cívky, magnetickou indukci permanentních magnetů i rychlost otáčení). Vysokoškoláci mohou spočítat magnetický indukční tok při malých a velkých otáčkách (musí být stejný) jako určitý integrál (plochu pod křivkou průběhu indukovaného napětí). Proložení naměřené sinusoidy teoretickou sinusoidou lze zkusit téměř laickým využitím AI. Prostě klidně foneticky řekneme AI, aby proložila naměřenou křivku teoretickou sinusoidou a vypsal její parametry. A uvidíte, že se nám to při důsledných dotazech povede (a nemusíme znát Řešitele z Excelu, resp. jiný fitovací software).



Obr. 1. Vzdálený experiment Elektromagnetická indukce.

Přímý odkaz na vzdálený experiment Elektromagnetická indukce je na adrese <http://kdt-39.karlov.mff.cuni.cz/index.html>.

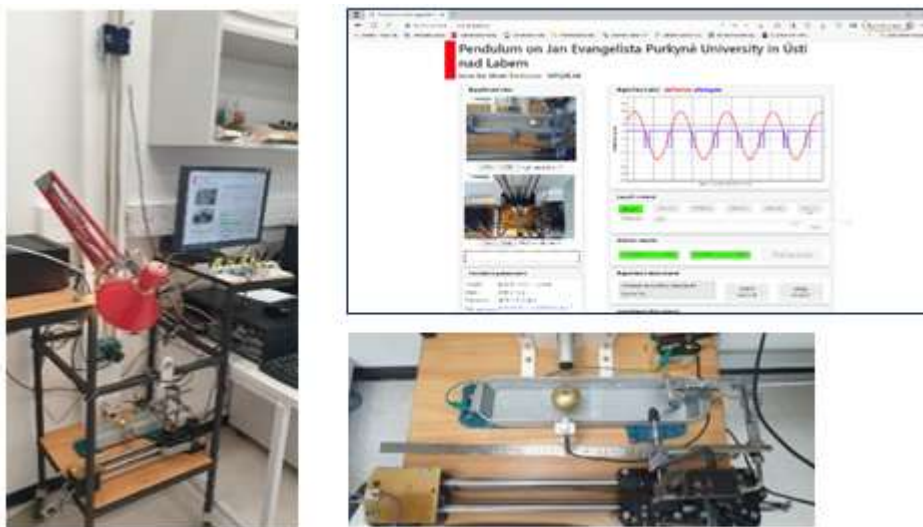
Tento experiment má i teorii včetně úkolů. Odkaz na původní kompletní úlohu včetně teorie a úkolů je na adrese <https://www.ises.info/index.php/cs/laboratory/experiment/electromagnetic-induction>.

Pozn.: Tato vzdálená úloha je na rozcestníku <https://www.ises.info> a do konce roku 2025 bude nově i na novém rozcestníku <https://eedu.eu> jako kompletní úloha včetně teorie, úkolů, popisu ovládání aj. a to ve verzi pro ZŠ, tak i pro SŠ a hlavně pak pro VŠ praktikum.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Matematicko-fyzikální fakultě na UK v Praze.

Vzdálený experiment Matematické kyvadlo

Vzdálená laboratorní úloha umožňuje studium kmitů matematického kyvadla. Lze proměřit dobu kyvu pro různé délky závěsu (rozmezí 80 až 163 cm). Rovněž umožňuje nastavit dvě možné počáteční výchylky (pro malý rozkmit a pro větší rozkmit). Doba kyvu se měří přesnou optickou závorou. Výchylka se odečítá tzv. vodním potenciometrem (jehla připevněná na kouli projíždí lehce vodní hladinou, na které je pomocí dvou elektrod zaveden potenciální spád). Kmity jsou samozřejmě slabě tlumené. Lze přesně spočítat tíhové zrychlení g a porovnat ho s tabulkovou hodnotou v místě provozování (UJEP Ústí nad Labem).



Obr. 2. Vzdálený experiment Matematické kyvadlo.

Přímý odkaz na vzdálený experiment Matematické kyvadlo je na adrese <http://ises4.prf.ujep.cz>.

Tento experiment má i teorii včetně úkolů. Odkaz na původní kompletní úlohu včetně teorie a úkolů je na adrese <https://www.physics.ujep.cz/cs/matematicke-kyvadlo/>.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Přírodovědecké fakultě na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

K tomuto našemu vzdálenému experimentu si dovolíme doplnit vzdálené experimenty se vzdálenými matematickými kyvadly z jiného projektu World Pendulum Alliance – WPA

(Santos, Fernandes et al., 2019), World Pendulum Alliance (WPA), WP@ELAB, protože nám to dává nové doplnění našeho vzdáleného experimentu.

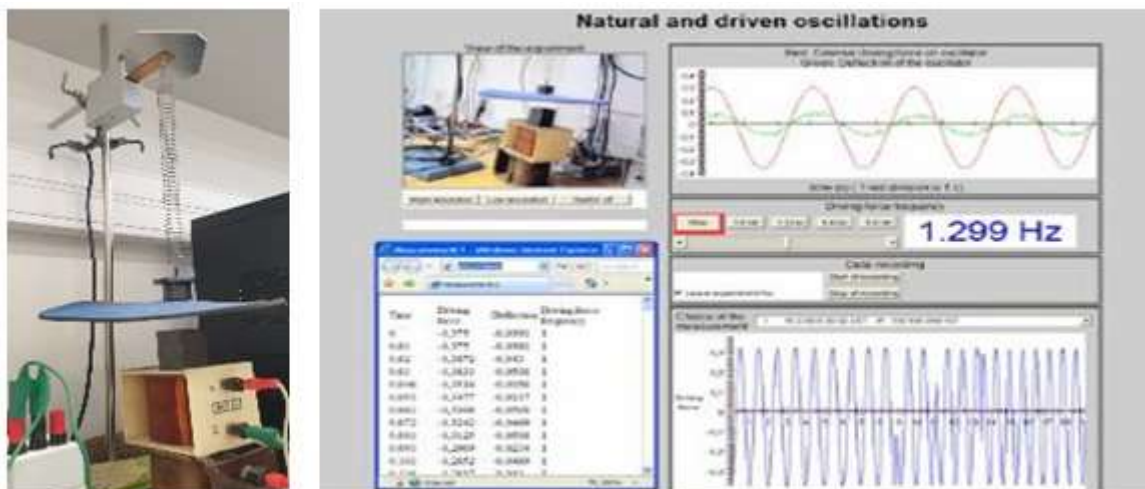
Sít vzdálených matematických kyvadel je umístěna na různých zeměpisných šířkách (pozn.: kde je různé tíhové zrychlení g) na 20 evropských a hlavně jihoamerických technických univerzitách.

Odkaz na projekt je na adrese <http://wpa.tecnico.ulisboa.pt/~wpa.daemon/pendulum-network-2>, Odkaz na síť světových vzdálených kyvadel je na adrese <https://elab.vps.tecnico.ulisboa.pt:8000/login?next=/apparatuses>.

Pozn.: Tato světová matematická kyvadla jsou unikátní, ale trochu pozor – dost často nejsou dostupná. A když jsou dostupná, tak nejsou úplně „user friendly“, uživatelsky přívětivá, (na rozdíl od našeho vzdáleného kyvadla), takže se zkuste obrnit trochu trpělivostí.

Vzdálený experiment Vlastní a vynucené kmity na pružině

Se vzdálenou laboratorní úlohou Kmity na pružině lze studovat kmity. Pružinu rozkmitáme budící elektromagnetickou silou zvolené frekvence (1 až 1,8 Hz), poté elektromagnetickou sílu vypneme a studujeme vlastní tlumené kmity. Nebo studujeme vynucené kmity v okolí rezonanční frekvence pružiny (pozn.: rezonanční frekvence je cca 1,6 Hz). Při různých frekvencích budící elektromagnetické síly můžeme sledovat amplitudové závislosti, fázové poměry, přenos energie aj.



Obr. 3. Vzdálený experiment Vlastní a vynucené kmity na pružině.

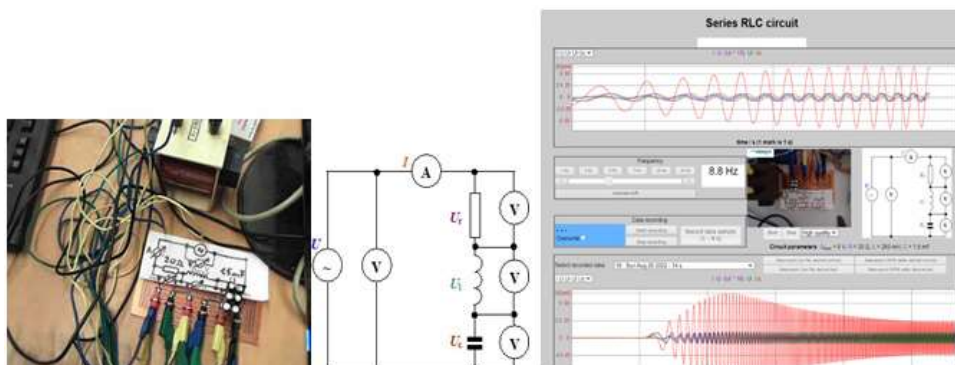
Přímý odkaz na vzdálený experiment Vlastní a vynucené kmity na pružině je na adrese <http://ises3.prf.ujep.cz>.

Tento experiment má i teorii včetně úkolů. Odkaz na původní kompletní úlohu včetně teorie a úkolů je na adrese

<https://www.ises.info/index.php/cs/laboratory/experiment/natural-and-driven-oscillations>
Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Přírodovědecké fakultě na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

Vzdálený experiment Sériový obvod RLC

Experiment umožňuje sledovat časový průběh napětí a proudu na jednotlivých prvcích sériového RLC obvodu, zejména změnu amplitudy, fázové posuvy mezi napětími a proudem na R, L, C. Sériový obvod se budí proměnnou sinusovou frekvencí 0 Hz až 25Hz.



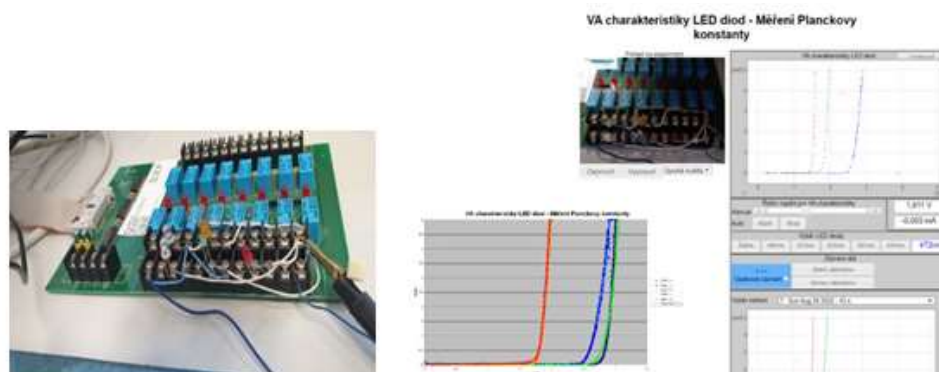
Obr. 4. Vzdálený experiment Sériový RLC obvod.

Přímý odkaz na vzdálený experiment Sériový RLC obvod je na adrese <http://ises2.prf.ujep.cz>. Tento experiment má i teorii včetně úkolů (pouze v angličtině). Odkaz na původní kompletní úlohu včetně teorie a úkolů je na adrese <https://www.ises.info/index.php/cs/laboratory/experiment/series-rlc>.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Přírodovědecké fakultě na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

Vzdálený experiment Voltampérové charakteristiky LED diod – Měření Planckovy konstanty

Vzdálená laboratorní úloha umožňuje proměřit voltampérovou charakteristiku 6 různých barevných LED diod a taktéž určit hodnotu Planckovy konstanty.



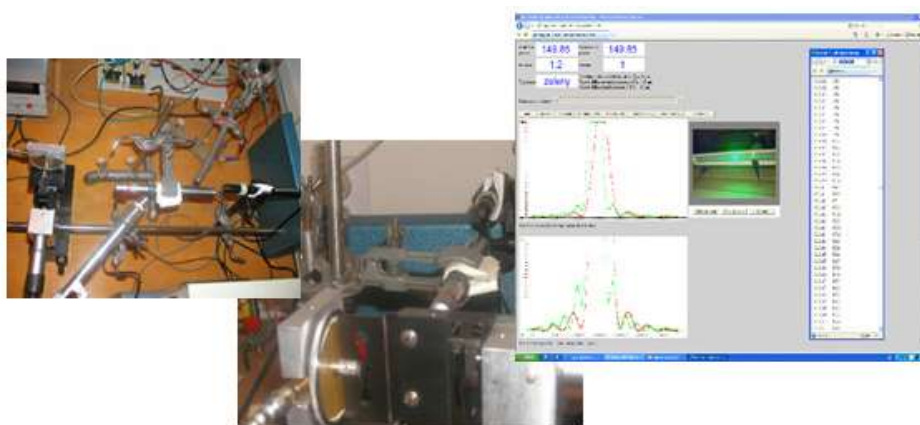
Obr. 5. Vzdálená úloha Voltampérové charakteristiky LED diod – Měření Planckovy konstanty.

Přímý odkaz na vzdálený experiment Voltampérové charakteristiky LED diod – Měření Planckovy konstanty je na adrese <http://ises1.prf.ujep.cz>. Tento experiment má nově i teorii včetně úkolů aj. Je na novém rozcestníku na adrese <https://eedu.eu/vfl/cs/experiment.php?id=1&kap=teorie>.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Přírodovědecké fakultě na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, teorie, úkoly a popis ovládání je na rozcestníku eEdu.eu na MFF-UK Praha (pozn.: toto propojení dvou serverů uživatel ani nemusí vědět; ukázka, jak mohou být vzdálené laboratoře globálně propojené).

Vzdálený experiment Ohyb světla na štěrbině

Fraunhoferův ohybový jev měřený při dvou vlnových délkách (červený a zelený laser) a při dvou velikostech šířky štěrbin. Zaznamenává se ohybový obrazec okolo hlavního maxima. Cílem je změřit šířku malé a velké štěrbin. Měla by být stejná při proměrování červeným i zeleným laserem. Úloha má nově možnost nastavení citlivosti světelné intenzity, takže je možné naměřit velikost hlavního maxima a při zvětšené citlivosti je možné podrobně proměřit i malá postranní maxima, přičemž známe i poměr velikosti hlavního maxima i nižších postranních maxim intenzity, což je důležité pro teoretické fitování.



Obr. 6. Vzdálený experiment Ohyb světla na štěrbině.

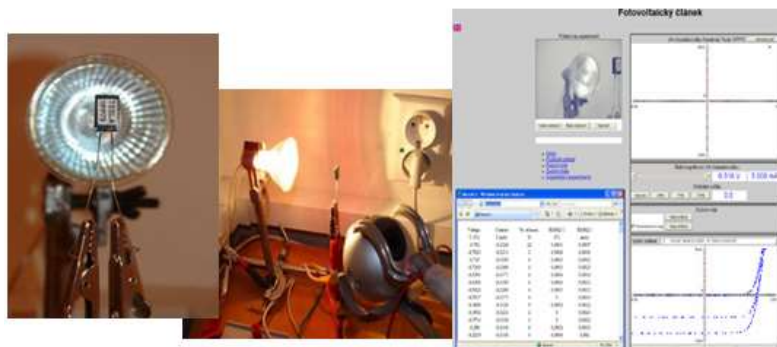
Přímý odkaz na vzdálený experiment Ohyb světla na štěrbině je na adrese http://kdt-20.karlov.mff.cuni.cz/sterbina_js.html. Původní teoretický text a úkoly jsou na adrese <https://www.ises.info/index.php/cs/laboratory/experiment/diffraction-on-microobjects>.

Vřele doporučujeme nové zpracování tohoto vzdáleného experimentu nově nazvaného Studium ohybových jevů v laserovém svazku, včetně teorie a úkolů a pokynů je na adrese <https://eedu.eu/vfl/cs/experiment.php?id=2&kap=teorie>.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Matematicko-fyzikální fakultě na UK v Praze.

Vzdálený experiment Fotovoltaika a sluneční články

Měří se voltampérové charakteristiky fotovoltaického článku (fotodiody) při různých intenzitách osvětlení. Pokročilí experimentátoři mohou z naměřených dat stanovit účinnost převodu solární energie na elektrickou, faktor plnění článku, maximální elektrický výkon fotovoltaického článku, aj.



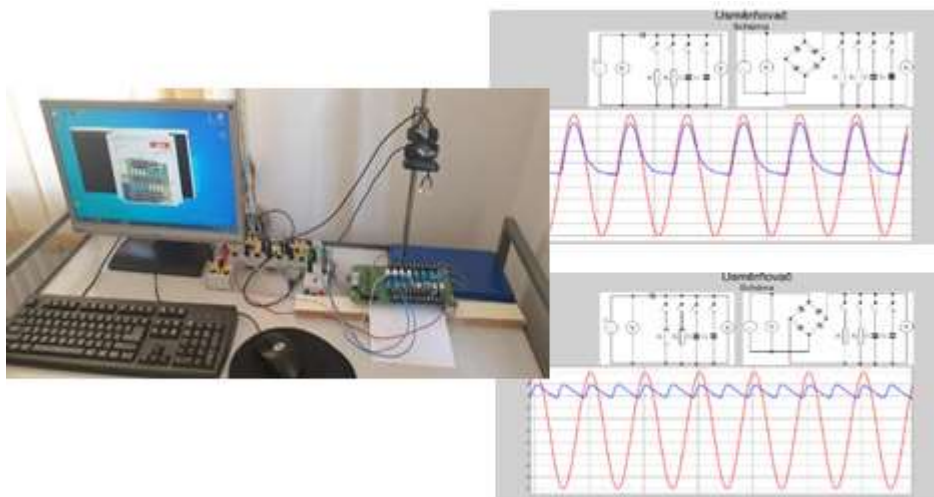
Obr. 7. Vzdálený experiment Fotovoltaika a sluneční články.

Přímý odkaz na vzdálený experiment Fotovoltaika a sluneční články je na adrese <http://kdt-4.karlov.mff.cuni.cz/>. Vřele doporučujeme nové zpracování tohoto vzdáleného experimentu nově nazvaného Fotovoltaika a sluneční články, včetně teorie a úkolů a pokynů je na adrese <https://eedu.eu/vfl/cs/experiment.php?id=3&kap=teorie>.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Matematicko-fyzikální fakultě na UK v Praze.

Vzdálený experiment Usměrňovače napětí

Experiment umožňuje sledovat průběh jednocestně a dvoucestně usměrněného napětí v závislosti na odporu zátěže, na kapacitě filtračního kondenzátoru a na frekvenci usměrňovaného napětí. Ve všech třech případech se proměřuje zvlnění usměrněného napětí.



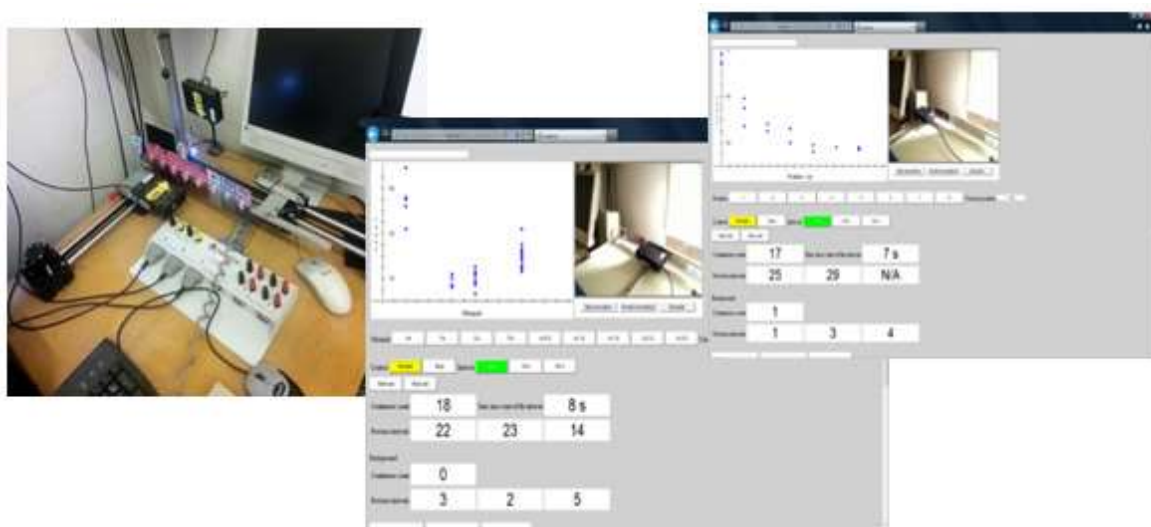
Obr. 8. Vzdálená úloha Usměrňovače napětí.

Přímý odkaz na vzdálený experiment Usměrňovače napětí je na adrese <http://kdt-38.karlov.mff.cuni.cz/>. Vřele doporučujeme nové zpracování tohoto vzdáleného experimentu Usměrňovače napětí včetně teorie a úkolů a pokynů je na adrese <https://eedu.eu/vfl/cs/experiment.php?id=1&kap=teorie>.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Matematicko-fyzikální fakultě na UK v Praze.

Vzdálený experiment Radioaktivita, studium radioaktivity a základní způsoby ochrany před ionizujícím zářením

Soubor tří úloh – ochrana vzdáleností před radioaktivním zářením, ochrana stínícím materiálem před radioaktivním zářením a studium radiačního pozadí. Vzdálený experiment se skládá ze školního zdroje záření gama o energii 60 keV (^{241}Am , 300 kBq; záření alfa je odstíněno) a ze dvou Geigerových-Müllerových čítačů. Jeden monitoruje přírodní radioaktivní pozadí, druhý je připevněn k XY polohovacímu zařízení, které uživateli umožňuje měnit jednak vzdálenost od zářiče, jednak měnit různé stínící materiály (hliník, železo, olovo – tloušťky 1,0 mm; vzduch) a též měnit různé toušky stínících materiálů (0–2,5 mm po 0,5 mm, měď). V návodu je popsáno, jak ověřit Poissonovo rozdělení četností přirozeného radiačního záření.



Obr. 9. Vzdálený experiment

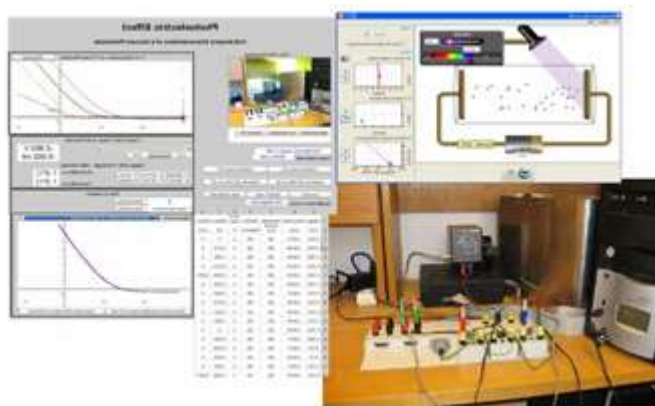
Radioaktivita, studium radioaktivity a základní způsoby ochrany před ionizujícím zářením.

Přímý odkaz na experiment se právě nyní mění. Úloha bude nově umístěna na ČVUT. Opět plně funkční bude ke konci roku 2025. Původní odkaz je na adrese <https://www.ises.info/index.php/cs/laboratory/experiment/radioactivity>.

Je zde teorie, úkoly aj., ale zatím není funkční internetový odkaz na vzdálený experiment.

Vzdálený experiment Vnější fotoelektrický jev

Vzdálená úloha na vnější fotoefekt využívá vakuovou fotonku Phywe, zesilovač fotoproudu (resp. elektrického náboje) s vysokou vstupní impedancí, otočný karusel s pěti interferenčními filtry pro výběr vlnové délky a rtuťovou výbojku. Fotokatodu lze navíc osvětlit IR světlem 940 nm z infračervené LED a ověřit prahovou povahu vnějšího fotoefektu. Uživatel si může vybrat ze dvou standardních metod: a) jednodušší nabíjení kondenzátoru na brzdné napětí, b) studium V-A charakteristik vakuové fotonky.



Obr. 10. Vzdálený experiment Vnější fotoelektrický jev.

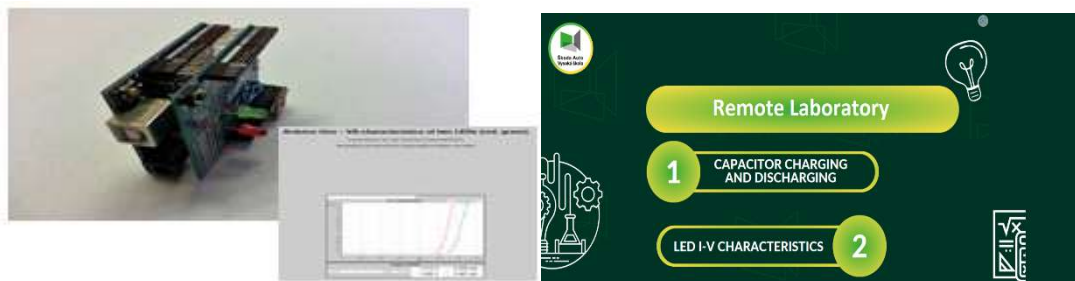
Odkaz na kompletní vzdálenou úlohu včetně teorie, úkolů a pokynů k provádění:

- metoda a) Nabíjení kondenzátoru na brzdné napětí je na adrese http://kdt-29.karlov.mff.cuni.cz/index_c_cz_js.html.
- metoda b) Studium volt-ampérových charakteristik vakuové fotonky je na adrese http://kdt-29.karlov.mff.cuni.cz/index_VA_cz_js.html.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Matematicko-fyzikální fakultě na UK v Praze.

Vzdálené experimenty Nabíjení a vybíjení kondenzátoru a Voltampérová charakteristika LED zkonstruované na Arduinu

Ukázky, že se vzdálené experimenty dají postavit i na jednoduchém hardware s Arduinem.



Obr. 11. Vzdálené experimenty postavené na Arduinu

Přímý odkaz na Vzdálené experimenty s Arduinem je na adrese <http://remotelab.savs.cz>.

Vzdálená úloha je fyzicky umístěna na Škoda Auto Vysoká škola, Mladá Boleslav.

Závěr

Tento příspěvek si neklade za cíl být vědecký článek. Cílem je pouhý strohý přehled všech našich vzdálených experimentů s aktivními odkazy, na které stačí kliknout, a experiment máte okamžitě nachystaný ke spuštění. Pozn.: v příspěvku je přes 30 aktivních odkazů!

Všechny uvedené dílčí internetové odkazy jsou na našich třech důležitých rozcestnících:

- <https://eedu.eu> na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze
- <https://www.physics.ujep.cz/cs/vzdalene-experimenty/> na Přírodovědecké fakultě Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem
- a úplně vše je na našem tradičním rozcestníku <https://www.ises.info>

Poděkování

Za vývoj, realizaci, údržbu, provozování vzdálených experimentů aj. patří poděkování celému kolektivu autorů:

František Lustig, Jiří Dvořák, František Schauer, Miroslava Ožvoldová, Pavel Brom, Pavel, Kuriščák, Pavel Novotný, Eva Hejnová, Petr Gabriel, Helena Valentová, Hana Kudrnová aj. a další nejmenovaní mechanici, technici aj.

Literatura

- [1] Lustig, F., Brom, P., Kuriščák, P.: [*Professional and Hobby Hands-on-Remote Experiments*](#), AIP Conference Proceedings, vol. 2152, 9–12 October 2019, Terchová, Slovakia, ISBN 978-0-7354-1897-4, ISSN 0094-243X, pp. 030020-1–030020-7.
- [2] Brom, P., Lustig, F., Kuriščák, P., Dvořák, J.: [*DIY "Hands-on-remote" experiment in physics with Arduino*](#), Proceedings of the 15th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2018), 21.-23. 3. 2018, University of Applied Science Düsseldorf (HSD), Germany, 2018, str. 617-624.
- [3] Lustig, F., Dvorak, J., Kuriscak, P., Brom, P.: [*Open modular hardware and software kit for creations of remote experiments accessible from PC and mobile devices*](#), in iJOE International Journal of Online Engineering, Volume 12, Issue 7, pp. 30 - 36, ISSN 1868-1646, 2016.
- [4] Lustig, F., Brom, P., Hejnová, E.: [*Remote physics experiment Mathematical pendulum as an attractive alternative to traditional laboratory exercises*](#), Online. Journal of Physics: Conference Series. 2024, roč. 2715, č. 1. ISSN 1742-6588.
- [5] Seznam všech publikací ohledně ISES, Arduina a vzdálených experimentů je dostupný na <https://www.ises.info/index.php/en/publications>