

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální fyziky

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Motivační videoexperimenty ve výuce fyziky mikrosvětla



Autor:	<b>Anna Kufová</b>
Studijní program:	N1701 Fyzika
Studijní obor:	7504T055 Učitelství fyziky pro střední školy 7504T089 Učitelství matematiky pro střední školy 7504T000 Společný základ učitelských oborů
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
Termín odevzdání:	Květen 2021

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Lukáše Richterka, Ph.D. a že jsem použila pramenů, které cituji v seznamu použitých zdrojů a literatury.

V Olomouci dne 15. května 2021

.....  
Anna Kufová

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat Mgr. Lukáši Richterkovi, Ph.D. jakožto vedoucímu diplomové práce. Děkuji mu za množství času, které investoval do natáčení experimentů, cenné rady a vstřícnost. Dovolím si na tomto místě zmínit i další osoby, jež mi laskavě poskytly vybavení, laboratoře nebo svůj čas. Mé poděkování si zaslouží Bc. Filippos Georgiadis; Ing. Jan Potočiar; Mgr. Jirí Kvita, Ph.D.; Mgr. Pavla Šretrová; Mgr. Radek Čelechovský, Ph.D. a Mgr. Václav Pazdera. Děkuji všem středoškolským vyučujícím fyziky nebo chemie, kteří mi ve svých třídách umožnili realizovat dotazníkové šetření. Velký dík patří také mé rodině za podporu jak při natáčení, tak při psaní diplomové práce.

## Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Anna Kufová
Název práce	Motivační videoexperimenty ve výuce fyziky mikrosvěta
Typ práce	Diplomová
Pracoviště	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2021
Abstrakt	<p>Tato práce se zabývá tvorbou a popisem videoexperimentů z fyziky mikrosvěta, jež mohou sloužit jako motivace či ilustrace probíraného učiva na středních školách. Videá jsou navržena tak, aby tvořila doplněk k učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia, alternativně je lze využít i na jiných typech škol, v hodinách chemie, přírodovědných kroužcích nebo k popularizaci vědy. Výstupem práce je celkem 10 videí o průměrné délce 10 minut. Hlavní složkou videí jsou experimenty s detektory ionizujícího záření, katodovými trubicemi, luminiscenčními materiály a jiným vybavením. Videá dále obsahují stručný výklad, vysvětlení pozorovaných jevů, animace znázorňující fyzikální jevy na atomární úrovni a příklady konkrétních aplikací v lékařství či průmyslu. Součástí práce je hodnocení videí realizované na základě dotazníkového šetření, kterého se zúčastnila více než stovka žáků středních škol, a dále statistik ze serveru YouTube, kde videá byla publikována.</p>
Klíčová slova	fyzika mikrosvěta, atomová a jaderná fyzika, částicová fyzika, motivace studentů ve výuce fyziky, experimenty z moderní fyziky, videoexperimenty, animace ve fyzice, tvorba výukových videí
Počet stran	72
Přílohy	10 × scénář
Jazyk	Český

## Bibliographical identification

Autor's name and surname	Anna Kuřová
Title	Motivation video experiments in the teaching of microworld physics
Type of thesis	Master
Department	Department of Experimental Physics
Supervisor	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
The year of presentation	2021
Abstract	<p>The subject of this thesis is a creation and a description of video experiments in the microworld physics, which can be used as a motivation for secondary students or as an illustration of a school physics curriculum. The videos are designed to supplement a textbook of microworld physics for grammar schools, or alternatively, they can be used in other educational institutions, chemistry classes, science clubs or to popularize science. The output of the thesis is 10 videos of an average length of 10 minutes. The main components of the videos are experiments with ionizing radiation detectors, cathode ray tubes, luminescent materials and other equipment. Furthermore, the videos contain a brief commentary and an explanation of observed phenomena, animations illustrating physical phenomena on the atomic level and some examples of concrete applications in medicine or industry. Another component of the thesis is an evaluation of the videos which was based on a questionnaire survey answered by more than one hundred students at secondary schools, on top of that it contains statistics from YouTube where the videos were published.</p>
Keywords	microworld physics, atomic and nuclear physics, particle physics, motivation of students in physics, experiments in modern physics, video experiments, animations in physics, creation of educational videos
Number of pages	72
Appendices	10 × screenplay
Language	Czech

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Rešerše.....</b>	<b>10</b>
1.1 Experimenty z fyziky mikrosvěta v českých videích.....	10
1.2 Experimenty z fyziky mikrosvěta v zahraničních videích .....	13
<b>2 Vybavení k experimentům .....</b>	<b>15</b>
2.1 Měřicí přístroje.....	15
2.1.1 Digitální částicová kamera.....	15
2.1.2 Detektor radiace .....	17
2.1.3 Dozimetr.....	19
2.1.4 Ionizační komora.....	19
2.1.5 Další měřicí přístroje.....	20
2.2 Vzorčky radionuklidů .....	21
2.2.1 Americium 241.....	21
2.2.2 Stroncium 90 .....	23
2.2.3 Krypton 85 .....	23
2.2.4 Kobalt 60.....	24
2.2.5 Metastabilní baryum 137.....	24
2.2.6 Běžně dostupné zářiče.....	25
2.3 Zdroje UV záření a viditelného světla .....	28
2.3.1 Horské slunce .....	28
2.3.2 UV svítilna .....	29
2.3.3 Lasery.....	29
2.3.4 Ostatní zdroje viditelného světla.....	30
2.4 Další zařízení a pomůcky k experimentům .....	30
2.4.1 Katodové trubice .....	30
2.4.2 Zdroje elektrického napětí a elektronické součástky .....	31
2.4.3 Jednoduché pomůcky .....	32
<b>3 Tvorba videoexperimentů .....</b>	<b>33</b>
3.1 Předprodukce .....	33
3.1.1 Rešeršní činnost a základní koncepce videí .....	33
3.1.2 Prohlídka laboratoří a studium .....	34
3.1.3 Tvorba scénářů.....	34
3.2 Produkce.....	35
3.2.1 Zajištění interiéru .....	35
3.2.2 Kamera .....	36

3.2.3 Zvuk .....	37
3.3 Postprodukce .....	37
3.3.1 Identifikace a kontrola natočených záběrů.....	38
3.3.2 Tvorba grafiky a animací .....	38
3.3.3 Volná díla a autorství .....	39
3.3.4 Mluvený komentář a dabing.....	40
3.3.5 Střih.....	40
3.3.6 Závěrečná kontrola.....	40
3.3.7 Publikace a distribuce .....	41
<b>4 Popis videoexperimentů.....</b>	<b>42</b>
4.1 Co je fotoelektrický jev? .....	42
4.2 Elektron – částice nebo vlna?.....	43
4.3 Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo.....	44
4.4 Radioaktivita: alfa záření .....	45
4.5 Radioaktivita: beta záření.....	47
4.6 Radioaktivita: zdroje gama záření.....	48
4.7 Ochrana před gama zářením.....	49
4.8 Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice .....	50
4.9 Měření radiace s dozimetrem .....	51
4.10 Standardní model částic a detekce mionů .....	52
<b>5 Hodnocení videoexperimentů.....</b>	<b>54</b>
5.1 Dotazníkové šetření.....	54
5.1.1 Respondenti.....	54
5.1.2 Dotazník .....	55
5.1.3 Výsledky .....	57
5.2 YouTube analýzy .....	63
5.2.1 Motivační videoexperimenty z mechaniky a akustiky .....	63
5.2.2 Motivační videoexperimenty z fyziky mikrosvěta.....	68
<b>Diskuze .....</b>	<b>71</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>74</b>
<b>Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>75</b>
<b>Seznam autorských děl použitých ve videích.....</b>	<b>78</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>80</b>

# Úvod

Experimenty mají zásadní postavení nejen ve vědeckém výzkumu, ale také ve výuce přírodních věd. Jak demonstrační, tak žákovské experimenty jsou nezbytnou součástí hodin fyziky a slouží k navozování problémových situací, ověřování probraného učiva, ale i motivaci žáků.

S příchodem března roku 2020 se výuka přesunula na monitory počítačů. Informační a komunikační technologie se staly ze dne na den primárním nástrojem ke vzdělávání žáků základních i středních škol. Skloubit distanční výuku fyziky s demonstračními experimenty je poměrně komplikovanou záležitostí. Hodinová dotace fyziky je omezená a část výuky je realizována ve formě samostudia. Online hodiny slouží primárně pro rychlý výklad nebo konzultace, kdežto na experimenty už moc času nezbyvá. Některé pokusy z mechaniky nebo molekulové fyziky a termiky mohou žáci realizovat v domácích podmínkách. Nemalá část experimentů z elektřiny a magnetismu, optiky a fyziky mikrosvěta však vyžaduje vybavení, které není běžnou součástí domácnosti a někdy dokonce ani středoškolské laboratoře. V takových situacích je nejpříjemnějším řešením poskytnout žákům webové odkazy na vybrané videoexperimenty.

Videoexperimenty, dříve užitečné spíše pro zpestření prezenčních hodin fyziky nebo chemie, se rázem staly běžným doplňkem distanční výuky. Svědčí o tom nejen prudký nárůst sledovanosti videí, jež jsem publikovala v rámci bakalářské práce na serveru YouTube, ale také vznik portálu ČT edu a jeho prokazatelná úspěšnost. Při volbě tématu diplomové práce jsem ale ještě neměla tušení, co rok 2020 přinese. Zprvu jsem se rozhodla navázat na svou bakalářskou práci *Motivační videoexperimenty z mechaniky a akustiky*. Mimo cenné zkušenosti s natáčením a střihem mi tato práce přinesla jedno zajímavé zjištění. Když jsem před lety pracovala na rešerši k bakalářské práci, docela mě překvapilo, jak moc je ve věcech videoexperimentů a výukových videí opomíjena fyzika mikrosvěta. Většina českých sbírek videoexperimentů končila u elektřiny a magnetismu nebo optiky, přičemž sekci pro fyziku mikrosvěta buď vůbec neobsahovala, nebo jí věnovala jen velmi omezenou pozornost. Přitom se jedná o sekci, která může být užitečná a potřebná, vždyť detektory ionizujícího záření, vzorky radionuklidů a katodové trubice nejsou levnou záležitostí, v důsledku čehož si je celá řada škol nemůže dovolit. Pokusy z fyziky mikrosvěta, vhodné modely a animace jsou mocným prostředkem k lepšímu pochopení dějů ze světa atomů a molekul, které nelze pozorovat přímo. To mě přivedlo k volbě uvedeného tématu diplomové práce.

Cílem této práce bylo navrhnout, natočit a zpracovat několik experimentů, jež by mohly být doplňkem k učebnici fyziky pro gymnázia věnované fyzice mikrosvěta, a to buď jako motivace nebo ilustrace probíraného učiva. Součástí videí by mělo být stručné vysvětlení pozorovaných dějů pomocí vhodných modelů, které odpovídají této abstraktní a obtížné problematice. Dále bylo stanoveno, že aspoň některá z vytvořených videí musí být evaluována při práci s žáky.

Text diplomové práce je členěn do pěti kapitol. Obsahem první kapitoly je rešerše videoexperimentů z fyziky mikrosvěta, a to z hlediska české i zahraniční tvorby. Druhá kapitola je věnována popisu vybavení, které jsem využívala při vlastních experimentech. Je zde nastíněn princip různých detektorů ionizujícího záření a charakter přeměn zkoumaných radionuklidů. Dále je popsána základní konstrukce katodových trubice, připomenuty jsou i bezpečnostní zásady pro práci se zdroji ionizujícího záření. Třetí kapitola popisuje samotný proces tvorby videí a je rozdělena v souladu s tradiční filmovou tvorbou na předprodukci, produkci a postprodukci. Čtvrtá kapitola je věnována popisu deseti videí, jež byla vytvořena v rámci této práce, a možnostem jejich využití



ve výuce fyziky či chemie. Poslední kapitola pojednává o hodnocení videí provedeného na základě dotazníkového šetření, kterého se zúčastnilo téměř 130 žáků středních škol, a dále statistik ze serveru YouTube. Ve formě příloh jsou vedeny scénáře k jednotlivým videím.

Podrobnější informace o motivaci a jejích pedagogicko-psychologických aspektech, různých druzích motivačních technik a fyzikálních experimentech poskytuje práce *Motivační videoexperimenty z mechaniky a akustiky*. V rámci diplomové práce se těmito tématy již nebudu zabývat a případné zájemce odkazuji na svou bakalářskou práci.

Věřím, že publikované videoexperimenty budou oporou pro učitele fyziky nejen v těžkých časech distanční výuky, ale také v době, kdy jimi budou zpestřovat běžnou prezenční výuku a napomohou tak žákům k hlubšímu pochopení fyziky mikrosvěta.

# 1 Rešerše

Oldřich Lepil a Emanuel Svoboda, autoři **Příručky pro učitele fyziky na střední škole** [1], uvádějí: *Pro výklad fyziky mikrosvětla je charakteristické, že poznatky o jednotlivých objektech a dějích mikrosvětla jsou nedostupné přímému pozorování a jejich pochopení vyžaduje značný stupeň abstrakce a využívá modelových představ. Tím spíše je nutné, aby výklad vycházel z experimentů, které ovšem často nelze ve výuce realizovat např. jako demonstrační experiment. Avšak historie těchto experimentů a jejich popis, popř. modely či animace jsou didakticky velmi cenné. Takovými základními pokusy v tomto učivu jsou např. experimenty ověřující fotoelektrický jev, Comptonův jev, pokus Davissona a Germera dokazující difrakci elektronu a demonstrace spektra atomu vodíku.* V souvislosti s tématem této diplomové práce se nabízí otázka, jaké videoexperimenty z fyziky mikrosvětla mají učitelé základních a středních škol vůbec k dispozici.

V rámci této kapitoly se zaměřím na rešerši českých a zahraničních výukových videí, jež obsahují experimenty z fyziky mikrosvětla. Vytvoření stručného přehledu ale není jedinou motivací k rešeršní činnosti. Tak jak se režisér učí z úspěchů či propadů klíčových děl ve filmovém umění, tak jsem se mohla i já na základě analýz dostupných videí, reakcí diváků či vlastních dojmů postupně dopracovat ke konkrétní představě o stylu a struktuře vlastních videí.

## 1.1 Experimenty z fyziky mikrosvětla v českých videích

Obsahem českých sbírek videoexperimentů jsem se zabývala již v rámci bakalářské práce. Přestože měly řadu kvalit v podobě výběru originálních pokusů nebo uživatelsky přívětivých webových stránek, jsem na nich shledala jeden nedostatek. Většina sbírek vůbec neobsahovala sekci pro pokusy z fyziky mikrosvětla, popř. jim věnovala jen velmi omezenou pozornost. Příkladem budiž **Sbírka fyzikálních pokusů** [2] pod správnou **Katedry didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze**. Tato sbírka je k dubnu roku 2021 rozdělena na sekce *Mechanika, Mechanické kmitání a vlnění, Termodynamika a molekulová fyzika, Elektřina a magnetismus* a *Optika*. Ačkoli se jedná o poměrně rozsáhlou sbírku fyzikálních pokusů s podrobným popisem doplněným o obrázky i videa, podařilo se mi v ní dohledat pouze jeden pokus, který je využitelný pro výuku fyziky mikrosvětla. Konkrétně se jedná o pokus *Čárové spektrum výbojek* zařazený v sekci *Optika*, viz [3]. Na MFF UK vznikla ještě jedna sbírka videoexperimentů, jež byla roku 2005 publikována na FyzWebu, viz [4]. Jejimi autory jsou **Jana Kocourová** a **Jakub Jermář**, kteří experimenty natáčeli v rámci svých diplomových prací. Videá mají délku v řádu desítek sekund a jsou doplněna krátkým textovým komentářem. Největší pozornost je věnována pokusům z elektřiny a magnetismu, část se zaměřuje i na mechaniku a termiku. Ačkoli sbírka obsahuje kolem padesáti pokusů, v hodinách fyziky mikrosvětla považují za využitelné jen pokusy s katodovou trubicí v sekci *Elektrický proud v plynech a ve vakuu*.

Co mohou nabídnout další české univerzity? Z tvorby **Přírodovědecké fakulty Masarykovy Univerzity v Brně** stojí za zmínku cyklus populárně-naučných videí **Badatelna**, viz [5]. Ve videích účinkují absolventi PřF MU, a to **Bára Mikulecká** a **Vojtěch Hanák**, kteří stojí také u zrodu Úžasného divadla fyziky (ÚDiF), podrobněji viz [6]. K dubnu roku 2021 vydala Badatelna celkem 37 videí, která jsou ve věci obrazu a zvuku na profesionální úrovni, přičemž v sobě kombinují efektní pokusy, kvalitní výklad i humor. V souvislosti s fyzikou mikrosvětla vydala Badatelna pouze jedno video, které nese název *Jak vznikají fotony a na co je potřebujeme?* [7].

Z tvorby, jež vznikala na **Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci**, stojí za zmínku videoexperimenty od Františka Látala a Jana Pokorného. **František Látal** publikoval na internetovém serveru YouTube k dubnu roku 2021 celkem 42 videoexperimentů. Videá neobsahují mluvený komentář, ale pouze velmi krátký popis pod videm a jejich délka nepřesahuje dvě minuty. Většina pokusů je z mechaniky nebo termiky. K výuce fyziky mikrosvěta by se dalo použít jediné video zachycující experiment s katodovou trubicí [8]. O fyzikální podstatě luminiscence a pokusech zaměřených na některé její druhy pojednává diplomová práce *Luminiscence ve středoškolské laboratoři* od **Jana Pokorného** [9]. Součástí práce je sbírka veřejně dostupných videoexperimentů, viz [10]. Videá mají velmi dobrou obrazovou kvalitu a délku kolem dvou minut. Neobsahují však žádný komentář a doplňující informace je nutno dohledávat v diplomové práci.

Natáčení fyzikálních experimentů nemusí být pouze doménou univerzit a jejich studentů. V dalších pěti odstavcích bude popsána tvorba některých technicky zaměřených firem a společností, konkrétně Vernier, Nuledo a ČEZ.

**Vernier** je firma poskytující vybavení pro výuku přírodovědných oborů. Na svých webových stránkách publikuje kromě popisu vlastních produktů také návodné videoexperimenty, viz [11]. Ve spolupráci s Gymnáziem Cheb byla zveřejněna **tři videá z jaderné fyziky**, a to *Studium radiace* [12], *Ochrana před radiací* [13] a *Videoanalýza poklesu pивní pěny* [14]. Hlavní náplní videa *Studium radiace* je detekce gama záření ze vzorku metastabilního barya 137, na základě čehož je odvozena exponenciální závislost aktivity na čase. Video *Ochrana před radiací* pojednává o jednom ze základních principů radiační ochrany, a to formou vzdálení od zdroje, což je demonstrováno experimentálně. Ve videu *Videoanalýza poklesu pивní pěny* se narozdíl od předchozích dvou videí nepracuje s žádným zářičem, nýbrž se zkoumá rychlost poklesu pивní pěny spolu s její exponenciální závislostí na čase. To může studentům napomoci k lepšímu pochopení některých zákonitostí z fyziky mikrosvěta. Všechna popsána videá mají délku do tří minut a jsou doplněna mluveným komentářem. Zpracováním dosahují vysoké kvality na úrovni obrazu i zvuku, ale jsou **natočena spíše v duchu instruktáže pro vyučující**. Přístroje, které jsou používány ve videích, nejsou levnou záležitostí, detektor radiace a datalogger jsou investicí v řádu desítek tisíc korun.

Efektivním pokusem z částicové fyziky je **konstrukce mlžné komory**, která umožňuje pozorovat stopy ionizujících částic. Podrobný návod k její výrobě je k dispozici např. na stránkách ESERO, viz [15]. Základní konstrukce mlžné komory není nikterak složitá, problém je ale zajistit její chlazení až na teploty kolem  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Takových teplot lze dosáhnout buď pomocí suchého ledu, který nelze v běžných školních podmínkách dlouhodobě skladovat, nebo zabudováním Peltierova článku, což znamená složitější konstrukci. Na internetu je nespočet videí, která zachycují experimenty s mlžnou komorou. Spoustu vydařených záběrů publikovala **česká firma Nuledo**, která se výrobou mlžných komor přímo zabývá, viz [16]. Videá dosahují velmi dobré obrazové kvality, ale nejsou nijak komentována. Mlžné komory jsou součástí některých informačních center, na vlastní oči si je lze prohlédnout např. v Temelíně nebo Dukovanech. Prohlídku mlžné komory je možné spojit s exkurzí do jaderné elektrárny.

Zřizovatelem zmíněných jaderných elektráren je **Skupina ČEZ**, která mimo jiné spravuje vzdělávací portál **Svět energie**, viz [17]. V sekci *Stahuj zdarma* poskytuje studijní materiály pro veřejnost, za zmínku stojí třeba filmy o jaderných elektrárnách nebo mobilní aplikace se schématy elektráren. Vzhledem k zaměření této práce budou podrobněji popsány dvě výuková videá, jejichž obsahem jsou experimenty se soupravou Gamabeta, viz [18].

**Gamabeta** je didaktická souprava vyvinutá Skupinou ČEZ obsahující základní vybavení pro experimenty z jaderné fyziky. Ve zmíněných videích je podrobněji popsán obsah soupravy, přičemž je provedena detekce přirozeného radiačního pozadí a dále detekce záření ze vzorků radionuklidů. Videe se zabývají principy ochrany před radioaktivním zářením, některé pasáže jsou věnovány také rozptylu záření a konkrétním aplikacím. Obě videa mají délku kolem sedmi minut a **v relativně krátkém čase prezentují spoustu zajímavých námětů na experimenty**. Ačkoli byla vytvořena profesionálně, působí trochu zastaralým dojmem, protože od natáčení uplynulo již více než dvacet let. Videe jsou **natočena spíše v duchu instruktáže**, některé pokusy nejsou dotaženy do konce a divák se musí spolehnout spíše na mluvený komentář než fakta, která by přímo vyplynula z měření. Detektor nevydává žádný zvukový signál, displej je zachycen jen výjimečně a LEDka, která signalizuje detekci záření, je někdy mimo záběr.

ČEZ je taktéž tvůrcem projektu **VÍM PROČ**, prostřednictvím kterého motivuje žáky základních a středních škol k tvorbě výukových videí, viz [19]. Ve videích se žáci většinou zaměřují na pokusy a jejich vysvětlení. Tvorba videí je pojata jako soutěž, přičemž soutěžní videa musí splňovat jistá kritéria a jsou hodnocena odbornou porotou. Na webových stránkách projektu bylo od jeho vzniku publikováno již více než 1 000 videí. Délka videí je do pěti minut a kvalita různá, závislá na schopnostech žáků. Videe jsou přehledně tříděna do kategorií, mezi nimiž je zastoupena i kategorie *Jaderná a subjaderná fyzika*. Ta obsahuje k dubnu roku 2021 celkem sedm videí, jež jsou na věk žáků celkem povedená. Žáci se ve videích věnují měření se soupravou Gamabeta, staví mlžnou komoru, vytváří modely atomové bomby či štěpení atomu, zabývají se otázkou bezpečnosti ionizujícího záření. Dovedu si představit konkrétní využití videí i v běžné výuce, a to např. jako ukázkou očekávaného výstupu třídního projektu.

Poslední část rešerše české tvorby bude věnována relativně novému **webovému portálu ČT edu**, viz [20]. Jedná se o portál České televize, jehož cílem je nabídnout učitelům, žákům i jejich rodičům krátká videa pro doplnění výuky. Byl spuštěn 1. dubna 2020, tj. v době nouzového stavu, kdy na většině českých škol probíhala distanční výuka [21]. ČT zvolila dobré načasování i taktiku, v důsledku čehož se portál stal v prvních měsících nouzového stavu **intenzivně využívaným nástrojem pro výuku na dálku**. Portál obsahuje několik tisíc videí z více než dvaceti předmětů, a to od předškolního až po středoškolské vzdělávání. Nepřináší novou tvorbu, ale pouze výňatky z již existujících pořadů ČT, které byly podle informací na webových stránkách ČT edu vyselektovány a probovanými pedagogy.

Velkou výhodou webového portálu ČT edu je **velmi přehledné řazení**. Videe lze filtrovat podle předmětů, témat i stupně vzdělávání. V kategorii *Fyzika* je vedeno téma *Fyzika mikrosvěta*, které obsahuje k dubnu roku 2021 celkem 43 videí. Jsou to úryvky z televizních pořadů PORT, Hyde Park Civilizace, Planeta Věda, Lovci záhad, U6 – Úžasný svět techniky nebo Já budu Einsteinem. Většina videí obsahuje stručný výklad, rozhovory, animace nebo komentované prohlídky. Svým obsahem se videa často zaměřují na jaderné štěpení, fúzi a historické souvislosti nebo poskytují prohlídky jaderných elektráren, tokamaků, ale i urychlovačů částic v CERNu. Zastoupeny jsou také rozhovory s nositeli Nobelovy ceny nebo nanotechnologie. Experimenty jsou součástí videí z fyziky mikrosvěta spíše ojediněle, lze je hledat mezi úryvky z pořadů PORT nebo Lovci záhad, kde účinkuje **Michael Londesborough**, veřejně známý popularizátor přírodních věd. Videe na portálu ČT edu jsou kvalitní po stránce zvuku i obrazu a jejich délka je různá, od jednotek po desítky minut. Protože se jedná o úryvky z populárně-naučných pořadů, odpovídá tomu jejich koncepce. Videe mají **motivační charakter, ale nejdou do hloubky**. Při vysvětlování fyzikálních jevů se většinou neodkazují na konkrétní znění fyzikálních zákonů, některá vysvětlení jsou až příliš zjednodušená a matematika je

pro ně cizí. Řazení videí do jednotlivých kategorií má své mouchy, např. video *Druhy radioaktivního záření* dostupné na [22] spadá k dubnu roku 2021 do kategorie *Elektromagnetické záření*, v kategorii *Fyzika mikrosvěta* ale není. Osobně bych video týkající se radioaktivního záření hledala spíše v druhé kategorii, navíc se z velké části věnuje alfa záření. Dané video stojí za zmínku i proto, že v něm Michael Londesborough provádí **pokus s částicovou kamerou**, jejímž popisu se budu věnovat v druhé kapitole a realizuji s ní i nějaká vlastní měření. Potenciál částicové kamery je v rámci videa *Druhy radioaktivního záření* docela nevyužitý, provádí se zde pouze detekce alfa záření ze vzorku americia.

## 1.2 Experimenty z fyziky mikrosvěta v zahraničních videích

Nabídka zahraničních zdrojů je široká a cílem této práce ji není popsat celou. Proto se omezím na popis britské a americké tvorby, jež mi byla inspirací. S počátky tvorby prvních videoexperimentů jsou spjata jména **Henryho** a **Lawrence Bragga**, kteří jsou jinak známí pro objev rentgenové difrakce. Lawrence vytvořil ve spolupráci s **Royal Institution** cyklus videí **Properties of Matter**, viz [23]. Do fyziky mikrosvěta spadá zejména díl *Atoms and Molecules*, další díly pojednávají o vlastnostech látek, magnetismu nebo světle, řada jevů je ale i v těchto dílech popsána na atomární úrovni. I když se jedná o tvorbu ze šedesátých let minulého století, kterou by dnešní žáci s trochou nadsázky zařadili do pravěku, obsahuje kvalitní výklad, experimenty i názorné modely.

**Institute of Physics (IOP)** je vedle Royal Institution další britskou společností, jež se zabývá rozvojem fyzikálního vzdělávání, výzkumem i jeho aplikacemi. IOP publikoval roku 2019 ve spolupráci s **Nuffield Foundation** sbírku fyzikálních experimentů *Practical Physics*. Ta obsahuje mimo jiné kapitolu *Atoms and nuclei* věnovanou fyzice mikrosvěta, jež je dále rozdělena na deset témat, podrobný soupis viz [24]. Každé téma obsahuje několik námětů na experimenty, přičemž některé z nich jsou doplněny i o videa, která jsou dostupná ve sbírce *Teaching Radioactivity* na YouTube, viz [25]. Sbíрка obsahuje sedmáct videí věnovaných experimentům z fyziky mikrosvěta. Videá jsou vytvořena profesionálně a jejich délka je do dvou minut. Mimo pokusy a jejich vysvětlení obsahují stručný popis použitých měřících přístrojů, krátké animace a rozhovory s odborníkem. Tematicky se zaměřují na popis základních typů detektorů jako Geigerův-Müllerův detektor, jiskrová komora a mlžná komora, dále pak demonstraci vlastností alfa, beta a gama záření, určování poločasu přeměny, ale také vhodné analogie z makrosvěta a bezpečnostní opatření. Mimo popsanou sbírku publikoval IOP i jiná videa z fyziky mikrosvěta. Ani na svých webových stránkách, ani na YouTube kanálu však pro ně nemá přehlednou kategorii, což znesnadňuje jejich vyhledávání. Za zmínku stojí video *Using a gold-leaf electroscope with zinc plate and ultraviolet light* [26], kde je demonstrován fotoelektrický jev, a to pomocí elektroskopu, zinkového plechu a rtuťové výbojky. Ve videu *Using an electron diffraction tube* [27] je podrobně popsána katodová trubice sloužící k demonstraci elektronové difrakce. Obě videa jsou kvalitní po stránce obsahu, obrazu i zvuku. V krátkém čase poskytují všechny podstatné informace o použitém vybavení a fyzikální podstatě pokusů.

Elektronovou difrakcí se ve videu *Electron Diffraction* [28] zabývá také **Anthony Francis Jones z Wrekin College ve Wellingtonu**. Jones je středoškolský učitel a jeho videa jsou z mého pohledu velmi srozumitelná, a to jak po stránce výkladu, tak po stránce zřetelné výslovnosti v angličtině. Videá mají v sobě něco, co profesionální tvorba často postrádá, a to **výrazné osobní zapálení**. Řazení videí od Anthonyho Jonese je na serveru YouTube docela nepřehledné, dovoluji si proto uvést odkazy na některá povedená videa z fyziky mikrosvěta. Ve videu *The Photoelectric Effect* [29] je demonstrován vnější fotoelektrický jev s využitím rtuťové výbojky, video *Fluorescence* [30]

se věnuje fluorescenci buzené UV zářením a demonstruje ji na běžně dostupných předmětech. Do jaderné fyziky spadá video *Radioactive Clock (Radium)* [31] zabývající se detekcí radioaktivního záření z budíku s radiovými ručičkami, detekcí přirozeného radiačního pozadí a stíněním.

Přednášky a komentované pokusy publikuje **Boyd Edwards z Utah State University**. Na fyziku mikrosvěta se zaměřují čtyři videoexperimenty, a to *Photoelectric Effect Demo* [32], *Spectrum Demo: Continuous and Emission* [33], *Radioactivity Demo: Assorted sources* [34] a *Isotope Demo: Potassium* [35]. Videa mají délku do pěti minut a obsahují srozumitelné vysvětlení všech pokusů. Obzvláště bych vyzdvihla *Spectrum Demo: Continuous and Emission*, kde jsou pomocí difrakční mřížky zobrazena spektra různých výbojek. Spektrální čáry jsou dobře viditelné a je zde srozumitelně popsána souvislost mezi spektrem vodíkové výbojky a Balmerovou sérií.

Zmíněná videa jsou jen malým zlomkem toho, co lze najít v hlubinách internetu. Tato videa prošla odbornou kontrolou, protože se na jejich scénáři podíleli vyučující fyziky nebo vědecké instituce. Je však třeba mít na paměti, že **drtivá většina internetového obsahu žádnou odbornou kontrolou neprochází**. Pro běžného konzumenta videí může být obtížné rozpoznat, jakým zdrojům informací může důvěřovat. Budoucí učitel se proto především musí naučit kriticky posuzovat různé zdroje informací, protože jedině tak dokáže své studenty přeměřovat na kvalitní obsah.

## 2 Vybavení k experimentům

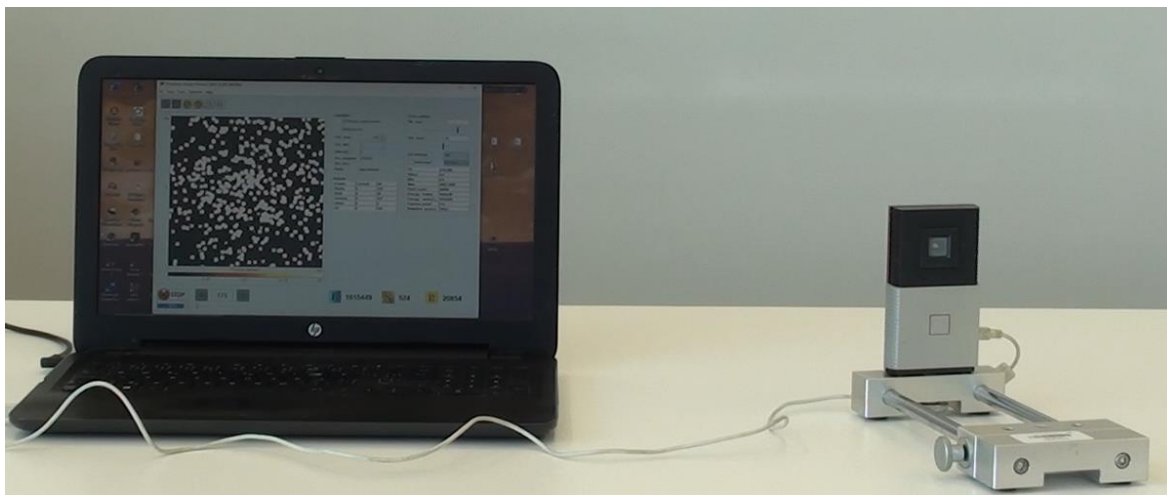
V rámci této kapitoly bude popsáno experimentální vybavení, jež bylo nutno zajistit před natáčením. Nastíním zde fyzikální princip různých detektorů ionizujícího záření a podám základní informace o vybraných radionuklidech, zdrojích UV záření a viditelného světla. Závěrečná část bude věnována popisu katodových trubic a dalšího drobného vybavení k pokusům.

### 2.1 Měřicí přístroje

Experimenty z jaderné fyziky se neobejdou bez **detektorů ionizujícího záření**. Proto se v této části zaměřím na popis pěti detekčních zařízení, a to **digitální částicové kamery** (polovodičový typ detektoru), **detektoru radiace** a **dozimetru** (přístroje na bázi Geigerova-Müllerova detektoru, přičemž první typ funguje jako čítač impulzů, druhý typ slouží k měření dávek ionizujícího záření), **ionizační komory** (plynový typ detektoru domácí výroby) a **scintilačního detektoru** (princip radioluminiscence). Nastíněn bude pouze základní fyzikální princip, který vychází z publikací [36]; [37]; [38] a [39].

#### 2.1.1 Digitální částicová kamera

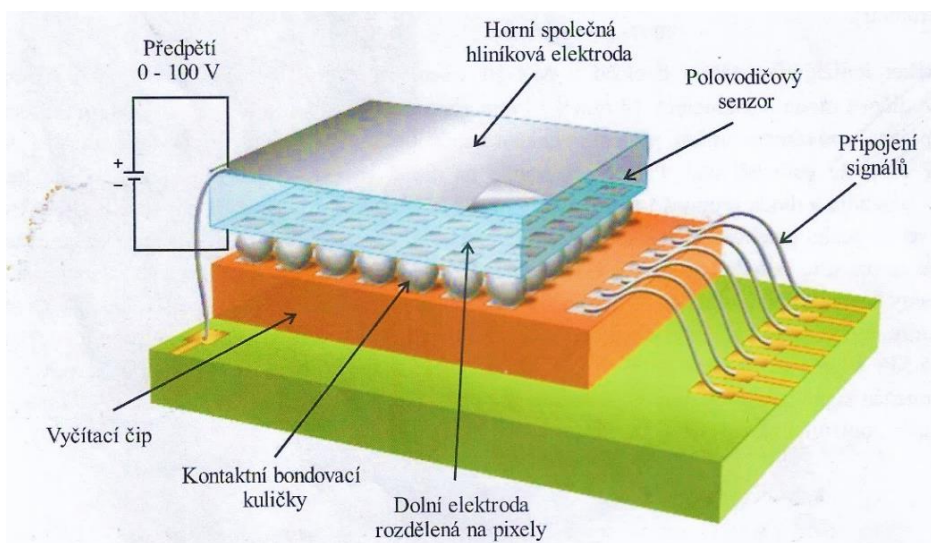
Lidský zrak je v určitých aspektech nedokonalý. Předává člověku informace pouze o objektech, které vysílají elektromagnetické záření o vlnové délce v rozmezí 380 – 760 nm. V důsledku toho nejsme schopni vidět proud jader hélia emitovaných smolincem nebo třeba gama záření vysílané vzorkem kobaltu 60. Do říše mikrosvěta je ale možné nahlédnout skrz **digitální částicovou kameru MX-10** připojenou k počítači, viz obrázek 1.



**Obrázek 1** Digitální částicová kamera MX-10 připojená k počítači

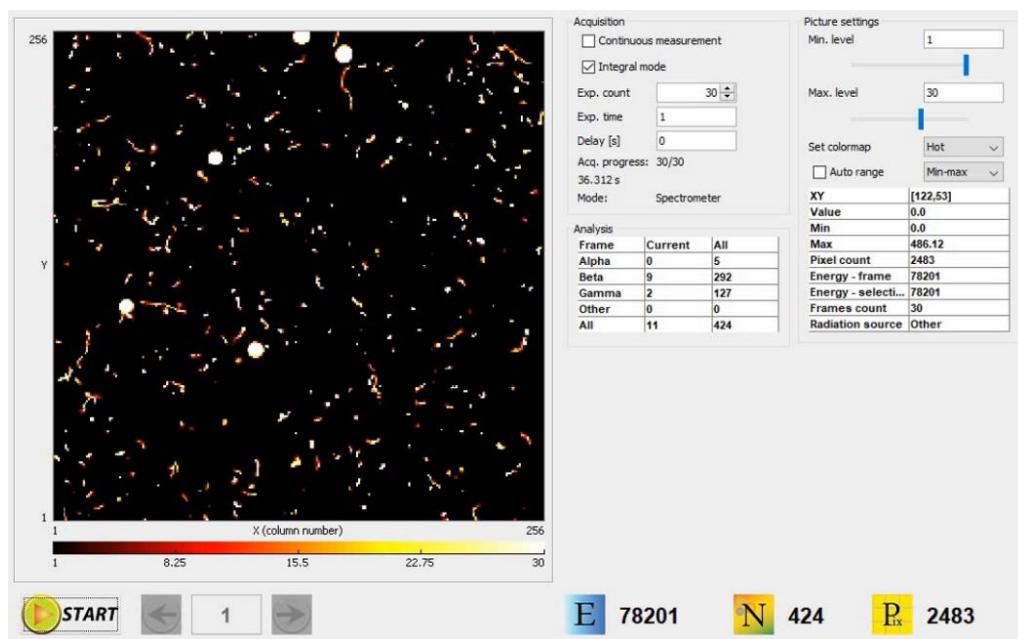
Částicová kamera MX-10 obsahuje polovodičový detektor typu Medipix, který byl vyvíjen v laboratořích CERNu. Jeho hlavní částí je **křemíkový senzor** o rozměrech 14 mm × 14 mm a tloušťce 300 μm, který si je možné zjednodušeně představit jako plošnou polovodičovou diodu zapojenou v závěrném směru. Konstrukci polovodičového detektoru v částicové kameře zachycuje obrázek 2. Křemíkový senzor, na jehož povrchu je nanášena tenká hliníková vrstva, je v horní části dotován jako polovodič typu N. Spodní část senzoru je dotována jako polovodič typu P, přičemž je

rozdělena na  $256 \times 256$  samostatných pixelů. Pod každým pixelem se nachází kontaktní bondovací kulička zprostředkující kontakt s elektronikou vyčítacího čipu. Po přiložení senzoru k předpětí, které si může volit sám uživatel až do hodnot 100 V, dojde v PN přechodu ke vzniku oblasti bez volných nábojů. V důsledku toho senzor propouští jen nepatrný proud, který lze potlačit vhodným nastavením prahu detekce. Pokud však na senzor dopadne částice ionizujícího záření (obvykle alfa, beta nebo gama částice, popř. mion nebo jiná vysokoenergetická částice), dojde v oblasti PN přechodu ke generaci párů elektron-díra. To se projeví jako detekovaný proudový impulz, který je dále zpracován. Protože je senzor rozdělen na 65 536 samostatných pixelů, je možné zpětně určit, kterými pixely byl signál zaznamenán. Časticová kamera proto může sloužit k **vizualizaci ionizujícího záření, počítání částic nebo měření energie absorbované v pixelech**. Podrobnější popis viz [38].



**Obrázek 2** Konstrukce polovodičového detektoru v časticové kaměře, převzato z [38]

Pro řízení detektorů typu Medipix a dále vizualizaci, ukládání a vyhodnocování naměřených dat byl vytvořen program Pixelman. Jedná se o poměrně komplexní program určený pro vědecký výzkum. Proto se pro potřeby škol používá jeho jednoduchý plugin **Pixelman Simple preview**.



**Obrázek 3** Ukázka pracovního prostředí Pixelman Simple preview



Pracovní prostředí Pixelman Simple preview spolu s naměřenými daty zachycuje obrázek 3. Vlevo je konkrétní snímek získaný měřením, kde světlé oblasti odpovídají stopám ionizujících částic. Velké kulaté stopy, kterých je na snímku celkem pět, vznikly po dopadu alfa částic. Protáhlé a zakřivené stopy byly způsobeny elektrony. Malé jednopixelové stopy odpovídají gama fotonům. Odlišnost stop vyplývá z různých způsobů interakce těžkých a lehkých nabitých částic nebo fotonů s křemíkovým senzorem. Tlačítkem START se spouští měření, šipkami lze procházet snímky.

V pravé části obrázku 3 jsou okna, jež slouží k nastavení měření nebo prohlížení získaných dat. Měření může probíhat buď nepřetržitě, viz *Continuous measurement*, nebo lze v okně *Exp. count* udat konkrétní počet snímků, které má kamera pořídit. V každém případě je nutno stanovit expoziční čas pro jeden snímek, a to v okně *Exp. time*. Zaškrtnutím políčka *Integral mode* lze nastavit postupné sčítání získaných snímků. V části *Analysis* se částice postupně třídí do kategorií alfa, beta, gama a ostatní. Do kategorie ostatní obvykle spadají miony nebo jiné částice s anomální stopou. Ve sloupci *Current* jsou data vztažena k aktuálnímu snímku, ve sloupci *All* pak ke všem snímkům. Část *Picture settings* umožňuje vytvářet snímky v různých barvách v závislosti na energii absorbované v pixelech. Dále je možné odečíst souřadnice konkrétního pixelu, na nějž míří kurzor, nebo třeba stanovit minimální a maximální energii absorbovanou v pixelech. Tři velké ikony v dolní části obrázku spolu s odpovídajícími čísly určují energii absorbovanou celým senzorem (eV), počet detekovaných částic a počet zasažených pixelů na snímku. Export dat je možný do formátů .png a .txt. Plugin nabízí celou řadu dalších funkcí, např. lze na základě měření absorbované energie v jednotlivých pixelech sestavovat odpovídající histogramy energií. To otevírá cestu ke zkoumání emisních spekter gama zářičů. Této funkce jsem ale nevyžívala, protože interpretace naměřených dat je poměrně složitá a výrazně nad rámec běžného středoškolského učiva.

## 2.1.2 Detektor radiace

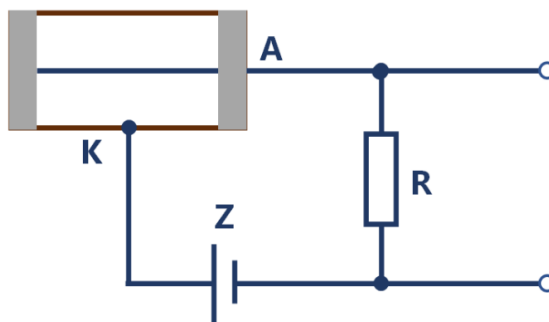
Detektor radiace (Vernier Radiation Monitor) je produktem od zmíněné firmy Vernier. V podstatě se jedná o čidlo, které **funguje na bázi Geigerova-Müllerova detektoru**, viz obrázek 4. Tento typ detektoru je vhodný především pro detekci beta a gama záření.



**Obrázek 4** Detektor radiace připojený k dataloggeru LabQuest 3

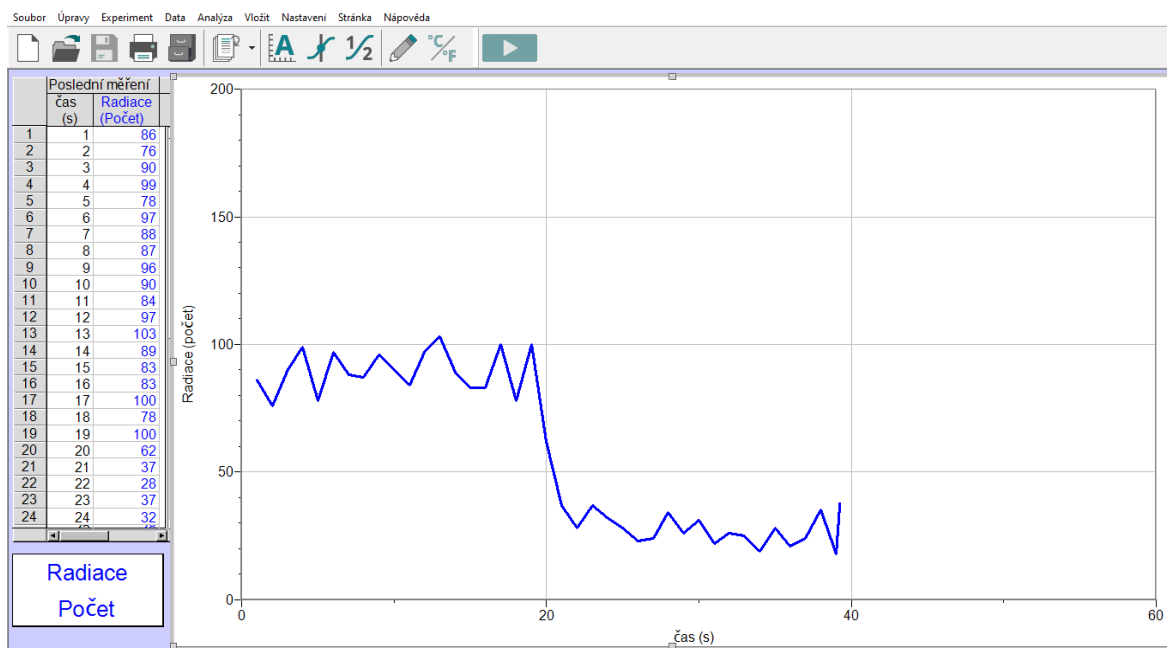
Hlavní částí GM detektoru je **uzavřená trubice válcového tvaru**, v jejíž ose je uložen tenký vodič, viz obrázek 5. Trubice má plynnou náplň, obvykle se používá směs argonu s parami ethanolu nebo halogenem. Přitom plášť trubice tvoří katodu, vodič pak anodu. Mezi nimi je přiloženo **vysoké napětí kolem 1 kV**. Pokud trubicí proletí ionizující částice, vznikne v plynné náplni několik párů elektronů a kladných iontů. Kladné ionty se pohybují ke katodě, kde dojde k jejich neutralizaci. Elektrony jsou vlivem vysokého napětí značně urychlovány. V důsledku toho jsou schopny podél

své cesty k anodě ionizovat další molekuly plynu. Taktéž mohou způsobit excitaci těchto molekul, přičemž deexcitace je doprovázena emisí fotonu UV záření nebo viditelného světla. Emitované fotony se šíří všemi směry. Je-li energie fotonů větší než výstupní práce kovu, z něž je vyrobena katoda, dojde při interakci s katodou k fotoelektrického jevu a emisi dalších elektronů. Oba způsoby interakce elektronů s molekulami plynu přispívají k podstatnému zesílení původního signálu, což se projeví jako proudový impulz. Ten je následně zpracován a započten jako detekovaná částice. Aby mohl detektor registrovat další částici, musí být uveden do původního stavu. K tomu se využívá zhašecí plyn ve formě par ethanolu nebo halogenu. Podrobněji viz [37].



**Obrázek 5** Schéma GM detektoru: K – válcová katoda, A – tenký vodič jakožto anoda, Z – vysokonapěťový zdroj, R – rezistor; vlastní grafika inspirovaná nákresem z [39]

Samotný detektor radiace od firmy Vernier k měření a prohlížení dat či jejich analýze nestačí. Jedná se pouze o čidlo, jež je nutno **propojit s dataloggerem**, viz obrázek 4. K dubnu roku 2021 Vernier nabízí dataloggery LabQuest 3 a LabQuest Mini. Hlavní rozdíl mezi uvedenými typy spočívá v tom, že LabQuest 3 obsahuje displej, takže je přenosný a použitelný i bez počítače, zatímco druhý typ tuto možnost nenabízí. Pokud mají být dataloggery a čidla ovládány přes počítač, je nutno mít k dispozici speciální software. Vernier nabízí dvě verze softwaru, a to bezplatnou verzi Logger Lite a placenou verzi Logger Pro 3, jež nabízí více nástrojů pro zobrazování a analýzu dat. V rámci vlastního měření jsem si vystačila s **bezplatnou verzí Logger Lite**, jejíž pracovní prostředí zachycuje obrázek 6.



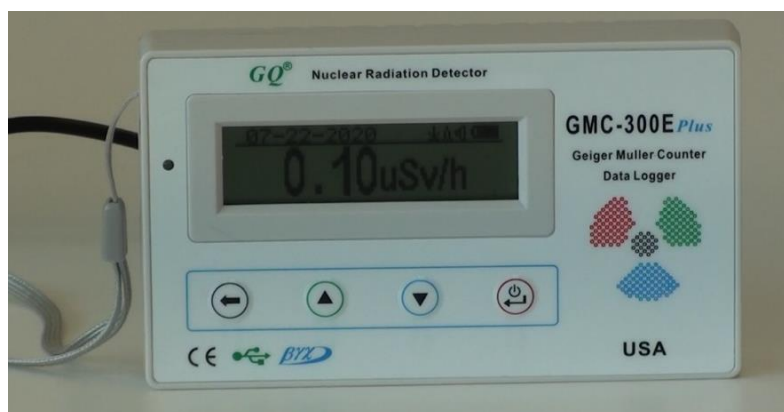
**Obrázek 6** Ukázka pracovního prostředí Logger Lite

### 2.1.3 Dozimetr

Dozimetr je přístroj, jenž slouží k **měření dávek ionizujícího záření**. Jeho primární využití spočívá v monitorování dávek, kterým jsou vystavováni lidé pracující s ionizujícím zářením, a to např. ve výzkumu, lékařství, energetice, vojenství, ale i ve školství pro demonstrační účely.

Při natáčení byl používán dozimetr GMC-300E Plus od firmy GQ Electronics, viz obrázek 7. Jak označení napovídá, jedná se o dozimetr pracující **na bázi Geigerova-Müllerova detektoru**, jehož základní fyzikální princip byl popsán v předchozí části. Navíc však obsahuje elektroniku, která přepočítává počet detekcí na zvolenou jednotku charakterizující dávku. Existují i jiné druhy dozimetrů, jež využívají odlišných fyzikálních principů, např. radiotermoluminiscence či působení ionizujícího záření na fotografickou emulzi, podrobněji viz [36].

Dozimetr GMC-300E Plus umožňuje měření v CPM (counts per minute – počet detekcí za minutu),  $\mu\text{Sv/h}$  (mikrosieverty za hodinu) a mR/h (milirentgeny za hodinu). Navíc při každé detekci ionizující částice **vydává zvukový signál**, v důsledku čehož umožňuje orientační srovnávání aktivit různých zářičů pouze na základě vnímání zvuku. V rámci svých experimentů jsem se omezila na detekci **ekvivalentního dávkového příkonu** (též příkonu ekvivalentní dávky) v jednotkách  $\mu\text{Sv/h}$ .



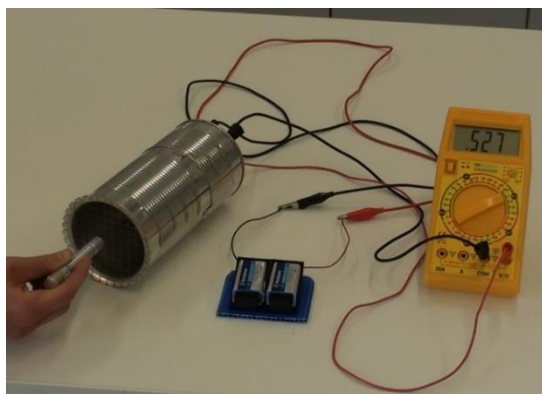
Obrázek 7 Dozimetr GMC-300E Plus

### 2.1.4 Ionizační komora

Ionizační komora je **plynovým typem detektoru**, který využívá k detekci, stejně jako GM detektor, ionizačních účinků radioaktivního záření. Ve srovnání s GM detektorem však ionizační komora **pracuje s nižším napětím** a její základní konstrukce je jednodušší, a to dokonce natolik, že se do její výroby může pustit každý, kdo se nezalekne elektrických obvodů či pájení. Dále se omezím na popis vlastní ionizační komory, kterou jsem vyrobila v rámci této práce, viz obrázek 8a. Postupovala jsem dle návodu, který publikoval Mgr. Václav Pazdera ve sborníku *Dílny Heuréky 2014*, viz [40].

Základem ionizační komory je **kovová trubice ze dvou plechovek**. Uvnitř první plechovky je odizolovaný měděný vodič, viz obrázek 8b. V druhé plechovce navazuje na měděný vodič obvod s rezistorem o odporu  $1\text{ M}\Omega$  a tranzistorem typu BC 517, který slouží k zesílení jinak neměřitelného proudu a napětí na ionizační komoře, viz obrázek 9. Ionizační komora je vybavena čtyřmi zdičkami pro připojení voltmetru a baterií s napětím 18 V. Pokud je kovová trubice připojena k bateriím způsobem, jak je naznačeno na obrázku 9, tvoří její kovový povrch anodu a měděný vodič katodu.

Vniknou-li do vnitřní části trubice částice nebo kvanta ionizujícího záření, dojde k ionizaci vzduchu uvnitř trubice. Elektronky budou putovat ke kladně nabitě trubici a kladné ionty k měděnému vodiči. V důsledku toho lze na voltmetru zaznamenat tranzistorem zesílený napěťový impulz.



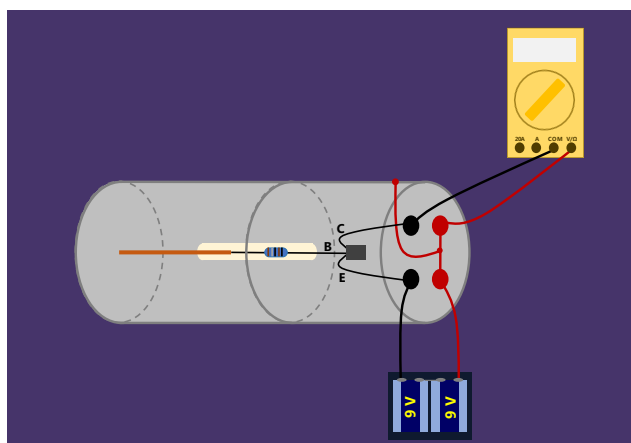
a)



b)

**Obrázek 8** a) Ionizační komora v průběhu detekce alfa záření ze vzorku americia 241; b) Detailní snímek vnitřní části ionizační komory s odizolovaným měděným vodičem

Jak vyplývá z předchozího popisu, tato amatérská ionizační komora **není určena k počítání částic**. Na základě naměřených hodnot napětí lze porovnávat různé druhy zářičů nebo zkoumat stínící účinky materiálů. Například bez přítomnosti zářiče naměřil voltmetr v době natáčení napětí 10 mV, v blízkosti alfa zářiče 500 mV a po vložení papíru mezi alfa zářič a ionizační komoru opět 10 mV. Popsaná ionizační komora je **vhodná především pro detekci alfa záření**. Beta záření a gama záření mají slabší ionizační účinky, takže je na ně méně citlivá. To lze ale vnímat jako výhodu, protože většina detektorů, se kterými se je možné na ZŠ a SŠ setkat, jsou Geigerova-Müllerova typu. Tento typ detektoru je pro detekci alfa záření zcela nevhodný, protože je alfa záření pohlceno již jeho povrchem. Ionizační komora tak může GM detektor vhodně doplňovat.



**Obrázek 9** Schéma ionizační komory; vlastní grafika inspirovaná nákresem z [40]

### 2.1.5 Další měřicí přístroje

Mezi hojně využívané typy detektorů ionizujícího záření, a to ať už ve výzkumu nebo lékařských aplikacích, patří **scintilační detektory**. Scintilačním detektorům je ve videích věnována jen krátká zmínka v souvislosti s **radioluminiscencí**, která je podstatou jejich fungování.

Hlavní částí scintilačního detektoru je vhodný **luminofor** (též scintilátor, scintilační krystal), nejčastěji jodid sodný s příměsí thalia. Ionizující záření způsobí při interakci s luminoforem excitaci jeho atomů a molekul, přičemž deexcitace je doprovázena emisí viditelného světla. To je dále zpracováno fotonásobičem a převedeno na elektrický impulz. Intenzita záblesku, a tedy i velikost elektrického impulzu na výstupu fotonásobiče je úměrná energii, kterou ionizující částice předala detektoru. Proto lze scintilační detektory využívat také v režimu **spektrometrů ionizujícího záření**. Podrobněji viz [36].

Mimo popsané detektory byly k experimentům požívány i základní přístroje k měření elektrických veličin, např. **multimetry** a **elektroskopy**. Jejich popisem se však vzhledem k zaměření této práce nebudu podrobněji zabývat.

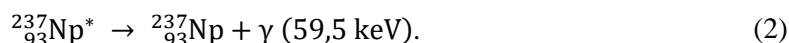
## 2.2 Vzorky radionuklidů

Z hlediska technického provedení lze zdroje ionizujícího záření dělit na dvě skupiny, a to uzavřené a otevřené zářiče. **Uzavřené zářiče** jsou zapouzdřeny v ochranné konstrukci, která za běžných podmínek vylučuje únik radioaktivních látek do okolí. **Otevřené zářiče** ochrannou konstrukci nemají, obvykle se jedná o radioaktivní roztoky, plyny nebo prášky. Podrobněji viz [41]. Všechny zářiče, s nimiž jsem měla možnost pracovat, spadaly do kategorie **nevýznamných** nebo **drobných zdrojů ionizujícího záření**, konkrétní význam pojmů viz **atomový zákon 263/2016 Sb.** Tyto zářiče nepředstavují při krátkodobém a omezeném používání žádné zdravotní riziko. Uzavřený zářič je vhodné nenatáčet výstupním otvorem k vlastnímu tělu, ani jim nemířit na jiné osoby. Při práci s otevřeným zářičem je na místě používat ochranné rukavice, aby nedošlo k přímému kontaktu zářiče s kůží. Dobu práce se zdroji ionizujícího záření je doporučeno zkrátit na minimum.

V dalších odstavcích se zaměřím na stručný popis všech radionuklidů, s jejichž vzorky jsem měla možnost pracovat, zejména pak na popis jejich jaderných přeměn. Většina radionuklidů může přejít do stabilního stavu absolvováním různých posloupností přeměn, kterým odpovídají určité pravděpodobnosti. V rámci této práce se většinou omezím na popis těch nejpravděpodobnějších přeměn. Stručně se zmíním také o využitím některých radionuklidů v praxi nebo jejich výskytu v životním prostředí.

### 2.2.1 Americium 241

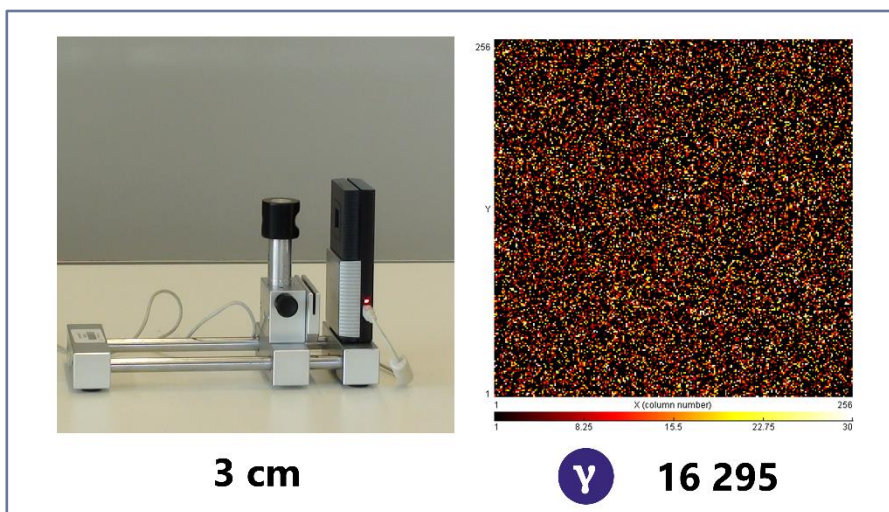
Americium 241 je **uměle vyrobeným alfa a gama zářičem**. S poločasem přeměny přibližně 432 let se přeměňuje na jádro neptunia 237, které je v excitovaném stavu. Do základního stavu přechází emisí gama fotonu, nejčastěji o energii 59,5 keV, podrobněji viz [42]. Přeměnu americia 241 lze stručně vyjádřit uvedenými rovnicemi:



Neptunium 237 s poločasem přeměny asi  $2,1 \cdot 10^6$  let je prvním členem tzv. **neptuniové přeměnové řady**, jež končí stabilním izotopem thallia 205, podrobněji viz [36].

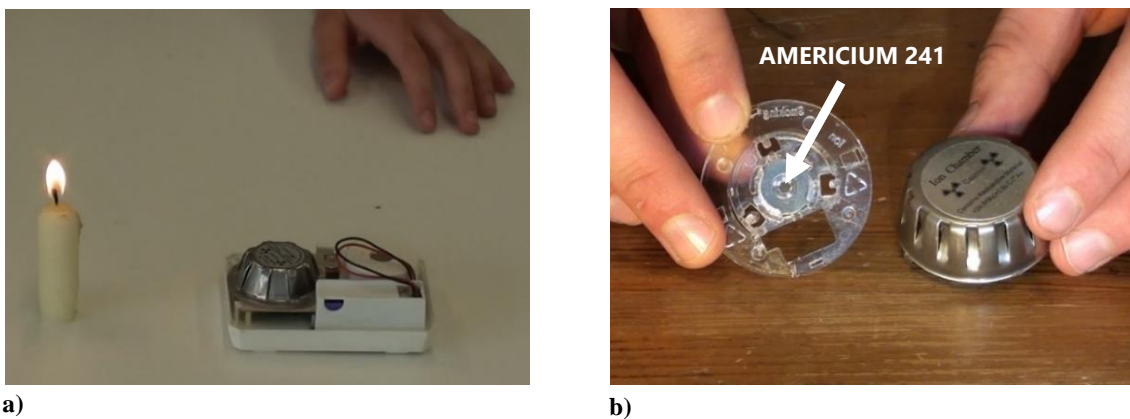


Pro účely školních měření má americium podobu uzavřeného zářiče, viz obrázek 10. Vzorek může být překryt buď tenkou vrstvou zlata o tloušťce asi 1  $\mu\text{m}$ , nebo silnější plastovou fólií, jež pohltí alfa částice. V prvním případě vzorek slouží jako alfa a gama zářič, v druhém jako čistý gama zářič. Aktivita vzorků, s nimiž jsem měla možnost pracovat, se pohybovala od desítek kBq do stovek kBq.



**Obrázek 10** Vlevo je sestava vzorku americia a částicové kamery, vpravo snímek získaný po minutové detekci

Americium 241 je součástí **ionizačních detektorů kouře**, které se dosud vyrábějí a používají. Tento typ detektoru obsahuje velmi malou ionizační komoru připojenou ke zdroji elektrického napětí, viz obrázek 11a. V ionizační komoře je zabudován vzorek americia 241, jak lze vidět na obrázku 11b, přičemž trvale ionizuje vzduch uvnitř komory. Pokud dojde k požáru, do prostoru ionizační komory vniknou částice kouře, v důsledku čehož poklesne proud procházející obvodem. To je zpracováno elektronikou, načež je spuštěn zvukový alarm. Podrobněji viz [42].



**Obrázek 11** a) Ionizační detektor kouře bez krytu; b) Vzorek americia 241 v ionizační komoře z detektoru kouře

Na zahraničních e-shopech typu eBay lze zakoupit náhradní ionizační komoru do detektoru kouře za pouhý dolar. Ze zvědavosti jsem si jeden vzorek objednala, rozebrala a dostala se až k samotnému zářiči, viz obrázek 11b. Výrobce uvádí aktivitu 30 kBq, což je srovnatelné s aktivitou zářičů, které jsou k dispozici v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Vzorek byl použitelný, emitované záření zachytila jak amatérská ionizační komora, tak dozimetr, který naměřil ekvivalentní dávkový příkon 1  $\mu\text{Sv/h}$ , což je asi desetkrát větší hodnota, než jaká odpovídá přirozenému radiačnímu pozadí v Olomouci.

### 2.2.2 Stroncium 90

Stroncium 90 je **beta minus zářičem** s poločasem přeměny zhruba 29 let, podrobněji viz [44]. Přeměnu stroncia 90 vystihuje tato rovnice:



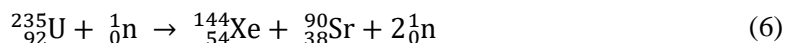
Emitované elektrony lze detekovat např. GM detektorem, antineutrino však není možné zachytit běžnými detektory ionizujícího záření vzhledem k jejich neochotě interagovat. Yttrium 90 není stabilním nuklidem a s poločasem přeměny asi 64 hodin podléhá další beta minus přeměně na zirkonium 90, které je již stabilní:



Beta minus přeměnu lze studovat i na úrovni nukleonů nebo dokonce kvarků. Tento druh přeměny **probíhá v jádrech s přebytkem neutronů**, přičemž jádro dosahuje vyšší stability přeměnou jednoho neutronu na proton. Přeměna nukleonů ale musí být v důsledku zákona zachování elektrického náboje a zákona zachování energie doplněna i o další produkty, a to o již zmíněný elektron a elektronové antineutrino:



Při štěpení jader uranu 235 pomalými neutrony vznikají dvě přibližně stejně těžká atomová jádra za současného uvolnění energie a dalších neutronů, podrobněji viz [36]. Tato reakce může probíhat přibližně 45 různými způsoby, přičemž jeden z nich popisuje tato rovnice:



Z toho vyplývá, že stroncium 90 je **produktem štěpení uranu**. Vzniká jak v jaderném reaktoru, tak při výbuchu jaderné bomby. V tom druhém případě se však může dostat do zemské atmosféry a kontaminovat životní prostředí. Atom stroncia i atom vápníku mají dva valenční elektrony, takže se dá očekávat, že budou vytvářet podobné chemické vazby. Z výzkumu [45] přitom vyšlo najevo, že existuje jistá korelace mezi intenzitou jaderného testování v minulém století a vysokým obsahem radioaktivního stroncia v zubech dětí narozených v daném období.

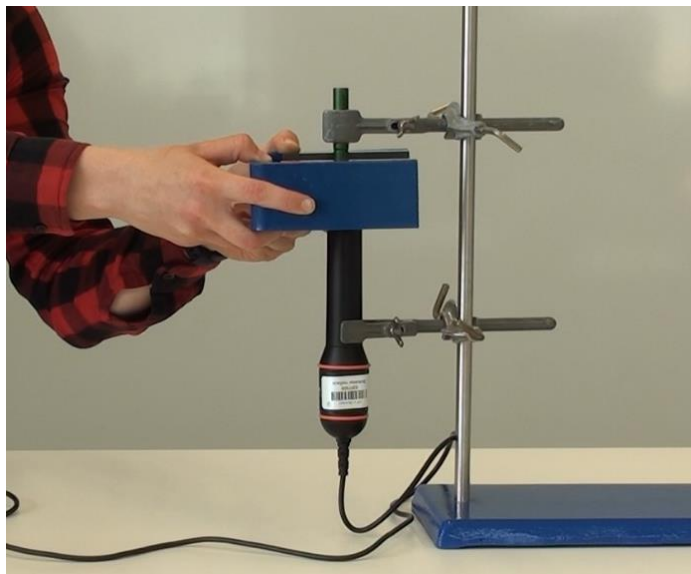
### 2.2.3 Krypton 85

Krypton 85 je **beta minus zářičem** s poločasem přeměny přibližně 11 let. Produktem jeho jaderné přeměny je jádro rubidia:



Ve více než 99 % všech případů proběhne jaderná přeměna kryptonu 85 výše popsaným způsobem. Zbývajícimu necelému procentu odpovídá vznik jádra rubidia v excitovaném stavu. Při jeho přechodu do základního stavu je emitován gama foton, v důsledku čehož je krypton 85 také **gama zářičem**. Podrobněji viz [46].

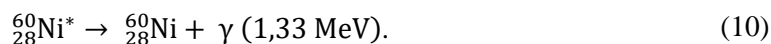
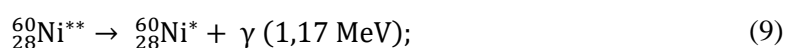
Krypton 85 je stejně jako stroncium 90 jedním z mnoha možných **produktů štěpení uranu 235**. Vzniká však i přirozeným způsobem v zemské atmosféře, a to při **interakci kosmického záření se stabilním kryptonem 84** [36]. Při vlastních experimentech jsem pracovala se vzorkem kryptonu 85 o aktivitě asi 12 kBq. Vzorek se ukázal být vhodným pro prokázání skutečnosti, že se beta záření vychyluje v magnetickém poli, viz obrázek 12.



**Obrázek 12** Detekce beta mínus záření ze vzorku kryptonu 85 v magnetickém poli podkovovitého magnetu

## 2.2.4 Kobalt 60

Kobalt 60 podléhá **beta mínus přeměně** na jádro niklu, a to s poločasem přeměny asi 5 let. Jádro niklu nabývá silně excitovaného stavu, v důsledku čehož ve více než 99 % případů postupně **emituje dva gama fotony**, čímž dosáhne stabilní konfigurace, podrobněji viz [47]. Posloupnost přeměn je vyjádřena níže:



Při experimentech jsem pracovala se vzorkem kobaltu o aktivitě asi 1 kBq. Mimo výzkum se kobalt 60 využívá i v lékařství při zákrocích pomocí Leksellova gama nože nebo v průmyslu, kde slouží k prozařování látek za účelem hledání nehomogenit a skrytých vad [36].

## 2.2.5 Metastabilní baryum 137

Cesium 137 je beta mínus zářičem. S poločasem přeměny zhruba 30 let podléhá jaderné přeměně na baryum 137, které je v excitovaném stavu:





Ve srovnání s excitovaným jádrem neptunia 237, jež vzniká při alfa přeměně americia 241, setrvává jádro barya ve vyšší energetické hladině po výrazně delší dobu. Zatímco excitované jádro neptunia vyzáří gama foton prakticky okamžitě, excitované jádro barya může **setrvávat ve vyšší energetické hladině několik sekund nebo dokonce minut**. Proto se označuje jako **metastabilní** a namísto tradičního označení s hvězdičkou lze použít přesnější označení  $^{137}_{56}\text{Ba}^m$ , které zdůrazňuje jeho metastabilitu. Poločas přeměny metastabilního barya 137 na jádro v základním stavu je 153 sekund, podrobněji viz [48].

K přípravě metastabilního barya 137 je možné použít **školní generátor**, viz obrázek 13. Generátor obsahuje zmíněné cesium 137, které se v něm trvale přeměňuje. Metastabilní baryum lze z nádoby odizolovat pomocí vymývacího roztoku. Ten se vstříkne stříkačkou do generátoru, přičemž se pod generátor umístí miska na odkapávání roztoku s metastabilním baryem.

V přírodě neexistují čisté gama zářiče. Jedna z možností, jak gama zářič vyrobit, byla nastíněna již v části o americiumu 241. Stačí vzorek překrýt materiálem, který odstíní alfa nebo beta záření, ale propustí gama fotony. Stejně tak lze **čisté gama zářiče připravit vymýváním** (v chemii se používá termín eluce). Vymýváním se připravuje také metastabilní technecium 99, které vzniká při beta mínus přeměně molybdenu 99. Metastabilní technecium 99 má poločas přeměny asi šest hodin a v nukleární medicíně patří mezi nejpoužívanější zářiče. Podrobněji viz [48].



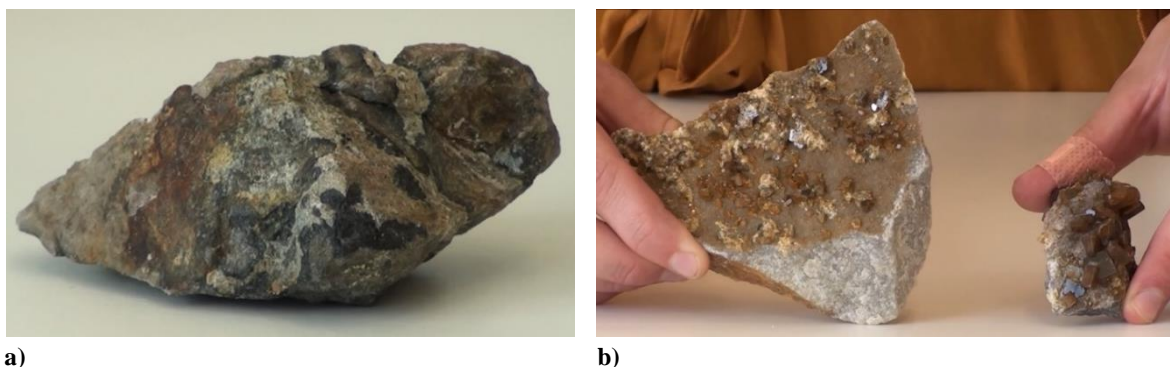
**Obrázek 13** Sada k přípravě metastabilního barya – podstavec s miskou, vymývací roztok, stříkačka a generátor

### 2.2.6 Běžně dostupné zářiče

V této části budou stručně popsány zářiče, které se vyskytují v přírodě nebo je lze legálně zakoupit v českých či zahraničních obchodech.

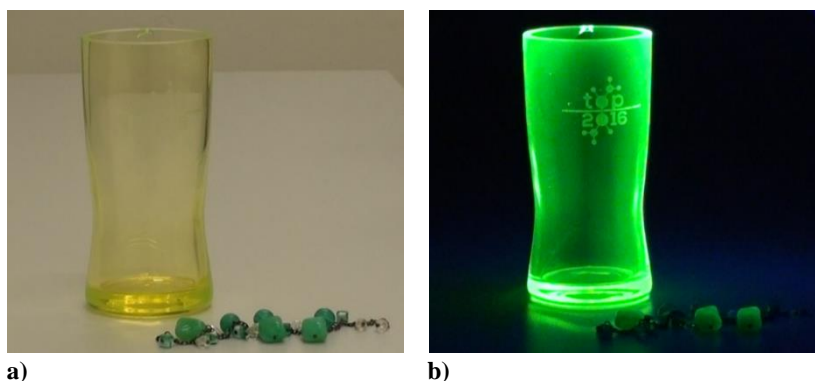
**Smolinec** je minerálem s chemickým vzorcem  $\text{UO}_2$ . V přírodě se běžně nevyskytuje v čisté formě, nýbrž ve formě rudy s příměsí thoria, vzácných zemin nebo olova, viz obrázek 14a. Jeho těžba na území České republiky je již minulostí spjatou s Jáchymovem nebo Příbrami. Jáchymovský smolinec byl objektem zkoumání manželů Curieových, kteří ho zpracovávali po tunách, aby odizolovali sotva pár gramů dvou nových, do té doby neobjevených prvků, a to radia a polonia. Podrobněji viz [49].

Přírodní uran je asi z 99,27 % tvořen izotopem U 238 a přibližně z 0,72 % izotopem U 235 [50]. Zbylou část představuje izotop U 234. Všechny tři izotopy mají poměrně dlouhý poločas přeměny v řádu miliónů až miliard let.



**Obrázek 14** a) Smolínek; b) Krystaly radiobarytu na podloží

Uran 238 je prvním členem tzv. **uran-radiové rozpadové řady**, což znamená, že musí absolvovat několik alfa a beta přeměn, než získá podobu stabilního izotopu olova 206. Podobně je i uran 235 prvním členem tzv. **uran-aktiniové rozpadové řady**, která končí dosažením stabilní konfigurace olova 207, podrobněji viz [36]. Uran se doposud používá k barvení skla. **Uranové sklo** má charakteristický zelený či žlutý odstín. Při ozáření zdrojem UV záření vykazuje fluorescenci, viz obrázek 15.



**Obrázek 15** a) Sklenice a náramek z uranového skla na viditelném světle; b) Sklenice a náramek z uranového skla ve tmě při ozařování UV zářivkou

Smolínek samozřejmě není jediným radioaktivním minerálem. Dalším příkladem je **radiobaryt**, který je k nalezení na území České republiky, konkrétně v lomech poblíž Jeníkova u Teplic. Co se týká chemického složení, radiobaryt je v podstatě baryt, tj. síran barnatý s chemickým vzorcem  $\text{BaSO}_4$ , se stopovým množstvím radia 226, které v krystalické mřížce nahrazuje některé atomy barya. Krystaly radiobarytu jsou zachyceny na obrázku 14b.

Dále budou popsány dva výrobky s obsahem thoria 232. Tento radioizotop má poločas přeměny asi  $1,4 \cdot 10^{10}$  let, přičemž je prvním členem tzv. **thoriové rozpadové řady** [36]. Thorium 232 se přidává do **punčošek v plynových lampách** nebo **wolframových elektrod**, viz obrázek 16. Po prozkoumání nabídky tuzemských e-shopů však mohu konstatovat, že v České republice je prodej těchto výrobků na ústupu a je zde tendence nahrazovat thorium jinými neradioaktivními prvky.



**Obrázek 16** Thoriová punčoška a thoriová svářecí elektroda

Dalším běžně dostupným produktem je **draselné hnojivo**. Hlavní složkou draselného hnojiva je draslík, který se v přírodě vyskytuje ve formě tří izotopů, a to K 39, K 40 a K 41. Přitom izotop K 40 tvoří asi 0,012 % přírodního draslíku a je radioaktivní. Jeho poločas přeměny je zhruba  $1,3 \cdot 10^9$  let [36]. Draslík 40 je poměrně zajímavým izotopem z hlediska charakteru jeho jaderné přeměny. Budeme-li uvažovat vzorek draslíku 40 o velkém počtu jader, pak 89,28 % z nich absolvuje beta mínus přeměnu v souladu s níže uvedenou rovnicí:



V 10,67 % případů je atomovým jádrem zachycen elektron z K-slupky. Na úrovni atomárních částic dojde k reakci:



tj. zachycený elektron a proton se v atomovém jádře přemění na neutron a elektronové neutrino. Jádro draslíku 40 se přitom přemění na jádro argonu 40. Vakance v K slupce je zaplněna elektronem z L slupky, což je doprovázeno emisí fotonu charakteristického rentgenového záření:



Ve zbylých 0,05 % případů dojde k beta plus přeměně, jejímž produktem je rovněž jádro argonu 40, podrobněji viz [36]. Zvýšenou radioaktivitu draselného hnojiva lze zachytit dozimetrem, viz obrázek 17. Ze všech dosud uvedených látek a předmětů se však jedná o vůbec nejslabší zářič.

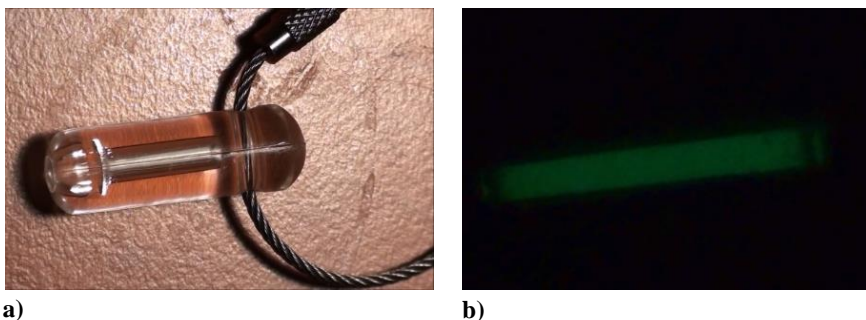


**Obrázek 17** Draselné hnojivo a měření s dozimetrem

Poslední odstavec bude věnován produktům s obsahem tritia. **Tritium** je izotop vodíku s jedním protonem a dvěma neutrony, který podléhá beta mínus přeměně na jádro hélia:



Dodnes se vyrábí **hodinky s tritiovými ručičkami** nebo **tritiové přívěsky**, viz obrázek 18. Tritium je v těchto výrobcích uzavřeno do malé trubičky, na jejímž vnitřním povrchu je nanesen luminofor. Při interakci elektronů s atomy luminoforu dochází k radioluminiscenci, kdy je emitováno viditelné světlo. V trubičce ale není žádný otvor, kudy by elektrony emitované tritiem mohly unikát, takže pokud není mechanicky poškozená, de facto ani není zdrojem ionizujícího záření.



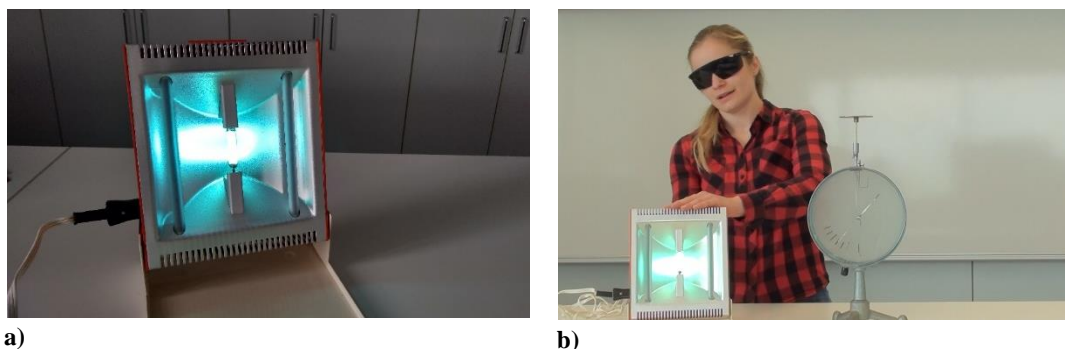
Obrázek 18 a) Tritiový přívěsek na viditelném světle; b) Tritiový přívěsek ve tmě

## 2.3 Zdroje UV záření a viditelného světla

V této části budou popsány zdroje UV záření a viditelného světla, s nimiž jsem měla možnost pracovat. Zaměřím se na stručný popis jejich parametrů a upozorním na zásady bezpečnosti, jež je nutno dodržovat při jejich používání.

### 2.3.1 Horské slunce

Horské slunce, viz obrázek 19a, je dnes už poměrně zastaralým přístrojem, který slouží k opalování obličeje nebo podpoře tvorby vitamínu D. Léta, kdy bylo horské slunce součástí skoro každé domácnosti, jsou pryč a s tím i přesvědčení o jeho užitečnosti. Starší modely obsahovaly **rtuťovou výbojku**, která je mimo jiné **zdrojem UVC záření o vlnové délce 253,7 nm** [51]. UVC záření je souhrnné označení pro UV záření s vlnovou délkou kratší než 280 nm. Ačkoli je zdrojem UVC záření i Slunce, k zemskému povrchu záření nedospěje, protože je zcela pohlcováno atmosférou [52].



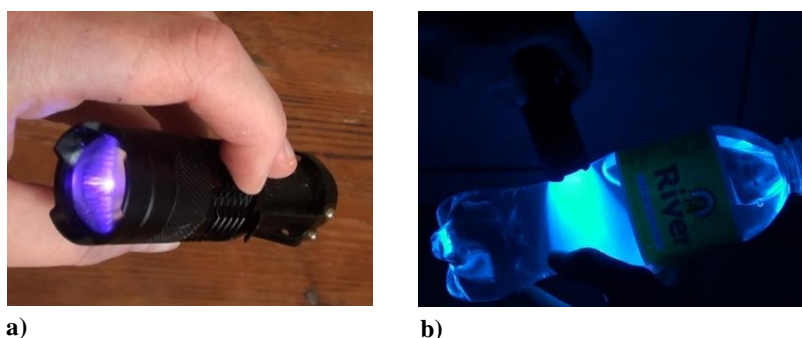
Obrázek 19 a) Horské slunce; b) Ochrana zraku při manipulaci s horským sluncem



V souvislosti se současnou situací spojenou s COVID-19 stojí zmínku, že se rtuťová výbojka používá také v **germicidních lampách** určených k hubení virů a bakterií. Přitom bylo prokázáno, že UVC záření může být užitečné i při hubení koronavirů, podrobněji viz [53]. Proto se germicidní lampy využívají např. při dezinfekci prostor vlaků, nemocnic nebo kanceláří. Pro své **karcinogenní účinky** se však nedoporučují k přímé dezinfekci živých tkání [54]. Při práci s horským sluncem nebo germicidní lampou je nutno **používat ochranné brýle s UVC filtrem**, viz obrázek 19b. Zanedbání ochrany může mít za následek poškození zraku. Starší přístroje se mohou přehřívat a při neopatrném zacházení způsobit popálení.

### 2.3.2 UV svítilna

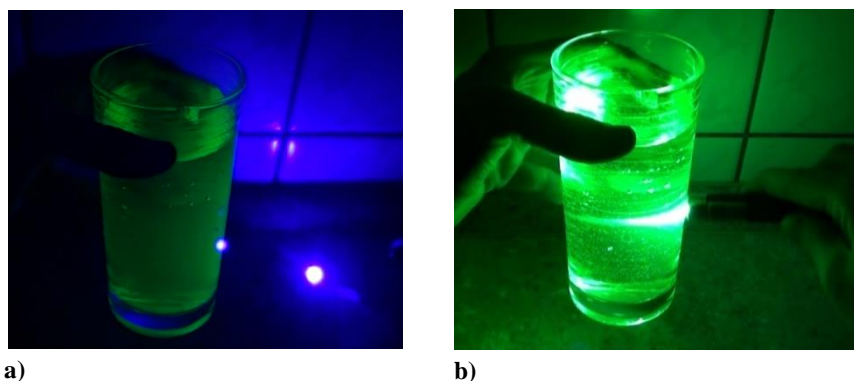
Při pokusech zaměřených na fotoluminiscenci je žádoucí mít k dispozici zdroj UV záření o větší vlnové délce, než vysílá horské slunce. Zcela postačující je jednoduchá UV svítilna obsahující UV LED diodu, viz obrázek 20. Ta vysílá **UV záření o vlnové délce 365 nm**, které spadá do oblasti UVA. S tímto typem záření přicházejí lidé do kontaktu každý den, asi 95 % UV záření, které dospěje až k zemskému povrchu, je z oblasti UVA [52]. Proto práce s uvedenou UV svítilnou nepředstavuje žádné riziko a **ochranné brýle nejsou potřeba**.



Obrázek 20 a) UV svítilna; b) Tonik při ozařování UV svítilnou

### 2.3.3 Lasery

Pracovala jsem se třemi lasery, a to **červeným** (650 nm), **zeleným** (532 nm) a **modrým** (405 nm). Modrý laser je z českého e-shopu, přičemž výrobce uvádí výstupní výkon 50 mW. Červený a zelený laser jsou levnějšími alternativami ze zahraničí s výstupním výkonem 5 mW. Lasery byly používány k fotoluminiscenci, viz obrázek 21. Při pokusech je nutno dbát na to, aby **laserový paprsek nepřišel do přímého kontaktu s okem**. V kontaktu s kůží jsou lasery nízkých výkonů zcela neškodné.



Obrázek 21 a) Sklenice s barvivem a stopa modrého laseru; b) Fotoluminiscence buzená modrým laserem

### 2.3.4 Ostatní zdroje viditelného světla

Mimo lasery byly k experimentům využívány i jiné zdroje viditelného světla, a to **LED diody různých barev, reflektory, noční svítlna** aj. Kromě reflektorů, které se mohou přehřát a způsobit lehké popálení, nepředstavují zmíněné zdroje světla žádné riziko a jejich používání je záležitostí běžného života. Jejich popisem se proto nebudu podrobněji zabývat.

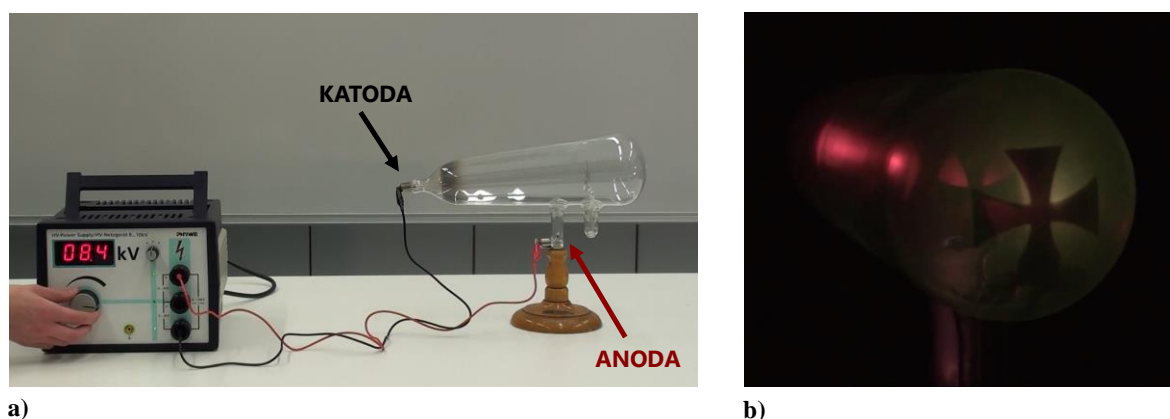
## 2.4 Další zařízení a pomůcky k experimentům

V této části budou popsány zbývající zařízení a pomůcky, které jsem využívala při experimentech. Podrobněji budou popsány katodové trubice, stručněji pak zdroje elektrického napětí, drobné elektronické součástky a další pomůcky.

### 2.4.1 Katodové trubice

Katodová trubice je **skleněná trubice naplněná zředěným plynem**, ve které jsou zataveny obvykle dvě elektrody, a to kladná anoda a záporná katoda, viz obrázek 22a. Po připojení katodové trubice ke zdroji vysokého napětí o hodnotě 5-10 kV začne zředěným plynem procházet elektrický proud. Část elektronů se v důsledku urychlení vysokým napětím dostane až za oblast anody, kde v důsledku interakce se stěnou trubice nebo fluorescenčním stínítkem způsobí emisi fotonů zeleného světla. Existují různé druhy katodových trubic, omezím se však na popis dvou typů, s nimiž jsem měla možnost pracovat.

Katodová trubice, která je na obrázku 22a, obsahuje **kovový kříž**. Po připojení ke zdroji vysokého napětí je možné na stěně trubice pozorovat obraz kovového kříže, viz obrázek 22b. Tento typ katodové trubice je vhodný pro demonstraci katodoluminiscence, absorpce elektronů kovem nebo vychylování elektronů v magnetickém poli, je-li k dispozici dostatečně silný magnet.



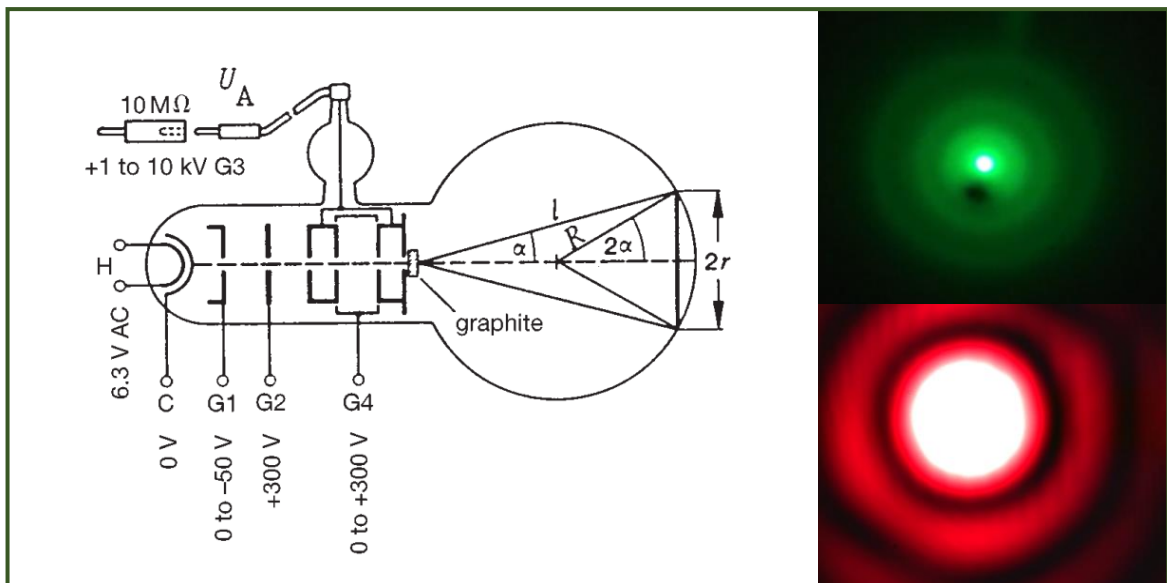
**Obrázek 22** a) Katodová trubice s kovovým křížem připojená ke zdroji vysokého napětí; b) Noční fotografie stěny katodové trubice za oblastí kovového kříže

Druhá katodová trubice, viz obrázek 23, byla zapůjčena z praktik atomové a jaderné fyziky. Od předchozí trubice se liší zejména tím, že namísto kovového kříže obsahuje **tenkou vrstvu grafitu**. Schématický náčrt katodové trubice a jejího zapojení zachycuje obrázek 24. Dokument od výrobce PHYWE popisující aparaturu podrobněji je k dispozici na [55].



**Obrázek 23** Katodová trubice sloužící k difrakci elektronů na tenké vrstvě grafitu

Při dopadu elektronů na vrstvu tenkou grafitu dochází v souladu s Braggovým zákonem k difrakci. Na fluorescenčním stínítku lze pozorovat **soustavu difrakčních kroužků**, které svou strukturou připomínají obrazec vznikající při difrakci světla na kruhovém otvoru, viz obrázek 24. Na základě měření průměru kroužků lze stanovit mezirovinové vzdálenosti v grafitové struktuře, podrobněji viz [56]. V rámci své práce jsem katodovou trubicí použila k demonstraci de Broglieho vlnové hypotézy.



**Obrázek 24** Schématický náčrt katodové trubice k difrakci elektronů, převzato z [55]; fotografie difrakčních kroužků při difrakci elektronů na tenké vrstvě grafitu (vpravo nahoře); fotografie difrakčních kroužků při difrakci světla na kruhovém otvoru (vpravo dole)

#### 2.4.2 Zdroje elektrického napětí a elektronické součástky

Pro pokusy s katodovými trubicemi je nezbytné mít k dispozici zdroj vysokého napětí, viz obrázek 23. Vysokonapěťový zdroj poskytoval napětí do 10 kV. Pro skládání nízkonapěťových obvodů postačily baterie o napětí 1,5 V, 4,5 V a 9 V. Co se týká elektronických součástek, bylo nutno zajistit kromě již zmíněných LEDek také fotovoltaické články, fotodiodu (typ 1PP75), rezistor (odpor 1 kΩ), Darlingtonův tranzistor (typ BC 517) a spojovací vodiče.

### 2.4.3 Jednoduché pomůcky

Mimo popsaná zařízení a elektronické součástky bylo nutno obstarat celou řadu dalších pomůcek. Většina z nich byla k dispozici v laboratoři školních pokusů, popř. je bylo možné zajistit doma nebo v nákupním centru. Jedná se o tyto kategorie pomůcek:

- luminiscenční materiály (zvýrazňovače, bankovky, vhodné potraviny a přírodniny, prášky na bázi hlinitanu strontnatého, lightsticky, ...);
- souprava k elektrování těles (látky a tyče různých materiálů);
- stínící materiály (papír, rouška, skleněná tabulka, plastová karta a kovové plechy);
- délková měřidla (svinovací metr, pravítko, šuplera);
- magnety (podkovovité a neodymové);
- příslušenství k uchycení předmětů (stojany, háčky);
- ochranné pomůcky (rukavice, brýle);
- předměty z domácnosti (drátěnka, polystyren, kovová mřížka, stříkačka, ...).



## 3 Tvorba videoexperimentů

Tato kapitola pojednává o samotném procesu tvorby videí a je v souladu s tradiční filmovou tvorbou členěna na **předprodukcii**, **produkcii** a **postprodukcii**. K tvorbě videí jsem přistupovala s určitými zkušenostmi, jež jsem získala v rámci bakalářské práce *Videoexperimenty z mechaniky a akustiky* [57]. Na základě kritické analýzy předchozí tvorby jsem formulovala několik **námětů na zlepšení**, které jsem hodlala promítnout do své současné práce.

- Investuji čas do rozvoje svých **dovedností v grafických a animačních softwarech**.
- Při natáčení se pokusím **zajistit lepší osvětlení**, a to ať už natáčením v letních dnech nebo osvětlením ve formě reflektorů.
- Pořídím si **kvalitnější mikrofon** nebo budu **natáčet v místnosti s lepší akustikou**. Přitom **dabing omezím na minimum** nebo jej zcela zruším.
- Budu tvořit **kratší videa s délkou pod deset minut**.

### 3.1 Předprodukce

Předprodukce je přípravnou fází, která předchází natáčení. V této části jsem se zaměřila na rešeršní činnost, ale i hlubší teoretické studium, vyjasnila jsem si základní koncepci videí a ke každému videu vytvořila podrobný scénář.

#### 3.1.2 Rešeršní činnost a základní koncepce videí

Práci jsem zahájila **rešeršní činností**, která sestávala jak z analýzy dostupného multimediálního obsahu, tak rozboru učebnic fyziky mikrosvěta a některých sbírek pokusů. Taktéž jsem se vrátila k vlastním protokolům z praktik atomové a jaderné fyziky nebo optiky. Posuzovala jsem jejich obsah a zvažovala, která měření by bylo možné uskutečnit v rámci této práce, popř. jak by je šlo obměnit. Na základě posouzení kvalit současné tvorby videoexperimentů z fyziky mikrosvěta, rešerše literatury, ale i vlastních zkušeností a preferencí jsem vymezila několik obecných zásad, jimiž se bude řídit styl a struktura mé současné tvorby videí.

- Videia budou **dynamická** a snímky z prezentací budou nahrazeny **animacemi**.
- Úvod každého videa bude motivačního rázu a jeho cílem bude **vzbudit zájem diváka o další sledování videa**. Toho bude docíleno použitím vsuvek z historie, navozením problémových situací, kladením otázek, vložením tematických záběrů z filmů, seriálů nebo počítačových her, dynamikou videa a volbou hudebního doprovodu.
- Součástí každého videa bude **krátký teoretický výklad**, na nějž budou navazovat pokusy. Použité pojmy a značení budou v souladu s formalismem zavedeným v učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia od nakladatelství Prometheus, viz [39].
- Videia budou obsahovat jak **kvalitativní**, tak **kvantitativní experimenty** a **krátké výpočty**.
- Aby videa nenahrazovala běžné demonstrační experimenty, které může provádět vyučující přímo v hodině, budu používat **vybavení, u nějž se dá předpokládat, že jej většina středních škol nemá k dispozici**. Na mysli jsou např. detektory ionizujícího záření nebo katodové trubice, jež jsou pro školy poměrně velkou finanční investicí. Zastoupeny budou také pokusy, které lze realizovat s jednoduchými pomůckami, ale jejich provedení **komplikuje nutnost zatemnit třídu**.

- Ve videích budu příležitostně účinkovat i já, přičemž budu provádět experimenty nebo podávat výklad, čímž se pokusím vnést do videí trochu osobního nadšení. **Příjemnou atmosféru** se pokusím navodit přiměřenou dávkou humoru nebo hudbou v pozadí.
- Ve videích budou zmiňovány **konkrétní aplikace fyziky mikrosvěta**, a to např. v lékařství, průmyslu nebo výzkumu. Začleňovány budou i **mezipředmětové vztahy** s chemií, biologií, matematikou, zeměpisem a dějepisem.
- Do videí budou příležitostně vkládány **jednoduché otázky** určené k samostatné úvaze.
- Videá budou v menší míře obsahovat také **autorská díla**, která nejsou mou vlastní tvorbou. Oprávnění k jejich použití a podíl ve videích bude diskutován v podkapitole 3.3.3.

### 3.1.2 Prohlídka laboratoří a studium

Společně s vedoucím diplomové práce jsem absolvovala prohlídku laboratoří, přičemž jsem měla možnost získat podrobnější **informace o dostupném vybavení** nebo **cvičně realizovat některé experimenty**. Až jsem získala představu o dostupném vybavení, vymezila jsem konkrétní experimenty, jež budou obsahem videí. Poté následovalo **hlubší studium nezbytné pro vytvoření kvalitních scénářů**. Podrobněji jsem se zabývala zejména principem fungování různých typů detektorů ionizujícího záření a přeměnami nebo aplikacemi těch druhů radionuklidů, jež byly k dispozici v laboratoři praktik atomové a jaderné fyziky. Dále jsem se zabývala historickými souvislostmi, a to od Henriho Becquerele a manželů Curieových přes projekt Manhattan až po první mezinárodní smlouvy o zákazu jaderných zbraní. Studovala jsem aplikace ionizujícího záření v lékařství, popř. některých odvětvích průmyslu či výzkumu. Připomněla jsem si strukturou standardního modelu částic, konstrukci elektronového mikroskopu a různé druhy luminiscence. Největším přínosem mi byly publikace [36]; [58] a [59].

### 3.1.3 Tvorba scénářů

Až jsem získala určitý nadhled nad širokým spektrem informací, které mohu začlenit do videí, začala jsem pracovat na scénářích. Tvorba scénářů je z mého pohledu **tvůrčí záležitost**, která vyžaduje nemalé nároky na soustředění, kreativitu a představivost. Jádrem každého scénáře jsou tematicky zaměřené experimenty. Dále je nutno sepsat poutavý úvod, začlenit plynule navazující informace, které vyústí až v experimenty a jejich vysvětlení, a dále přidat mezipředmětové vztahy a aplikace.

Vytvořila jsem celkem **deset scénářů**, jež jsou vedeny na konci této práce jako příloha. Průměrný scénář obsahuje šedesát záběrů a pokrývá šest stran formátu A4. Protože se jedná o dokumenty, které mají být především přehledné pro mě a pro kameramana, mají specifické formátování. Vytisknuté scénáře navíc obsahovaly barevné odlišení různých druhů záběrů. Po dokončení každého scénáře následovala jeho **kontrola vedoucím diplomové práce**, který se zaměřoval zejména na fyzikální korektnost a využití správné terminologie. Pokud byl vznesen návrh k opravě, vzala jsem ho v potaz a většinou podrobila scénář úpravám. Obvykle se jednalo o drobné úpravy pojmů nebo formulací, nikoliv však obsahu či posloupnosti záběrů. Ke změnám scénářů docházelo i v postprodukční fázi v důsledku toho, že některé experimenty nevyšly podle prvotních představ, mluvený komentář zněl naživo až příliš odborně nebo se jednoduše objevilo něco, čeho jsem si před natáčením ještě nebyla vědoma.

## 3.2 Produkce

Ačkoli má produkce v tradičním filmovém průmyslu více částí, podobněji viz [60], omezím se na jednodušší dělení, které lépe odpovídá charakteru mé tvorby, a to zajištění interiéru, kameru a zvuk.

### 3.2.1 Zajištění interiéru

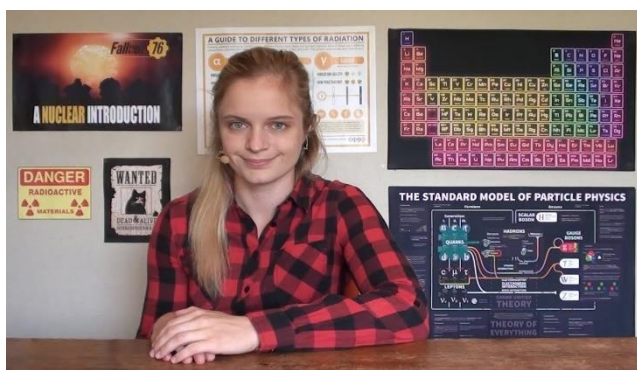
S rokem 2020 přišel na scénu podstatný organizační problém. Během příprav na vůbec první natáčení byl vyhlášen nouzový stav v souvislosti s COVID-19, načež došlo k uzavření všech škol. Protože se situace trvale nevyvíjela moc optimisticky, dospěla jsem k závěru, že nejlepším rozhodnutím bude **přesunout část natáčení do domácích podmínek**. Byl tu ale i jiný motiv, proč natáčet doma. V rámci bakalářské práce jsem řešila problém se špatnou akustikou laboratoře školních pokusů. Za použití mikrofonu se situace trochu zlepšila, ale dozvuk byl stále patrný. To by nejspíš moc nevadilo, kdyby ovšem mluvený komentář ke grafice, animacím a jiným záběrům nemusel vznikat v domácím prostředí, kde je akustika podstatně lepší a dozvuk nevzniká. Spojením scén jednak namluvených ve škole, jednak namluvených doma by vzniklo zvukově nekonzistentní video. Proto jsem se rozhodla vytvořit **novou strategii, jak k natáčení přistupovat**. Ta je shrnuta níže ve třech bodech a řeší jak organizační problémy spojené s uzavřením škol, tak problémy se záznamem zvuku.

- Záběry, v nichž pouze něco vysvětluji nebo popisuji, přičemž nepotřebuji žádné speciální vybavení, budou natočeny v domácích podmínkách. Mluvený komentář bude zaznamenáván současně pomocí mikrofonu.
- Záběry, jež zachycují experimenty, k jejichž realizaci je zapotřebí jednoduchých a finančně dostupných pomůcek, budou rovněž natočeny v domácích podmínkách (např. pokusy k luminiscenci či vnitřnímu fotoelektrickému jevu). Pokud v záběru přímo vystupuji, bude mluvený komentář současně zaznamenán mikrofonem, v opačném případě bude namluven dodatečně.
- Záběry, jež zachycují experimenty vyžadující finančně nákladné nebo objemné vybavení jako jsou detektory ionizujícího záření, zářiče nebo katodové trubice, budou natočeny ve školních laboratořích. Bude tak z velké části učiněno již během letních prázdnin roku 2020. Pokud v záběru nebudu přímo vystupovat, bude komentář namluven dodatečně v domácích podmínkách. Pokud v záběru budu vystupovat a nějak komentovat situaci, a takových záběrů bude pomálu, bude tento komentář předabován v domácích podmínkách.

Uvedené řešení bylo z mého pohledu velmi dobré. Jednak mě uzavření škol nijak nezbrzdilo, jednak se tím vyřešila většina problémů spojených se zvukem. V domácím prostředí jsem musela vytvořit **novou scénu pro natáčení**, viz obrázek 25. K dispozici samozřejmě nebyl ateliér, ani jinak zvlášť velká místnost nebo profesionální zelené plátno, ale o to zajímavější výzva to byla. Jakožto světlé pozadí posloužila sádkartonová deska, která zbyla po rekonstrukci domu. Pak stačilo vytisknout několik volně použitelných posterů s fyzikální tematikou, přichytit je na desku, přidat stůl s židlí a jednoduchá domácí scéna byla hotová. Velkou výhodou pokoje, v němž natáčení probíhalo, bylo velké okno orientované na západ. Při letním natáčení za slunečného dne byl pokoj natolik prosvětlen, že umělé osvětlení nebylo vůbec potřeba. Při podzimním natáčení dobře posloužil jednoduchý LED reflektor spolu s umělým osvětlením místnosti.



a)



b)

**Obrázek 25** a) Zákulisí domácí scény – v pozadí je sádkartonová deska s plakáty, ve střední části stůl s židlí a v popředí kamera; b) Fotografie typické domácí scény, jak je zachycena ve videích

V rámci příprav bylo nutno zajistit také scény ve škole. Natáčení probíhalo převážně v **laboratoři školních pokusů**, tj. v místnosti 4.001A PřF UP. Pokusy jsem prováděla na katedře před velkou bílou tabulí, která posloužila jako pozadí, viz obrázek 26. Vedoucí práce pořídil kvalitní **LED reflektory**, což se projevilo na obrazové kvalitě záběrů. Po domluvě s vedoucími dalších laboratoří se příležitostně natáčelo i v laboratoři praktik atomové a jaderné fyziky nebo optiky.



**Obrázek 26** Fotografie typické školní scény, jak je zachycena ve videích

### 3.2.2 Kamera

K natáčení posloužila kamera **Sony HDR-XR155E s HD rozlišením**, která v kombinaci s dobrým osvětlením, vytvořeným několika LED reflektory, poskytovala velmi dobrý obraz. Přitom úlohu kameramana při natáčení ve škole zastával vedoucí diplomové práce, Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D. V domácím prostředí jsem s kamerou pracovala sama.

V běžné filmové produkci se **nenatáčí chronologicky podle scénáře**, nýbrž se přeskakuje podle toho, k čemu je zrovna připravena scéna nebo jací herci jsou k dispozici. Stejně tomu bylo i v případě našeho natáčení. Pokud byla zrovna k dispozici např. laboratoř optiky, natočily se všechny záběry, které bylo potřeba vytvořit na daném místě, nezávisle na jejich pořadí. Obvykle se začínalo se záběry

z povzdáří, kdy jsem byla v záběru já a popisovala aparaturu, potom se přešlo na detailní záběry jednotlivých částí aparatury. Základní představa o pořadí záběrů by měla být v hlavě režiséra, případně se dotváří na místě po domluvě s kameramanem tak, aby nemusel neustále přesouvat pozici kamery nebo měnit zoom.

### 3.2.3 Zvuk

Zvuk ve filmu má tři složky, a to **mluvený komentář**, **zvukové efekty** a **hudbu**, podrobněji viz [60]. K záznamu mluveného komentáře, popř. zvukového efektu je nutno mít k dispozici **externí mikrofon**, protože kvalita mikrofonu zabudovaného v amatérské kameře obvykle není dostačující. V rámci bakalářské práce jsem nahrávala mluvené slovo pomocí klasického ručního mikrofonu značky CONNECT IT. Protože jsem se nyní snažila z velké části vyhnout dabování, tj. chtěla jsem zaznamenávat obraz i zvuk v použitelné podobně současně, musela jsem upustit od používání zmíněného typu mikrofonu. Jednak by mě mikrofon při neustálém držení v ruce omezoval v gestech a pohybech, jednak jsem měla k jeho kvalitě určité výhrady. Při výběru nového mikrofonu jsem se inspirovala z již zmíněného cyklu Badatelna [5], kde lze dobře vidět, že herci používají **náhlavní mikrofony**. Proto jsem vsadila na náhlavní mikrofon DEXON, což považuji za celkem dobrou volbu. Vybraný typ je velmi nenápadné tělové barvy, lze nasadit na hlavu a při připojení k počítači přes dostatečně dlouhý USB kabel neomezuje v pohybu. Protože se jedná o investici v řádu několika stovek korun, nedosahuje kvality jako studiové mikrofony, které používají v Badatelně, ve srovnání s předchozím typem mikrofonu ale poskytuje o něco lepší zvukovou kvalitu. Pro nahrávání zvuku jsem používala převážně program **Audacity**, popř. jsem experimentovala i s jinými programy.

Mluvený komentář je v případě mé tvorby z drtivé většiny **monologem**. Do úvodu některých videí, konkrétně *Radioaktivita: alfa záření* a *Měření radiace s dozimetrem*, jsem pro zpestření vložila i dialogy. Druhá osoba není v záběru, promlouvá na mě zpoza kamery. Jedná se o mužský hlas, který namluvil kolega. Zvukovým efektům jsem věnovala pozornost pouze ve videu *Měření radiace s dozimetrem*. Protože je možné na základě intenzity zvukového signálu, který vydává dozimetr, porovnávat aktivitu různých zářičů, nahrávala jsem zvukový signál pomocí externího mikrofonu a následně jej přiřazovala k odpovídajícím záběrům.

Poslední složkou zvuku je hudba. Na mysli mám zejména takovou hudbu, která není hlavní složkou videa a má výrazně nižší hlasitost než mluvený komentář nebo zvukové efekty, přesto však vhodně dokresluje atmosféru videa. Obvykle se pro tento typ hudebního doprovodu používá termín *hudba v pozadí* (*background music*). Velký výběr hudebních děl, jež jsou volně stažitelná a použitelná bez nároků na autorská práva, nabízí registrovaným uživatelům server YouTube. Z této sbírky jsem čerpala i já. Jednotlivé složky zvuku, tj. mluvený komentář, zvukové efekty a hudba, jsou uloženy na různých zvukových stopách a spojují se až v postprodukční fázi.

## 3.3 Postprodukce

Postprodukce je poslední fází filmové tvorby. V podstatě vyžaduje jen věci, a to počítač a trpělivost. Z pohledu mé tvorby se jednalo o časově nejnáročnější fázi. Protože lze její trvání jakožto čas strávený na počítači snadno měřit, mohu konstatovat, že postprodukční práce na jednom videu trvala v průměru 40 hodin. Pokud je ale v této fázi k dispozici kvalitní scénář, stačí se řídit jeho obsahem a vykonávat činnosti spočívající v efektivním ovládní různých programů.

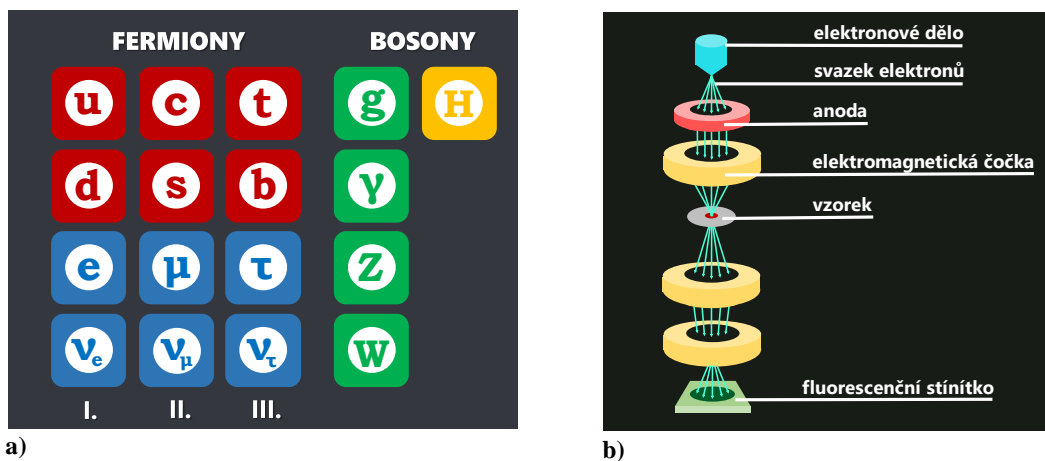
### 3.3.1 Identifikace a kontrola natočených záběrů

Téhož dne, co je dokončeno natáčení, a to ať už v laboratoři či domácím prostředí, by měla přijít na řadu **identifikace natočených záběrů**. Při klasické filmové tvorbě se k identifikaci záběrů používá klapka. V rámci mé tvorby je ale postačující si vzít na pomoc scénář a pustit se do identifikace ještě týž den, kdy je natáčení v živé paměti. Pokud má být identifikován např. dvacátý záběr z třetí části scénáře, pojmenuji ho Z20 a zařadím do složky C3, přičemž složka C3 je podsložkou aktuálního videa. Stejnému procesu je nutno podrobit zvukové stopy, později i grafiku, animace nebo převzaté záběry. Ačkoli se jedná se o nudný a rutinní proces, je vzhledem k množství záběrů i zvukových stop nevyhnutelný a zajišťuje **snadnou orientaci při pozdějším střihu**.

Současně s identifikací probíhá **kontrola natočených záběrů**. Stačí je proklikat a zaměřit se při tom na rizikové jevy, např. špatné osvětlení, zapomenutý předmět v záběru apod. **Kontrola zvukových stop** probíhá již v produkční fázi, a to buď namátkově nebo v důsledku rušivého zvuku, který jsem zaznamenala během mluvení. Pokud je nalezen chybný záběr, je buď přetočen nebo nahrazen jiným záběrem, animací či grafikou. V případě chyby zvuku je možné použít dabing, popř. celý záběr přetočit s novým mluveným komentářem.

### 3.3.2 Tvorba grafiky a animací

Věřím, že názorné animace, obrázky a jednoduché modely mohou výrazně napomoci k lepšímu pochopení celé řady jevů z fyziky mikrosvěta. Vysvětlení fotoelektrického jevu, jež bude doplněno animací znázorňující jeho průběh, bude jistě pochopitelnější než záběr na osobu předříkávající stejný obsah. V rámci postprodukce jsem se proto rozhodla zapracovat na tvorbě grafiky a jednoduchých animací. Experimentovala jsem s různými programy. Začala jsem s programem **Blender**, což je volně dostupný software pro tvorbu grafiky a animací, a to jak ve 2D, tak ve 3D prostoru. Z mého pohledu byl ale příliš komplexní a pro začínajícího grafika uživatelsky nepřívětivý. Ačkoli jsem v něm vytvořila několik jednoduchých animací, trvalo mi to jakožto začátečníkovi, který se snažil zorientovat v nekonečné nabídce programu, příliš dlouho. Taktéž jsem pracovala v programu **Adobe Photoshop**, což je editor pro tvorbu grafiky a úpravu fotografií. Program byl přehlednější a pro práci s fotografiemi a obrázky mi plně vyhovoval. Dále jsem měla možnost vyzkoušet testovací verzi programu **Zoner Photo Studio X**, k němuž poskytovala licenci naše univerzita. Prostředí pro tvorbu jednoduchých obrázků poskytoval program **GIMP**.



Obrázek 27 Ukázka vlastní grafiky: a) standardní model částic; b) transmisní elektronový mikroskop

Žádný z výše uvedených programů však nevyřešil můj problém s tvorbou animací. Až při zkoumání uživatelského rozhraní programu **Microsoft PowerPoint**, který jsem do té doby primárně používala pro návrh prezentací, se ukázalo, že mimo jiné disponuje **nástrojem pro tvorbu animací**. Ten je sice poměrně jednoduchý, ale pro mé účely plně postačující. Osvojení tohoto nástroje trvalo nanejvýš půl hodiny. Protože jsem statické obrázky tvořila spíše výjimečně a většinou jsem se zaměřovala na tvorbu animací, pracovala jsem po většinu času právě v tomto programu. Konkrétní ukázkou grafické tvorby je standardní model částic na obrázku 27a či schéma transmisního elektronového mikroskopu na obrázku 27b. Pro posouzení animací stačí zhlédnout kterékoliv video.

### 3.3.3 Volná díla a autorství

Všechno není v mých možnostech natočit, vyfotografovat nebo graficky znázornit. Některé objekty, situace nebo jevy jsou z mé pozice zcela nedostupné, např. rentgenový snímek, originální fotografie manželů Curieových nebo start kosmické rakety. Přesto pokládám za důležité nezapomínat na mezipředmětové vztahy a začleňovat i nějaké vsuvky z historie nebo biologie, ačkoli k tomu nemám obrazový materiál. Pak je tu třída objektů, jejichž natáčení teoreticky realizovat lze, ale postrádá to smysl, protože se toho chopil někdo jiný a poskytl své dílo k volnému použití. Příkladem budiž detailní záběr lidského oka. Ačkoli bych to byla schopna natočit, konečný výsledek by nebyl ani zdaleka tak dobrý, jakého dosáhli lidé s větší praxí za kamerou. Stejně tak postrádá smysl objekty tohoto typu animovat, protože to nijak nepřispěje lepšímu pochopení fyzikálních jevů.

Proto jsem do své tvorby příležitostně začleňovala i krátké úryvky z videí nebo fotografie jiných autorů. V drtivě většině případů se jednalo o díla, která jsou vedena pod licencí **Creative Commons Zero (CC0)**. Osoba, která publikovala dílo pod touto licencí, se vzdala všech autorských práv. Takové dílo lze kopírovat, upravovat, distribuovat a zpracovávat, a to bez nutnosti získávání dalšího souhlasu. Podrobněji o různých typech licencí viz [61]. K vyhledávání volných děl jsem používala multimediální knihovny *Pexels*, *Pixabay* a *Mixkit*.

Nicméně i výše uvedené knihovny mají své rezervy. Tak třeba start kosmické rakety není něco, co by si v dnešní době natočil kdekdo a pak sdílel jakožto volné dílo. V takových případech nezbyvá nic jiného než se začít pítit i po autorských dílech. Před využitím úryvků z těchto děl je nutno zvážit, zda tím nedojde k porušení **autorského zákona 121/2000 Sb.** Na základě výjimek z tohoto zákona by měl být schopen každý tvůrce posoudit, co jej opravňuje k využití autorských děl ve své tvorbě, nechce-li se dopouštět plagiátorství. Na tvorbu videí určených ke vzdělávacím účelům se vztahují konkrétní **výjimky z autorského zákona**, což jsem podrobněji rozebírala již v rámci své bakalářské práce, viz [57]. V části **Seznam autorských děl použitých ve videích**, jež je vedena na konci této práce, cituji každé autorské dílo, které jsem v určitém rozsahu využila ve své tvorbě. Je zde uveden název díla, odkaz na něj a jméno autora, je-li dohledatelné. V případě, že se jedná o úryvek z filmové tvorby, bude za autora pokládáno filmové studio, jež dílo vydalo. Úryvky z videí nebo fotografie, které jsou vedeny pod licencí CC0, nejsou citovány.

Ve všech deseti videích, jež jsem vytvořila, je **podíl přejatých děl nanejvýš 12 %**, a to bez rozlišení, zda se jedná o volné dílo nebo autorské. Zbylou procentuální část tvoří vlastní videonahrávky, fotografie, animace a grafika.

### 3.3.4 Mluvený komentář a dabing

Když jsou k dispozici obrazové složky záběrů, tj. videonahrávky, fotografie, grafika, animace a převzatý obsah, zbývá dokončit práci na hlavní zvukové složce, a to **mluveném komentáři**. Videá z domácího prostředí, v nichž přímo vystupují, již mluvený komentář mají, protože byl nahráván současně s natáčením v produkční fázi. Dále je nutno dodatečně namluvit komentář k domácím a školním záběrům, v nichž přímo nevystupují, popř. předabovat některé školní záběry. Nahrávání veškerého mluveného komentáře probíhalo pomocí již zmíněného **náhlavního mikrofону značky DEXON**. Pro ovládání a záznam zvuku posloužil program **Audacity**.

### 3.3.5 Střih

Střih je postup, při němž jsou **jednotlivé záběry skládány do vzájemných vazeb tak, aby vytvořily komplexnější významový celek**. Za záběr je možné považovat video, animaci, grafiku i fotografii. Natočená i převzatá videa je obvykle nezbytné **časově oříznout**, aby zachycovala jen vybraný děj. Někdy je užitečné upravit jejich jas a kontrast, případně využít efektu zrychlení nebo zpomalení. Stejným způsobem mohou být editovány i animace, protože je lze exportovat do formátu videa. U fotografií a grafiky je nutno nastavit **dobu zobrazování**, případně je oživit **dynamickými efekty**. Při střihu je nezbytné seřadit záběry **chronologicky podle scénáře**, přičemž lze mezi ně příležitostně **vložit grafický přechod**. U natočených videí je nutno odstranit původní zvukový doprovod a nahradit jej **zvukovou stopou z mikrofону**. O mluvený komentář musí být doplněny i zbylé záběry. Spojení všech obrazových materiálů a zvukových stop v jediné video je úlohou pro vybraný **střihový software**.

Ačkoli jsem pro střih v rámci bakalářské práce používala vedle vlastního průměrného notebooku i výkonnější počítače ve škole, tentokrát jsem si vystačila pouze s notebookem, který jsem se snažila vhodně optimalizovat, aby byl střih co nejméně chybový. Střih proto probíhal po částech, na které je rozdělen scénář, popř. po ještě menších celcích. Spojení dílčích částí v celé video proběhlo až ve finálním střihu, kdy byl přidán i hudební doprovod. Co se týká softwaru pro střih, definitivně jsem přešla na **Windows Movie Maker**. I když se jedná o základní software, který má jen omezený výběr nástrojů, byl ze všech softwarů, s nimiž jsem měla možnost pracovat, nejméně chybový. Použití střihového programu s více nástroji je sice lákavé, ale zvažovala bych to až ve chvíli, kdy bych měla trvale k dispozici výkonný stolní počítač.

### 3.3.6 Závěrečná kontrola

K dispozici je celistvé video, které obsahuje všechny stanovené části a je v souladu se scénářem. Stále však **může obsahovat chyby**, jež je potřeba eliminovat. Typicky jde třeba o překlepy v názvech veličin nebo jiných termínech, prohřešky v gramatice, nezřetelnou výslovnost či chyby ve výpočtech. Proto je nezbytné **podrobit video kontrole**.

Kontrolního proces měl tři kola, přičemž v každém kole prováděla kontrolu jiná osoba. Pokud odhalila zásadní chyby, musely být opraveny. Teprve pak mohlo video postoupit do dalšího kontrolního kola. První osobou jsem byla já. Každé video jsem v rámci kontroly zhlédla třikrát, přičemž jsem se zaměřovala na hledání chyb. Nebude ale žádným překvapením, že v prvním kole nikdy nedošlo k úplnému odhalení všech chyb. Ve druhém kole sledoval video kolega Jan Potočiar, který se přírodním vědám nebo didaktice sice profesionálně nevěnuje, ale udržuje si všeobecný



přehled. Ten většinou odhalil všechny překlepy nebo přeřeknutí. Taktéž jsem s ním mohla diskutovat, nakolik porozuměl obsahu videa. Ve třetím kole sledoval videa vedoucí diplomové práce, Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D. Ten se zaměřil na precizní kontrolu fyzikálního popisu a posoudil použité termíny a značení. Odhalil také některé drobné prohřešky ve výpočtech nebo gramatice.

### 3.3.7 Publikace a distribuce

V této fázi je k dispozici finální verze videa. Prošlo kontrolou, jeho nedostatky byly eliminovány, přičemž si nejsem vědoma žádných dalších závažných chyb. Zbývá video **publikovat na veřejně dostupném místě** a distribuovat ho mezi učitele, žáky a další potenciální diváky. V rámci bakalářské práce jsem videa publikovala na **serveru YouTube**, kde jsem založila kanál pod vlastním jménem, viz [62]. Na stejné místě jsem publikovala i videoexperimenty z fyziky mikrosvětla a zpřístupnila je tak komukoliv s připojením k internetu.

Pokud jde o fyziku, publikovat videa na serveru YouTube a čekat, co se bude dít, je málo. Nelze spoléhat na to, že učitelé nebo snad žáci budou videa ihned intenzivně vyhledávat. Potřebují vědět, že něco takového vůbec existuje. Rozhodla jsem se proto zapojit do hry ještě jednu sociální síť, a to Facebook. Nebudu se zabývat jeho popisem, ale pro účely této práce je podstatné, že na této síti mohou uživatelé utvářet **zájmové skupiny, v nichž sdílí tematické příspěvky**. Učitelé fyziky mají skupinu *Učitelé fyziky sobě (PK)*, která má k dubnu roku 2021 téměř 800 členů. Stejně tak existuje skupina *Učitelé přírodovědných předmětů*, která čítá přes 2 700 členů. V obou skupinách se objevují nové příspěvky prakticky denně, takže jsem se rozhodla připojit a sdílet zde každé nové video. Dočkala jsem se převážně kladných ohlasů, přičemž mě někteří učitelé sami kontaktovali s tím, že videa využijí ve výuce. Navázáním komunikace se přirozeně vyřešila otázka, koho oslovit pro **dotazníkové šetření**, jehož obsahem se budu podrobněji zabývat v rámci páté kapitoly.

Na serveru YouTube mohou uživatelé videa hodnotit, komentovat nebo sdílet. Pod každým videem je uveden počet zhlédnutí, na základě čehož lze posuzovat jeho dosah. Samotný tvůrce videí má přístup k mnohem většímu objemu informací. Tvůrcům videí YouTube poskytuje poměrně rozsáhlé **analýzy publikovaných videí**, z nichž lze vyčíst např. průměrnou dobu sledování jednotlivých videí nebo zdroje návštěvnosti. Pokud škola či jiná instituce uvede odkaz na některé z mých videí na svých webových stránkách, zjistím to prostřednictvím YouTube analýz. Podrobněji se této problematice budeme věnovat v páté kapitole.

## 4 Popis videoexperimentů

Hlavním výstupem diplomové práce je **deset videoexperimentů s celkovou délkou 1 h 35 min.** V rámci této kapitoly bude stručně popsán jejich obsah spolu s možnostmi využití ve výuce. Video jsou navržena tak, aby tvořila doplněk k učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia od nakladatelství Prometheus, viz [39]. Jak ale bude popsáno níže, jsou využitelná i na jiných typech škol, přičemž mohou zpestřovat nejen hodiny fyziky, ale i chemie.

### 4.1 Co je fotoelektrický jev?

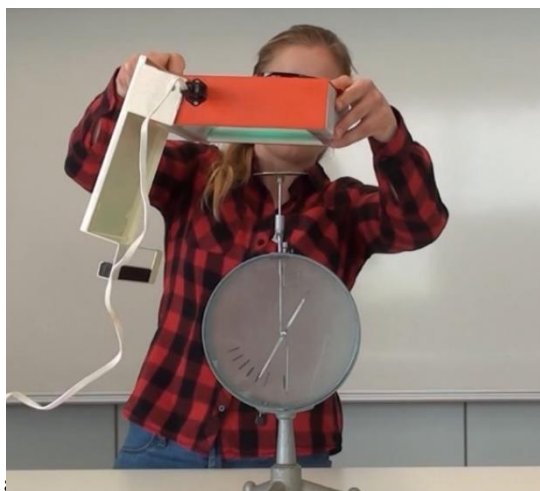
#### Adresa:

<https://youtu.be/Q-E5CtbWgqI>

#### Stručný popis:

V rámci tohoto videa je vysvětlena podstata fotoelektrického jevu, popsána Einsteinova rovnice a provedena demonstrace jak vnějšího, tak vnitřního fotoelektrického jevu. **Vnější fotoelektrický jev** je demonstrován s využitím elektroskopu, horského slunce a měděné destičky, viz obrázek 28a. Pomocí fotodiody, multimetru a světelného reflektoru je poukázáno na **vnitřní fotoelektrický jev**, viz obrázek 28b. V závěru videa jsou popsány aplikace fotoelektrického jevu v praxi. Při výběru pokusů mi byly inspirací sbírky [43]; [63] a zahraniční videa [26]; [29].

Na tomto místě bych chtěla podotknout, že vnější fotoelektrický jev není jediným efektem, který způsobuje vybíjení elektroskopu. UVC záření vysílané horským sluncem má ionizační účinky, přičemž samotná **ionizace vzduchu** a následná rekombinace kladných iontů a volných elektronů na sběrací elektrodě rovněž přispívá k vybíjení elektroskopu. Bez přítomnosti měděné destičky však vybíjení probíhalo výrazně pomaleji. Proto byl příspěvek ionizace na úkor jednoduššího výkladu zanedbán.



a)



b)

**Obrázek 28** a) Demonstrace vnějšího fotoelektrického jevu; b) Demonstrace vnitřního fotoelektrického jevu

## Využití ve výuce:

Video lze zařadit do výuky na **jakémkoli typu střední školy**, a to jak v prezenční, tak v distanční formě vzdělávání. Horské slunce není běžným vybavením každé středoškolské laboratoře. Pokud chce vyučující potvrdit výklad věnovaný fotoelektrickému jevu vhodnými pokusy, může být toto video dobrou volbou. Za ztížených podmínek distanční výuky lze video doplnit příklady a využít ho jako součást výkladu. V učebnici fyziky mikrosvětla pro gymnázia video spadá do kapitoly 2 *Pohyb v mikrosvětě*, která obsahuje podkapitulu 2.2 *Fotoelektrický jev*. V úvodu podkapitoly je slovně popsána demonstrace vnějšího fotoelektrického jevu, jež se až na materiál kovové destičky zcela shoduje s experimentem ve videu.

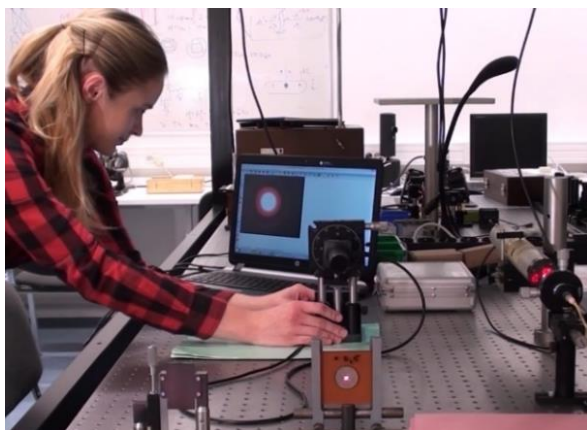
## 4.2 Elektron – částice nebo vlna?

### Adresa:

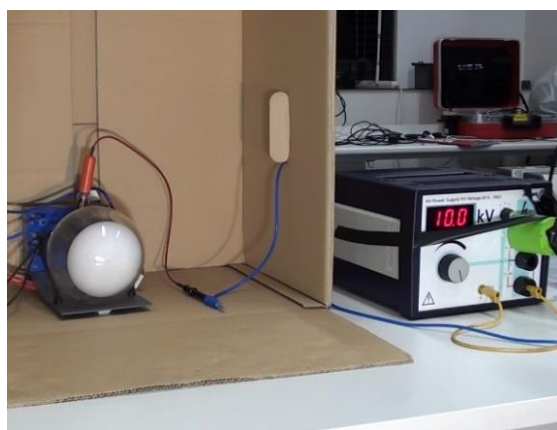
<https://youtu.be/nuWjudBtjfQ>

### Stručný popis:

V úvodu videa je nastíněn vlnový a částicový pohled na světlo. Jeho vlnová povaha je demonstrována vznikem interferenčních kroužků při **difrakci světla na kruhovém otvoru**, aparatura viz obrázek 29a. Částicová povaha je popsána na základě fotoelektrického jevu, Comptonova rozptylu a analogií z makrosvětla. Dále se plynule navazuje na otázku, zda existuje stejná dualita také ve světě částic, přičemž je vysvětlen obsah **de Broglieho vlnové hypotézy**. Platnost hypotézy je prokázána pomocí katodové trubice s tenkou vrstvou grafitu, aparatura viz obrázek 29b. Po připojení trubice ke zdroji vysokého napětí dochází k **difrakci elektronů na grafitové vrstvě** a vzniku difrakčních kroužků na fluorescenčním stínítku. Struktura kroužků přitom nápadně připomíná výsledek předchozího pokusu se světlem.



a)



b)

**Obrázek 29** a) Aparatura k difrakci světla na kruhovém otvoru; b) Aparatura k elektronové difrakci

V rámci videa je popsán obecný vztah pro **výpočet de Broglieho vlnové délky** a za zjednodušujících předpokladů je odvozen vztah pro výpočet vlnové délky elektronů v katodové trubici při daném urychlujícím napětí. Dále je srovnána de Broglieho vlnová délka elektronů s vlnovými délkami různých druhů elektromagnetického záření, ale i makroskopických těles. V závěru videa je nastíněn

**princip transmisního elektronového mikroskopu** jakožto zařízení, jež využívá vlnových vlastností elektronů k zobrazování fyzikálních a biologických struktur. Při volbě experimentů jsem vycházela převážně z vlastních zkušeností, protože s oběma zmíněnými aparaturami jsem pracovala v rámci vysokoškolských praktik. Inspirací mi byla také videa [27]; [28].

### Využití ve výuce:

Zmíněná katodová trubice je standardním vybavením vysokých škol. Z mého pohledu se ale jedná o zařízení, které by měli vidět i středoškoláci, protože v analogii se světlem jej lze využít k efektní demonstraci vlnových vlastností elektronů. Stejně tak kvalitní sestava k difrakci světla rozhodně není běžnou součástí středoškolské laboratoře. Důvodem může být **vysoká pořizovací cena** nebo **složitá konstrukce**. Absenci zmíněných pomůcek lze kompenzovat videem, jež pokládám za užitečné na všech typech středních škol, a to v prezenční i distanční výuce. Video svým obsahem de Broglieho vlnovou hypotézu nejen podrobně vysvětluje, ale také potvrzuje. V učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia spadá do kapitoly 2 *Pohyb v mikrosvětě*, konkrétně do podkapitol 2.3 *Foton* a 2.4 *Vlnové vlastnosti částic*.

Jsem přesvědčena, že popsané video může být **užitečné i pro některé obory vysokých škol**, jež jsou zaměřeny třeba technicky nebo zdravotnický, přičemž studenti musí absolvovat jisté fyzikální minimum. Koneckonců jej mohou využívat i studenti mého oboru v rámci příprav na praktikum atomové a jaderné fyziky. Co se týká teorie, nejspíš se nedozví nic nového, ale zato uvidí aparaturu, s níž budou pracovat. A to se hodí, protože návod k realizaci měření sestavený pro studenty PŘF UP neobsahuje jedinou fotografii aparatury, viz [56]. Odvozený vztah pro vlnovou délku elektronů se jim navíc bude hodit při zpracovávání protokolu.

## 4.3 Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo

### Adresa:

[https://youtu.be/EM\\_JhKvuhtI](https://youtu.be/EM_JhKvuhtI)

### Stručný popis:

Největší část videa je věnována fotoluminiscenci, a to jak buzené UV zářením, tak buzené viditelným světlem. **Fotoluminiscence buzená UV zářením** je demonstrována na dostupných pomůckách jako jsou zvýrazňovače, bankovky, tonik či výluh z kaštanových větviček. Dále jsou realizovány pokusy s fotoluminiscenčními barvivy na bázi hlinitanu strontnatého, viz obrázek 30. **Fotoluminiscence buzená viditelným světlem** je zkoumána s využitím laserů a vody, která je obarvena roztokem ze zvýrazňovačů. Na základě všech pokusů je formulován **Stokesův zákon o fotoluminiscenci**.

Zbylá část videa je věnována dalším druhům luminiscence. **Elektroluminiscence** je vysvětlena s využitím LEDek, **katodoluminiscence** pomocí katodové trubice s křížem. **Radioluminiscence** je popsána na příkladu tritiového přívěsku a scintilačního detektoru, **chemiluminiscence** na lightsticku, přičemž je zmíněno i její využití v kriminalistice. Při návrhu pokusů zaměřených na fotoluminiscenci jsem se inspirovala z různých zdrojů, např. z práce již zmíněného Jana Pokorného [9] nebo exponátů, které jsou k dispozici v science centru Pevnost Poznání.

### Využití ve výuce:

Luminiscence je komplexním tématem, které zasahuje do atomové fyziky, ale také do chemie nebo biologie. Jak předesílá popis videa, **námětů na pokusy z luminiscence je spousta**, přičemž většina z nich je **velmi nenáročná na zajištění pomůcek**. Pokusy však komplikuje skutečnost, že vyžadují zatemnění. Popsané video lze zařadit do výuky na **jakémkoli typu střední školy**. Ve videu jsou povětšinou prezentovány jednoduché a efektní pokusy, které mohou nadchnout i **žáky druhého stupně ZŠ**.

V učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia spadá video do kapitoly 3 *Atomová fyzika*, konkrétně do podkapitoly 3.5 *Lasery*, jež obsahuje krátkou zmínku o luminiscenci. Většina učebnic fyziky, chemie či biologie, do nichž jsem měla možnost nahlédnout, věnuje luminiscenci jen **velmi omezenou pozornost**. Přitom se jedná o obsáhlé a zajímavé téma, v němž je možné uplatňovat mezipředmětové vztahy. Luminiscence je z mého pohledu **dobrým námětem na projekt**, přičemž popsané video může sloužit jako inspirace k pokusům.



Obrázek 30 Fotoluminiscence vody s barvivem na bázi hlinitanu strontnatého

## 5.4 Radioaktivita: alfa záření

### Adresa:

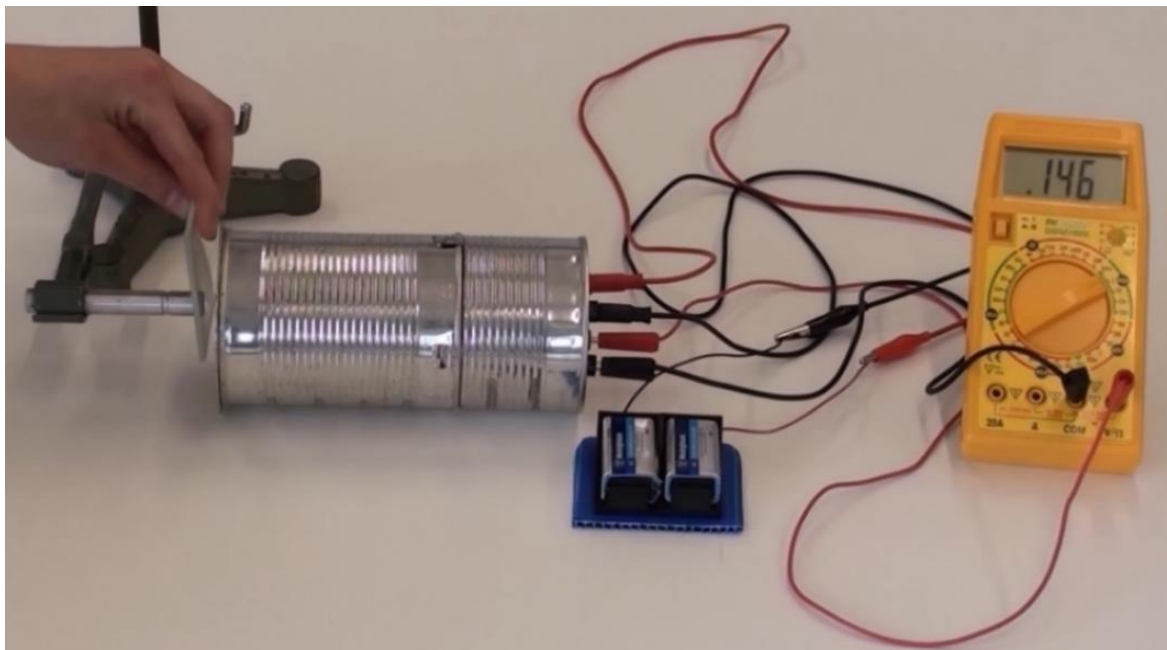
<https://youtu.be/grxibmuyhng>

### Stručný popis:

Hlavní náplní videa jsou **experimenty s ionizační komorou**, jednoduchým detektorem alfa záření vlastní výroby. Jakožto zdroj alfa záření slouží vzorek americia 241. Formou pokusů je posuzována **přítomnost přirozeného radiačního pozadí a pronikavost alfa záření ve vzduchu**. Taktéž jsou zkoumány **stínící účinky** papíru, bavlněné roušky, skla a hliníkového plechu, viz obrázek 31, a posuzovány **ionizační účinky** alfa, beta a gama záření. V rámci výkladu je objasněna fyzikální podstata alfa záření a popsána rovnice charakterizující alfa přeměnu. Formou nejružnějších schémat

a animací je vysvětlen princip ionizační komory. Na teoretické úrovni je objasněn vliv elektrického a magnetického pole na alfa částice.

Ke konstrukci ionizační komory mě motivovala pedagogická praxe na Gymnáziu Čajkovského v Olomouci, kde byl mým vedoucím učitelem Mgr. Václav Pazdera. Ten mi ukázal vlastní ionizační komoru a přeměřoval mě na návod k její výrobě, který je k dispozici na [40].



**Obrázek 31** Posuzování stínících účinků skla s využitím alfa zářiče a ionizační komory

### Využití ve výuce:

Detektory ionizujícího záření **nejsou levnou záležitostí**. Pokud si škola nemůže dovolit vlastní detektor, mohou si jej vyrobit sami vyučující. Cena za součástky k ionizační komoře nepřesahuje 100 Kč za předpokladu, že voltmetr, kabely a baterie jsou již k dispozici ve škole. V ceně je zahrnut i zářič, který lze sehnat na zahraničním e-shopu. Jestliže **vyučující pracuje s technicky zdatnějšími žáky, třeba budoucími elektrikáři, může je do výroby zapojit**. Vlastní konstrukce pro ně bude jistě užitečnější a zajímavější než pouhý výklad o vlastnostech alfa záření. Do výroby se mohou pustit i žáci v rámci **přírodovědného kroužku** nebo **tábora**, přičemž video poslouží jako motivace. Video může být zajímavé také pro **širší veřejnost se zájmem o vědu a techniku**, kterou domácí konstrukce detektoru třeba zaujme a motivuje k vlastní výrobě.

Gymnázia mají nabitě učební osnovy, obzvlášť pak před blížící se maturitou. Výroba ionizační komory v rámci běžné vyučovací hodiny asi nepřipadá v úvahu. Abstraktní učivo o neviditelném radioaktivním záření může být srozumitelnější, pokud studenti uvidí **konkrétní měření s využitím detektoru, který není jen pípající blackbox, ale zařízení, jehož principu skutečně porozumí**. To jim může poskytnout zmíněné video. V učebnici fyziky mikrosvětla pro gymnázia video spadá do kapitoly *4 Jaderná fyzika*, konkrétně do podkapitoly *4.2 Radioaktivita*, která pojednává mimo jiné o vlastnostech alfa záření. Alternativně lze video **využít také v hodinách chemie**. Radioaktivita se v rámci chemie na čtyřletém gymnáziu obvykle probírá již v prvním ročníku.



## 4.5 Radioaktivita: beta záření

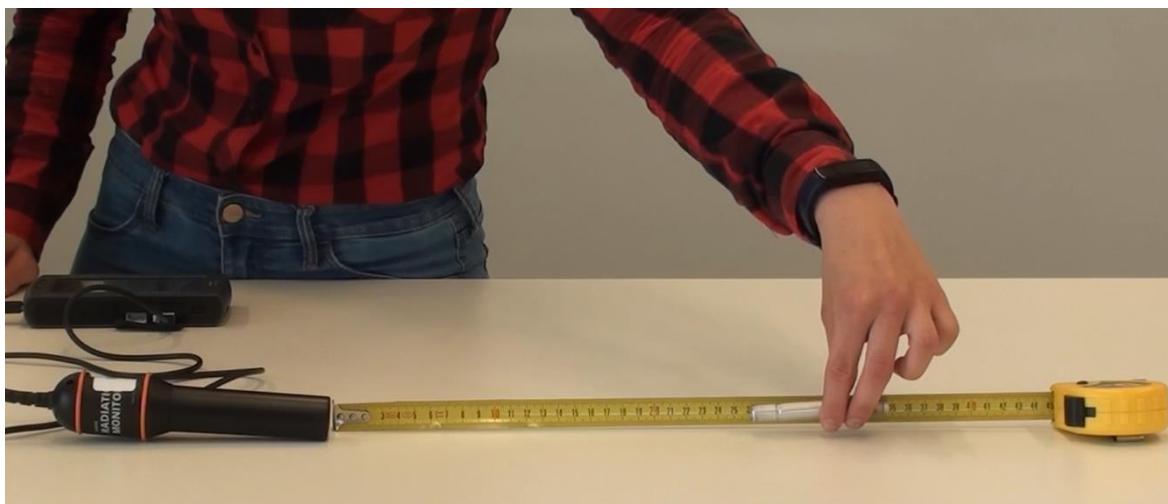
### Adresa:

<https://youtu.be/RLLVoRr04as>

### Stručný popis:

Veškeré měření je realizováno s využitím **detektoru radiace od firmy Vernier**. Jakožto zdroje beta mínus záření slouží vzorky stroncia 90 a kryptonu 85. Měření probíhá v softwaru Logger Lite, jehož průběh ve zrychlené podobě mohou sledovat i diváci. Nejprve je provedena **detekce přirozeného radiačního pozadí**, dále je zkoumána **závislost počtu detekovaných částic na vzdálenosti vzorku stroncia 90 od detektoru**, viz obrázek 32. Posuzovány jsou **stínící účinky různých materiálů**, a to papíru, bavlněné roušky, plastové karty a různých kovových plechů. S využitím vzorku kryptonu 85 a podkovovitého magnetu je prokázáno **vychylování elektronů v magnetickém poli**. Měřením je dále potvrzena zvýšená **radioaktivita draselného hnojiva**, které obsahuje radioaktivní draslík 40 podléhající převážně beta mínus přeměně.

V rámci výkladu je objasněna podstata beta mínus záření spolu s rovnicí popisující přeměnu jádra. V souvislosti se vzorkem stroncia 90 jsou nastíněny některé **historické souvislosti**, zejména pak negativní důsledky testování jaderných zbraní. Nejsou opomenuty i pozitivní aplikace a v souvislosti s beta plus zářením je popsán **princip pozitronové emisní tomografie (PET)**. Při návrhu pokusů jsem vycházela převážně z vlastních zkušeností, které jsem získala v rámci praktik atomové a jaderné fyziky. Další náměty mi poskytly sbírky [24]; [64].



Obrázek 32 Detekce beta mínus záření ze vzorku stroncia 90

### Využití ve výuce:

V učebnici fyziky mikrosvětá spadá video do kapitoly 4 *Jaderná fyzika*, konkrétně do podkapitoly 4.2 *Radioaktivita*, jež pojednává mimo jiné o vlastnostech beta záření. Popsané vlastnosti jsou ve videu experimentálně prokázány a doplněny o další zajímavosti. Cílem videa je nejen prokázat informace v učebnici, ale také **poskytnout příležitost k formování vlastních postojů**. Studentům

jsou nastíněny jak negativní důsledky testování jaderných zbraní, tak pozitivní aplikace v nukleární medicíně. Video je nenucenou příležitostí k úvaze, nakolik byl objev radioaktivity užitečný.

Detektor radiace a datalogger jsou **investicí v řádu několika tisíců korun**. Pro školy, které si toto vybavení nemohou dovolit, je dobrou alternativou popsané video. Video je **využitelné na všech typech středních škol**, a to jak v prezenční, tak v distanční výuce. Konkrétní využití video najde i v hodinách **chemie**.

#### 4.6 Radioaktivita: zdroje gama záření

##### Adresa:

<https://youtu.be/mfsRNRJCOds>

##### Stručný popis:

Video se zabývá **principem vzniku gama záření a jeho zdroji**. Pojednává o excitaci a deexcitaci atomových jader, anihilaci i gama záblescích. S využitím **digitální částicové kamery**, viz obrázek 33, je detekováno radioaktivní záření ze tří vzorků, a to americia 241, kobaltu 60 a smolince. Výstupem měření jsou tři snímky obsahující různé druhy stop. Stopy jsou ve videu identifikovány, na základě čehož je popsána jaderná přeměna zmíněných zářičů. Cílem měření je poukázat na skutečnost, že **většina zářičů je zdroji několika druhů radioaktivního záření**, přičemž gama záření nevzniká samo o sobě, ale **doprovází alfa nebo beta přeměnu**.



**Obrázek 33** Detekce radioaktivního záření ze smolince s využitím digitální částicové kamery

Dále pár slov k inspiraci. Učebnice fyziky mikrosvěta pro gymnázia [39] obsahuje řadu zajímavých kapitol. Některé jdou víc do hloubky, jiné podávají jen stručný výklad. Jsou učitelé, kterým bude rozvržení učiva zcela vyhovovat, ale jsou i takoví, kterým bude v učebnici něco chybět, to je přirozené. Mě osobně něco chybí v kapitole 4.2 *Radioaktivita*, jež pojednává mimo jiné o různých druzích radioaktivního záření. Převážná část výkladu je soustředěna na popis vlastností alfa, beta a gama záření. Konkrétním příkladem je věnována pouze tabulka s výčtem přírodních radionuklidů, kde jsou buď alfa nebo beta zářiče. **Z učebnice však jasně nevyplývá, za jakých okolností dochází k emisi gama fotonů.** To mě motivovalo k vytvoření zmíněného videa.



## Využití ve výuce:

V učebnici fyziky mikrosvěta spadá video do kapitoly 4 *Jaderná fyzika*, konkrétně do podkapitoly 4.2 *Radioaktivita*. V souladu s učebnicí fyziky je video spíše **nadstavbou běžného středoškolského učiva** a dá se zařadit třeba do **fyzikálního nebo chemického semináře na gymnáziu**. Velkou výhodou částicové kamery je schopnost **vizualizovat stopy ionizujících částic**. Princip kamery není nutné líčit studentům dopodrobna, lze ji přirovnat třeba ke kameře na telefonu. Nevýhodou částicové kamery je **vysoká pořizovací cena v řádu několika desítek tisíc korun**, v důsledku čehož rozhodně není běžným vybavením středoškolské laboratoře.

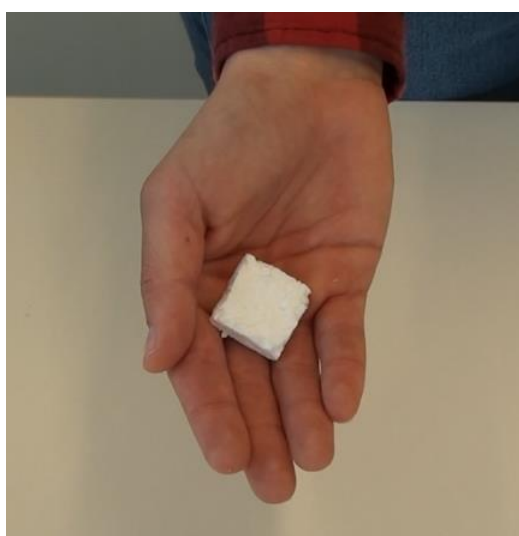
## 4.7 Ochrana před gama zářením

### Adresa:

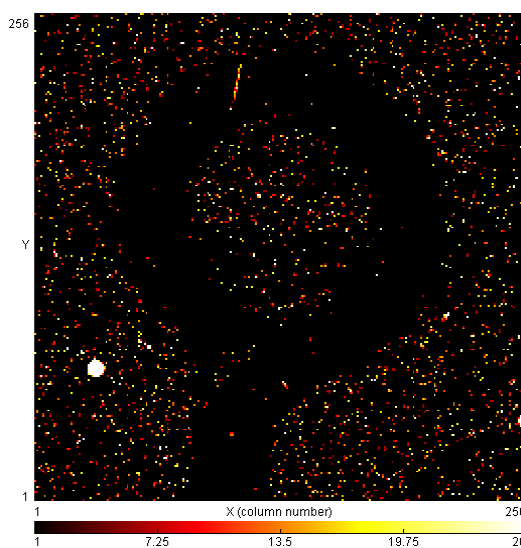
<https://youtu.be/wbFuny-WwFg>

### Stručný popis:

Ve videu jsou demonstrovány **tři základní způsoby ochrany před gama zářením**. K tomu účelu je používána **digitální částicová kamera** a vzorek americia 241. Výstupní otvor vzorku je překryt plastovou fólií, takže funguje jako čistý gama zářič. Video svým zaměřením a experimentální sestavou navazuje na předchozí video *Radioaktivita: zdroje gama záření*. Zhlédnutí předchozího videa však nepodmiňuje pochopení tohoto. S využitím snímků pořízených částicovou kamerou je studována **závislost počtu detekovaných částic na vzdálenosti zářiče od senzoru**. Na základě konkrétních dat je odvozeno, že počet detekovaných částic je nepřímě úměrný druhé mocnině vzdálenosti zářiče od senzoru. Dále je posuzována **schopnost různých materiálů odstínit gama záření** (vzduch, papír, rouška, plastová karta a různé kovové plechy). Nakonec je studována **závislost počtu detekovaných částic na čase**, po který probíhá detekce. Při návrhu experimentů jsem se inspirovala z příručky k částicové kameře, viz [38].



a)



b)

**Obrázek 34** a) Polystyrenový kvádrík obsahující neznámý kovový předmět; b) Snímek kvádríku pořízený částicovou kamerou při jeho prozařování gama zářičem

V rámci videa je popsán vliv elektrického a magnetického pole na gama záření. Dále je zmíněno, jaké jsou konkrétní aplikace gama záření (hubení škůdců, sterilizace, zákroky s Leksellovým gama nožem atd.). Aplikace, která souvisí s prozařováním předmětů za účelem zkoumání vnitřního složení a hledání skrytých vad, je demonstrována i experimentálně, viz obrázek 34.

### Využití ve výuce:

V učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia video spadá do kapitoly 4 *Jaderná fyzika*, konkrétně do podkapitoly 4.5 *Využití radionuklidů a ochrana před zářením*. Video je **vhodné pro všechny typy středních škol**, a to jak v prezenční, tak distanční formě. Alternativně je možné video využít i v hodinách **chemie, na druhém stupni ZŠ** nebo v **přírodovědných kroužcích**. Gama fotony jsou částicovou kamerou vizualizovány, v důsledku čehož jsou všechny experimenty velmi názorné.

Některé typy středních škol mají v důsledku svého zaměření velmi nízkou hodinovou dotaci fyziky. Jestli si ale jejich žáci mají něco z jaderné fyziky odnést, je to dle mého názoru aspoň **povědomí o způsobech ochrany před gama zářením**. Přístroje, které obsahují gama zářiče, se v technické praxi běžně používají a může se stát, že s nimi přijdou do kontaktu.

## 4.8 Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice

### Adresa:

<https://youtu.be/udVBB4EALZE>

### Stručný popis:

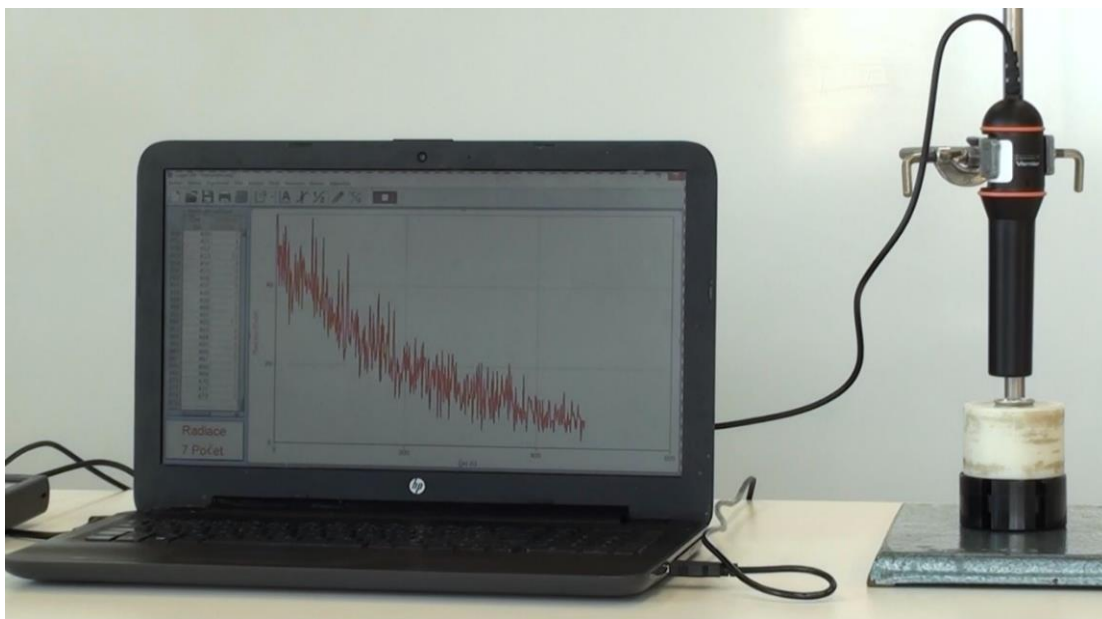
Klíčovým experimentem je **detekce gama záření ze vzorku metastabilního barya 137**, viz obrázek 35. Na základě detekce gama záření ze vzorku s krátkým poločasem přeměny, jakým je zmíněné baryum, je odvozen **zákon pro exponenciální pokles aktivity**. Taktéž je určen odpovídající **poločas přeměny a přeměnová konstanta**, přičemž je objasněn jejich význam a vzájemný vztah. Stejně měření je realizováno i pro vzorek kryptonu 85, který má výrazně delší poločas přeměny. Na základě měření se vzorkem kryptonu jsou zkoumány některé **statistické zákonitosti** související s náhodným charakterem jaderných přeměn. Počty detekcí jsou převedeny na relativní četnosti a vyneseny do histogramu. Následně je podán stručný výklad o **Poissonově rozdělení pravděpodobnosti** a možnostech aproximace, přičemž je odpovídající teoretické rozdělení porovnáno s původním histogramem. V závěru videa je diskutována jejich podobnost.

Inspirací k pokusu s metastabilním baryem mi bylo video od firmy Vernier, viz [12]. Podrobnější informace jsem našla v publikacích [64]; [65]. Co se týká návrhu pokusu s kryptonem, vycházela jsem z poznatků a zkušeností, jež jsem získala v rámci praktik z atomové a jaderné fyziky.

### Využití ve výuce:

Mimo odvození popsaných zákonitostí je cílem videa nastínit **matematickou stránku zpracovávání dat z měření**, a to co možná nejsnesitelnějším způsobem. V důsledku toho považuji video za velmi užitečné zejména pro **studenty v maturitním ročníku, jež se připravují na studium technických oborů**, popř. studenty prvních ročníků vysokých škol.

V učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia video spadá do kapitoly 4 *Jaderná fyzika*, konkrétně do části 4.2 *Radioaktivita: Zákony radioaktivních přeměn*. Úplné porozumění obsahu videa vyžaduje znalost exponenciálních funkcí a středoškolských základů pravděpodobnosti a statistiky. Video je využitelné **převážně na gymnáziích**, zejména část věnovaná zákonu pro exponenciální pokles aktivity může být velmi užitečná, a to v prezenční i distanční formě. Druhá část videa, jež je zaměřena na aplikaci Poissonova rozdělení pravděpodobnosti, nespadá do běžných středoškolských osnov a je určena **studentům s hlubším zájmem o učivo**, alternativně se dá využít jako **rozšiřující učivo ve fyzikálním či chemickém semináři**.



**Obrázek 35** Detekce gama záření z metastabilního barya 137 a vizualizace v programu Logger Lite

## 4.9 Měření radiace s dozimetrem

### Adresa:

<https://youtu.be/IcNYcFzItCo>

### Stručný popis:

Video podává stručný výklad o **základních dozimetrických veličinách**, a to absorbované dávce a dávkovému příkonu, dále pak dávkovém ekvivalentu a ekvivalentním dávkovému příkonu. Cílem videa je prokázat, že zvýšenou radioaktivitu vykazují i některé **běžně dostupné předměty**. Proto je realizována **série měření s dozimetrem**, přičemž je detekován **ekvivalentní dávkový příkon v jednotkách  $\mu\text{Sv/h}$** , viz obrázek 36.

Nejprve je provedena detekce **přírodního radiačního pozadí** a následně je detekováno záření ze **smolince, radiobarytu, sklenice a korálek z uranového skla, thoriové punčošky, elektrody a draselného hnojiva**. Navíc je specifikováno, jaký radioizotop daný předmět obsahuje, popř. jsou zmíněny některé historické souvislosti a informace o přeměnových řadách. Při zajišťování předmětů k měření jsem se inspirovala z článku Zdeňka Poláka, viz [66].



a)



b)

**Obrázek 36** a) Měření ekvivalentního dávkového příkonu na Václavském náměstí; b) Měření ekvivalentního dávkového příkonu v blízkosti sklenice z uranového skla

### Využití ve výuce:

V učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia video spadá do kapitoly 4 *Jaderná fyzika*, konkrétně do podkapitoly 4.5 *Využití radionuklidů a ochrana před zářením*. Posuzování radioaktivity běžně dostupných předmětů může být pro žáky, ale i diváky, kteří už mají studium za sebou, poměrně atraktivním tématem. Video považuji za **využitelné na všech typech středních škol**, a to jak v prezenční, tak distanční formě. Alternativně lze video zařadit i do prezenční výuky **na druhém stupni základní školy** nebo **přírodovědného kroužku**, přičemž některé teoretické záležitosti by vyučující dovysvětlil. Pokud má škola k dispozici dozimetř, lze **video pojmut jako inspiraci** a některá měření realizovat přímo ve třídě.

## 4.10 Standardní model částic a detekce mionů

### Adresa:

<https://youtu.be/baerhD8YIxU>

### Stručný popis:

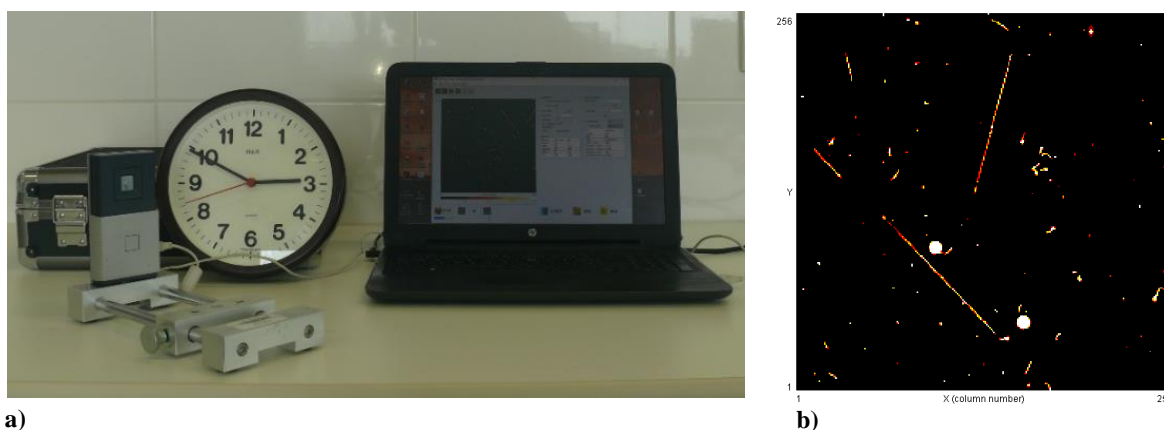
První část videa je věnována popisu **standardního modelu částic**, přičemž je objasněn pojem elementární částice a je popsáno složení běžné hmoty. Taktéž jsou jmenovány tři generace fermionů spolu s bosony. Druhá část videa se podrobněji zabývá **miony**. Vysvětluje proces jejich vzniku a zániku, zmiňuje se o možnostech pozorování stop v mlžné komoře. Dále jsou diváci seznámeni s **digitální částicovou kamerou** a stopami, které lze identifikovat na pořízených snímcích. S využitím částicové kamery je realizováno několik měření, viz obrázek 37a. Cílem měření je **detekovat miony**, které na snímcích zanechávají charakteristické přímé stopy, viz obrázek 37b.

V závěru videa podnikne částicová kamera cestu letadlem, což umožní **srovnat detekce mionů v letadle a v olomoucké laboratoři**. Při návrhu pokusů jsem se inspirovala z příručky k částicové kameře, viz [38]. Měření v letadle uskutečnil Mgr. Jiří Kvita, Ph.D.

### Využití ve výuce:

Standardní model částic se na středních školách probírá v samém závěru kurzu fyziky mikrosvěta, přičemž v učebnici pro gymnázia spadá do kapitoly 5 *Částicová fyzika*, konkrétně je obsahem podkapitol 5.2 *Systém částic* a 5.3 *Interakce mezi částicemi*. Ve jmenované učebnici [39] je dané učivo z mého pohledu nastíněno trochu nepřehledně, obsahuje spoustu pojmů, ale žádná schémata. Přitom **žádná česká výuková videa, jimiž jsem se zabývala v rámci rešerše, neobsahovala ani výklad ke standardnímu modelu částic, ani experimenty z částicové fyziky**. Přínos popsaného videa spatřuji v tom, že nabízí obojí.

Video svým zaměřením spadá do **moderní fyziky**, v důsledku čehož může zaujmout nejen **studenty středních škol**, ale i **širší veřejnost se zájmem o vědu**. Video **nemá vysoké nároky na vstupní poznatky**, postačující je znát strukturu atomu ze základní školy. Použitý výklad obsahuje všechny zásadní informace o standardním modelu částic a může nahradit část výkladu učitele v distanční výuce, popř. lze videem zpestřit prezenční výuku.



**Obrázek 37** a) Digitální částicová kamera a počítač v průběhu měření; b) Snímek obsahující čtyři stopy mionů

## 5 Hodnocení videoexperimentů

Na videoexperimentech lze hodnotit celou řadu aspektů, např. výběr pokusů, srozumitelnost výkladu i mluveného slova, kvalitu zvuku a obrazu nebo styl střihu a provedení animací. Má tvorba byla hodnocena na základě dvou metod, a to **dotazníkového šetření**, kterého se zúčastnila více než stovka žáků středních škol, a dále **analýzy sledovanosti videí na serveru YouTube**.

### 5.1 Dotazníkové šetření

Dotazníkové šetření je jednou ze základních metod empirického výzkumu v pedagogických vědách. Výzkum probíhá prostřednictvím **dotazníků**, což jsou v podstatě formuláře obsahující soubor dobře promyšlených otázek. Prostřednictvím získaných odpovědí lze posuzovat názory, postoje nebo znalosti respondentů. Přitom pod označením **respondent** rozumíme účastníka dotazníkového šetření. Podrobněji viz [67].

#### 5.1.1 Respondenti

Roli respondentů měli žáci gymnázií nebo střední odborné školy a dále účastníci vzdělávacího kurzu, jež k březnu roku 2021 studují na území České republiky či Slovenska. Proces hledání respondentů se přirozeně vyřešil s publikováním videí na sociálních sítích YouTube a Facebook, popř. navázáním kontaktů v rámci pedagogické praxe a mého vysokoškolského studia. Soupis institucí, na nichž probíhalo dotazníkové šetření, obsahuje tabulka 1.

název školy/kurzu	kraj	předmět	ročník	počet respondentů
Gymnázium Josefa Jungmanna, Litoměřice	Ústecký	chemie	sekunda, tercie, 1. ročník SŠ	59
Biskupské gymnázium Brno	Jihomoravský	fyzika	4. ročník SŠ	10
Gymnázium J. C. Hronského, Vrútky	Žilinský (SK)	fyzika	3. ročník SŠ	17
Gymnázium Olomouc – Hejčín	Olomoucký	fyzika	4. ročník SŠ	19
Střední odborné učiliště, Blatná	Jihočeský	fyzika	2. ročník SŠ	11
Kurz MUDRstart	celá ČR	fyzika	příprava na VŠ	13

Tabulka 1 Zařazení žáků v dotazníkovém šetření

Vyučující fyziky, popř. chemie působící na **Biskupském gymnáziu v Brně**, **Gymnáziu Josefa Jungmanna v Litoměřicích** a **Gymnáziu Josefa Cígera Hronského ve Vrútkách** na Slovensku mě oslovili sami na základě sdílení videí v zájmových skupinách *Učitelé fyziky sobě (PK)* a *Učitelé přírodovědných předmětů* na sociální síti Facebook. Protože se jim videa líbila a hodlali je ve výuce použít, neváhali s účastí v dotazníkovém šetření. Na **Gymnáziu Olomouc – Hejčín** jsem v říjnu roku 2020 absolvovala druhou pedagogickou praxi, v rámci které jsem navázala kontakty s vyučujícími fyziky a zajistila účast v dotazníkovém šetření. Vyučující ze **Středního odborného učiliště v Blatné** se k mé tvorbě dostal skrze vlastní vyhledávání materiálů pro distanční výuku a kontaktoval mě na mail uvedený pod videem s dotazem, zda jej může využít ve výuce. Následně mi umožnil realizovat dotazníkové šetření i mezi budoucími elektrikáři a automechaniky. Poslední skupinu respondentů tvořili účastníci českého online kurzu **MUDRstart**. Jak napovídá název, jedná se o přípravný kurz k přijímacím zkouškám na medicínu, kterého se obvykle účastní studenti posledních ročníků SŠ. Součástí kurzu jsou hodiny fyziky, které vede má kolegyně a absolventka PřF UP. Ta mi umožnila realizovat dotazníkové šetření i mezi budoucími mediky.

### 5.1.2 Dotazník

Dotazníkové šetření bylo **realizováno během března roku 2021**, tj. v době distanční online výuky. Dotazník byl studentům zpřístupněn online přes službu **Google Forms** a jeho konkrétní podoba je obsahem dalších stránek.

Na tomto místě bych chtěla podotknout, že primární náplní této práce je tvorba videoexperimentů, nikoli rozsáhlé dotazníkové šetření. Tomu odpovídá délka dotazníku, který obsahuje pouze **sedm jednoduchých otázek**. Vyučující měli volnou ruku jak při výběru videí, tak při zadávání dotazníku. V hodinách fyziky nebo chemie mohli svým žákům poskytnout odkaz na kterékoliv ze zmíněných deseti videí. Dotazník mohli zadat ve formě povinného úkolu, ale i dobrovolné aktivity, důsledkem čehož je **nerovnoměrná účast napříč různými školami**.

## Dotazník – hodnocení videí

Ahoj.

Mé jméno je Anička a jsem hlavním tvůrcem videí, která Ti nasdílel tvůj vyučující fyziky nebo chemie. Už jsme se setkali – snažila jsem se Ti ve videích přiblížit některé zákonitosti atomové a jaderné fyziky nebo chemie formou pokusů. Tvorba multimediálního obsahu ale potřebuje zpětnou vazbu. Zajímá mě, jestli Ti videa pomohla v učení, jak se Ti líbila nebo co by se na nich dalo zlepšit. Přichystala jsem si proto krátký dotazník a prosím Tě o jeho vyplnění. Neboj, nebude to na dlouho – sedm otázek, odhadem za pět minut hotovo!

Děkuji a přeji mnoho úspěchu v dalším studiu.

Bc. Anna Kuřová

studentka Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

Anna.Kuřova@seznam.cz

\*Povinné pole



1. Vyber školu nebo kurz, který navštěvuješ. \*

- Gymnázium Josefa Jungmanna, Litoměřice
- Biskupské gymnázium Brno
- Gymnázium J. C. Hronského, Vrútky
- Gymnázium Olomouc – Hejčín
- Střední odborné učiliště, Blatná
- Kurz MUDRstart

2. Vyber všechna videa, která si zhlédl(a). \*

- Co je fotoelektrický jev?
- Elektron – částice nebo vlna?
- Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo
- Radioaktivita: alfa záření
- Radioaktivita: beta záření
- Radioaktivita: zdroje gama záření
- Ochrana před gama záření
- Měření radiace s dozimetrem
- Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice
- Částicová fyzika: standardní model částic a detekce mionů

3. Pomohla Ti videa lépe pochopit probírané učivo? \*

- ano
- spíše ano
- spíše ne
- ne

4. Co se Ti na videích líbilo?

Odpověď

---

5. Co by se dalo na videích zlepšit?

Odpověď

---



6. Chtěl(a) bys, aby i další materiály určené k distanční výuce byly doplněny o podobná videa? \*

- ano
- spíše ano
- spíše ne
- ne

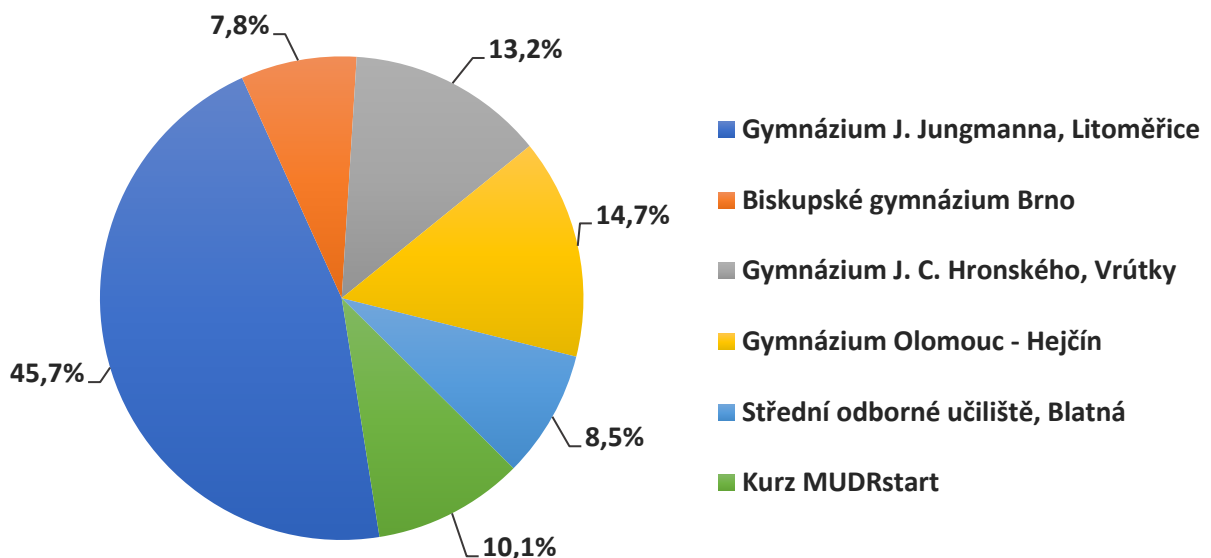
7. Líbilo by se Ti, kdyby učitelé podobná videa příležitostně využívali i pro zpestření běžné prezenční výuky? \*

- ano
- spíše ano
- spíše ne
- ne

### 5.1.3 Výsledky

Dotazníkového šetření se **zúčastnilo celkem 129 žáků** z pěti škol a jednoho přípravného kurzu. Přitom 70 z nich zhlédlo vybraná videa v rámci distanční výuky fyziky, 59 pak v rámci distanční výuky chemie. Jednotlivé položky z dotazníku jsou diskutovány níže.

**Otázka 1** Vyber školu nebo kurz, který navštívuješ.

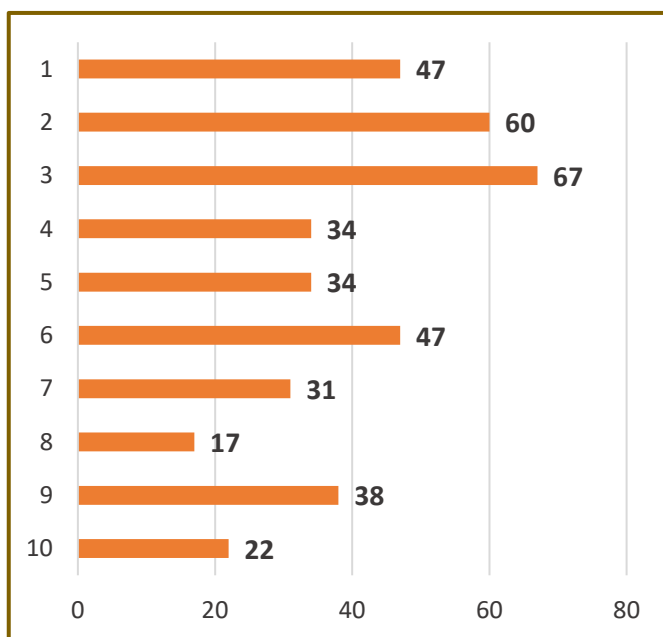


**Graf 1** Procentuální zastoupení žáků z jednotlivých institucí v dotazníkovém šetření

Z grafu 1 vyplývá, že téměř poloviční účast v dotazníkovém šetření pokryli žáci z Gymnázia Josefa Jungmanna v Litoměřicích, kde se zapojily hned tři třídy. Vyučující na litoměřickém gymnáziu začleňovala vybraná videa do hodin chemie a kompenzovala tak absenci pokusů v distanční výuce. Vyučující na hejčínském gymnáziu, v Brně a ve Vrútkách využívali videa v rámci standardního gymnaziálního kurzu fyziky mikrosvěta v předposledním nebo posledním ročníku, popř. jako opakování k maturitě. V Blatné videa sloužila jako zpestření hodin fyziky v druhém ročníku, který byl pro budoucí automechaniky a elektrikáře posledním rokem studia fyziky. V rámci kurzu MUDRstart byla vybraná videa vedena jako příloha ke studijním materiálům z fyziky.

S jistotou mohu konstatovat, že na gymnáziích v Litoměřicích a ve Vrútkách byla videa povinnou součástí výuky a dotazník vyplnili téměř všichni oslovení studenti. Na zbylých školách a v kurzu MUDRstart mělo sledování videí spolu s dotazníkovým šetřením spíše dobrovolný charakter, případně bylo motivováno jedničkou za aktivitu.

### Otázka 2 Vyber všechna videa, která jsi zhlédl(a).

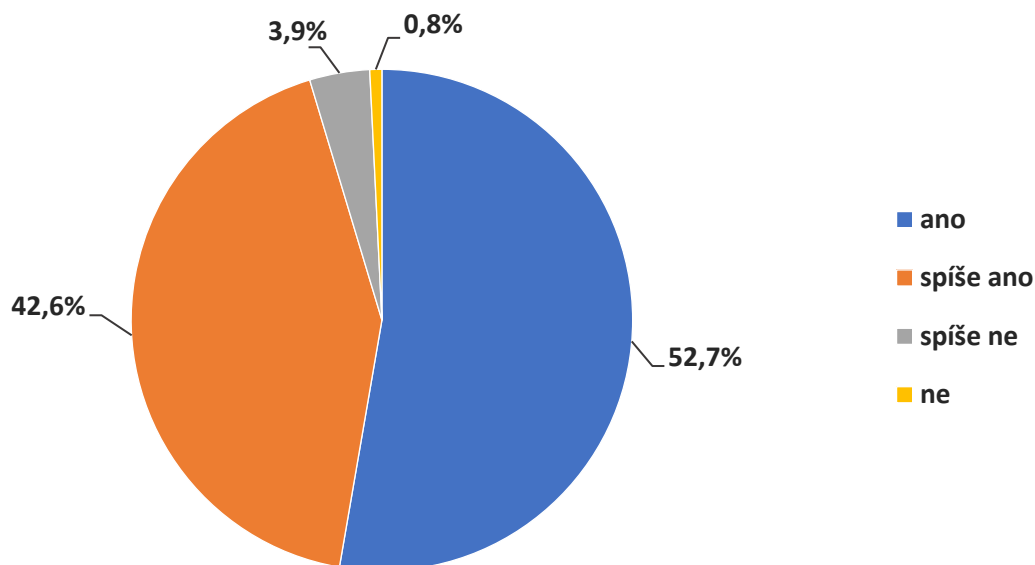


1	Co je fotoelektrický jev?
2	Elektron – částice nebo vlna?
3	Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo
4	Radioaktivita: alfa záření
5	Radioaktivita: beta záření
6	Radioaktivita: zdroje gama záření
7	Ochrana před gama zářením
8	Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice
9	Měření radiace s dozimetrem
10	Částicová fyzika: standardní model částic a detekce mionů

**Graf 2** Počty zhlédnutí jednotlivých videí v rámci dotazníkového šetření

V souladu s grafem 2 bylo z hlediska dotazníkového šetření nejsledovanější video *Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo*, druhým nejsledovanějším bylo video *Elektron – částice nebo vlna?* a o třetí místo se dělila videa *Co je fotoelektrický jev?* a *Radioaktivita: zdroje gama záření*. Domnívám se, že vysoká sledovanost prvních dvou videí je způsobena jednak jejich tematickým zaměřením na pomezí fyziky a chemie, jednak výběrem efektních pokusů, v důsledku čehož je využívala větší část učitelů. **Protože na 129 žáků připadá celkem 397 zhlédnutí, zhlédl jeden žák v průměru tři videa.**

### Otázka 3 Pomohla Ti videa lépe pochopit probírané učivo?



Graf 3 Znázornění odpovědí na otázku *Pomohla Ti videa lépe pochopit probírané učivo?*

Z grafu 3 vyplývá, že nadpoloviční většina žáků je zcela přesvědčena o tom, že jim sledování videí pomohlo pochopit probírané učivo. Videia pomohla v procesu učení aspoň částečně 95 % žáků, tj. 123 ze 129 dotazovaných. Zbylým šesti žákům sledování videí k lepšímu pochopení probíraného učiva příliš nepomohlo.

### Otázka 4 Co se Ti na videích líbilo?

Tato otázka byla otevřená, ale nepovinná. Od žáků jsem získala celkem 108 odpovědí. Na základě jejich analýzy jsem se pokusila objektivně posoudit, co se žákům na videích líbilo. Obecné aspekty, na nichž se ve svých odpovědích shodli alespoň dva žáci, jsou uvedeny níže:

- srozumitelné vysvětlení (32 žáků);
- zajímavé experimenty (31 žáků);
- animace a grafické zpracování (22 žáků);
- sjednocení teorie a experimentů v jednom videu (18 žáků);
- konkrétní příklady z praxe, propojení s běžným životem (14 žáků);
- příjemný přednes, hlas nebo vystupování (8 žáků);
- střih videí a kvalita postprodukce (5 žáků);
- adekvátní délka videí, stručnost (4 žáci);
- rekvizity: fyzikální plakáty v pozadí, hrnek s Einsteinem (3 žáci);
- hudba v pozadí (2 žáci).

Dovolím si uvést plné znění deseti vybraných odpovědí, a to bez jakýchkoli korektur gramatických nebo stylistických chyb a překladů.

*Velmi se mi líbí propracovanost a kvalita obsahu ve videích, díky pokusům a obrázkům, které byly ve videu, si lépe dokážu představit daný jev.*

*Libil se mi přednes, vysvětlení jak vše funguje a vizuální stránka (obrázky, videa, animace).*

*Dobrá práce s editací nebo také samotné témata, které jsou do detailu a objektivně probrány.*

*Chronologičnost, smysluplné věty bez "omáček", pokusy dokládající pravdivost, animované modely se vzorci*

*Míchání teoretické a praktické části tématu, nahlédnutí do prací které nám slečna Anna v laboratořích ukázala je zajímavou součástí videa, produkční a informační hodnoty jsou ve videích hezky zpracované.*

*Bylo hezky upravené a sestříhané a dobře se z něho učilo.*

*Veľmi dobré a profesionálne vysvetlenie tém.*

*podrobnosť videí, veľa vhodných príkladov, jednoduché ale skvelé vysvetlenie*

*je to oveľa lepšia forma vzdelávania, zaujíma má viac keď môžem aj vidieť nie len počuť.*

*Určitě množství pokusů, které bylo ve videích zahrnuto, protože ačkoli je teorie důležitá, je minimálně stejně důležité ukázat, že chemie i fyzika nejsou jenom školní předměty, ale existují a fungují všude okolo nás a i když si to v absolutní většině neuvědomujeme, setkáváme se s nimi dnes a denně. Osobně mi vyhovovala i délka videí, která byla jednoduše řečeno tak akorát – dost dlouhá na to, aby poučila a vysvětlila, ale i dost krátká na to, abych se nestihla hned na začátku ztratit, což se mi teda občas taky povedlo, ale já jsem takový vědecký poleno :D Další věc, obecně se mi líbí tvůj přístup založený na myšlence, že celá věda se zakládá na pokusech. Jejich prostřednictvím totiž nejlépe donutíš takovou středoškolskou gymnazistku si taky něco zapamatovat, protože teorie mi často vůbec nic neříká, ale pokusy si většinou pamatuju aniž bych se o to nějak ohromně snažila.*

### **Otázka 5** Co by se dalo na videích zlepšit?

Otázka byla opět otevřená a nepovinná, přičemž odpověď poskytlo celkem 85 žáků. Obecné aspekty, na jejichž zlepšení nebo úpravě se shodli aspoň dva žáci, jsou uvedeny níže:

- vyhovuje mi aktuální podoba videí (25 žáků);
- nevím (15 žáků);
- hudba v pozadí je příliš hlasitá nebo nadbytečná (6 žáků);
- kvalita zvuku (6 žáků);
- kvalita obrazu (4 žáci);

- vystupování a přednes (4 žáci);
- videa by mohla být více odborná (3 žáci);
- výklad je moc pomalý (2 žáci);
- videa jsou až příliš odborná (2 žáci);
- hudba v pozadí by mohla být hlasitější (2 žáci);
- na konci videí chybí shrnutí nebo domácí úkol (2 žáci);
- ve videích by mohl účinkovat i nějaký host (2 žáci);
- videa by mohla být delší (2 žáci).

Většina odpovědí poskytuje **užitečnou zpětnou vazbu**, k čemuž se ještě vyjádřím v rámci diskuze. Nicméně některé dvojice odpovědí jsou vyloženě protichůdné. Tři respondenti by uvítali odbornější obsah, ale jiní dva se už v tom současném ztrácejí. Šest respondentů považuje hudbu v pozadí za příliš hlasitou, dva by ji uvítali ještě hlasitější. V těchto aspektech se nelze zavděčit všem. Konkrétní ukázkou budiž deset odpovědí v původním znění.

*Videa jsou skvělá taková, jaká jsou teď.*

*nic, rád bych se podíval třeba do Temelína*

*videa se mi líbily, avšak na mě byla asi moc odborná*

*Přednes (nevadil by rychlejší), přejít do větších detailů (proč, jak, za jakých podmínek)*

*máš zvláštní intonaci, která je trošku rušivá, když se to člověk snaží pochopit*

*vím, že se to nedá ovlivnit, ale mě byl nepříjemný hlas; otazníky za normálními oznamovacími větami*

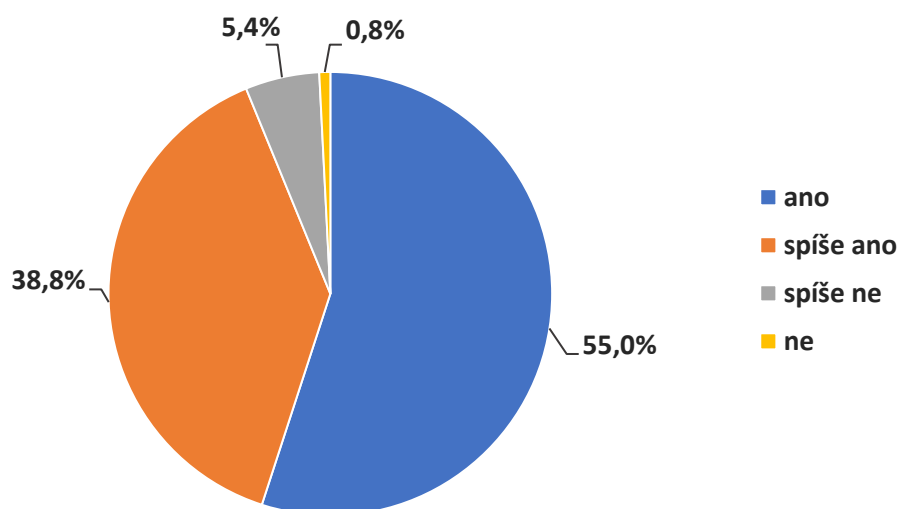
*Na konci videa bych se nebál přidat nějaký "domácí úkol" na zopakování, protože u podobných videí na Youtube je problém, že si z toho člověk moc nezapamatuje (moc informací najednou), hudba v pozadí je nepříjemná redundantní*

*Upřímně nedokážu pořádně říci co by šlo zlepšit. Možná jedině kdyby byla hudba trochu hlasitější.*

*Zvuk je někdy tišší někdy hlasitější, mění se to v průběhu videa (ne u všech)*

*Kvalitu zvuku a obrazu*

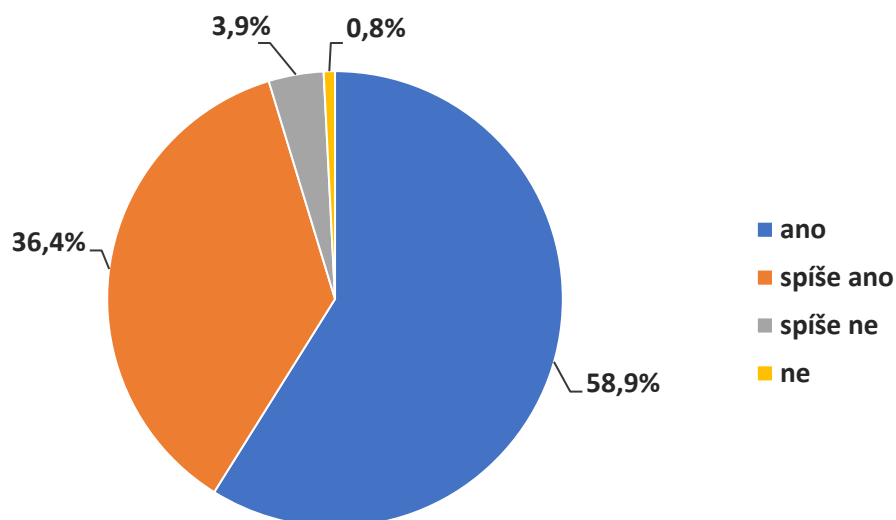
**Otázka 6** Chtěl(a) bys, aby i další materiály určené k distanční výuce byly doplněny o podobná videa?



**Graf 4** Znárodnění odpovědí na otázku *Chtěl(a) bys, aby i další materiály určené k distanční výuce byly doplněny o podobná videa?*

Graf 4 poukazuje na skutečnost, že více než polovina žáků, konkrétně 71 ze 129 dotazovaných, si přeje, aby i další studijní materiály určené k distanční výuce byly doplněny o videoexperimenty nebo jiná podobná videa. Dále 93,8 % žáků, což odpovídá 121 ze 129 dotazovaných, souhlasí s doplněním studijních materiálů o videoexperimenty aspoň částečně. Zbýlých osm žáků se vyjádřilo spíše negativně, tj. o začlenění videoexperimentů do materiálů k distanční výuce nestojí.

**Otázka 7** Líbilo by se Ti, kdyby učitelé podobná videa příležitostně využívali i pro zpestření prezenční výuky?



**Graf 5** Znárodnění odpovědí na otázku *Líbilo by se Ti, kdyby učitelé podobná videa příležitostně využívali i pro zpestření prezenční výuky?*

V souladu s grafem 5 by téměř 59 % žáků ocenilo, kdyby byly videoexperimenty příležitostně využívány i v prezenční výuce. Tomu odpovídá 76 ze 129 dotazovaných, což je o pět žáků více než v předchozí otázce k distanční výuce. Mohu si jen domýšlet, proč by tito žáci ocenili videa více v prezenční než v distanční výuce. Možná jim chybí možnost se na některé věci doptat vyučujícího, možná jsou multimediálním obsahem prostě jen přehlčeni. Zbylé počty lze dopočítat z grafu 5.

## 5.2 YouTube analýzy

YouTube je největším **internetovým serverem pro sdílení videí**. V květnu roku 2005 jej spustili Steve Chen, Chad Hurley a Jawed Karim, zaměstnanci americké firmy PayPal. Jejich představa byla jednoduchá, chtěli vytvořit web, který umožní lidem sdílet vlastní domácí videa. Přitom již k březnu roku 2006 bylo na webu publikováno více než 25 miliónů videí a v létě téhož roku uživatelé sledovali více než 100 miliónů videí denně. S prudkým úspěchem společnosti YouTube ale přicházely i první problémy. Neustálé zajišťování datových úložišť, problémy s autorskými právy, první soudní spory. To podnítilo zakladatele společnosti k hledání kupce. Tím nebyl nikdo jiný než **americký gigant Google**, který v listopadu roku 2006 pohltil YouTube, za což jeho zakladatele odměnil částkou 1,65 miliard dolarů. Podrobněji viz [68].

YouTube nabízí svým uživatelům celou řadu funkcí. Umožňuje vyhledávat a sledovat videa, hodnotit je, komentovat i sdílet, odebírat obsah různých tvůrců, vytvářet kanály a publikovat zde vlastní obsah. S tím souvisí také způsob, jakým YouTube vydělává. Na základě sběru dat o konkrétních uživateliích skrze obsah, který sledují, jim dokáže nabídnout personalizované reklamy a zvýšit tak jejich úspěšnost. Tvůrcům videí poskytuje nástroj **YouTube analýzy**, prostřednictvím kterého mohou posuzovat úspěšnost svých videí na základě různých metrik. Dohledat lze např. dobu sledování, počet zhlédnutí, průměrný zhlédnutý procentuální podíl, počty získaných odběratelů nebo zdroje návštěvnosti, prostřednictvím kterých se diváci k videům dostali. Přitom je možné zvolit libovolné časové období, pro které má být analýza provedena.

V rámci této části budou s využitím nástroje YouTube analýzy posuzovány dvě skupiny videí. První skupinou jsou **videoexperimenty z mechaniky a akustiky**, jež jsem vytvořila v rámci bakalářské práce. Cílem této analýzy je poukázat na skokový nárůst sledovanosti videoexperimentů v období distanční online výuky a doložit tak jejich užitečnost a potřebu vytvářet další. Druhou skupinou, která bude podrobena analýze, jsou **videoexperimenty z fyziky mikrosvěta**, jež jsem vytvářela v rámci této práce.

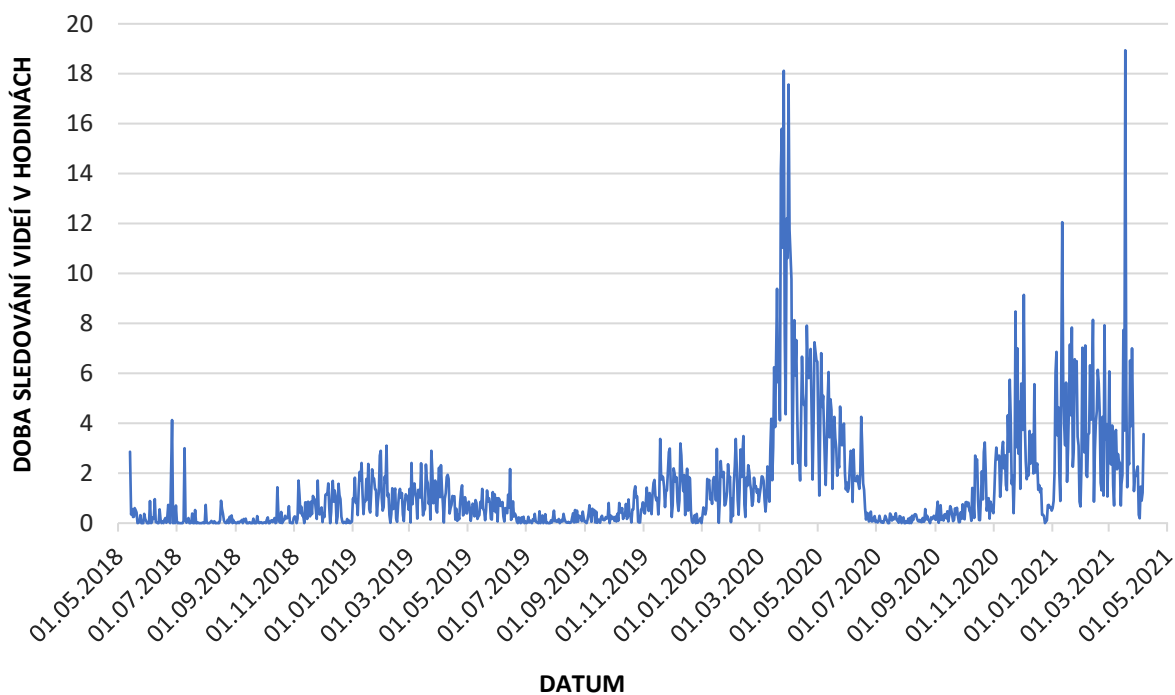
### 5.2.1 Motivační videoexperimenty z mechaniky a akustiky

V rámci bakalářské práce jsem vytvořila celkem devět videí. Na serveru YouTube jsou k dubnu roku 2021 k dispozici již dva až tři roky. Pro poměrně dlouhé časové období sběru dat jsou zajímavým vzorkem pro analýzu. Základní data jako je průměrný zhlédnutý podíl, celková doba sledování v hodinách nebo počet zhlédnutí uvádí tabulka 2.

Sedm z devíti publikovaných videí má k dubnu roku 2021 více než 1 000 zhlédnutí. Nejsledovanější jsou videa *Co dokáže třetí síla?* a *Těžiště a stabilita tuhého tělesa*, jejichž hodinová sledovanost výrazně vyčnívá nad průměrem. V součtu mají videoexperimenty z mechaniky a akustiky ke dni 7. 4. 2021 **více než 27 tisíc zhlédnutí a celkovou dobu sledování zhruba 1,5 tisíc hodin**.

název videa	datum zveřejnění	délka videa	průměrný zhlédnutý podíl	počet zhlédnutí	celková doba sledování
Fakírovo lože: rozložení tlaku	13.5.2018	6:12	37,6 %	1 889	73,3 h
Polystyrenová koule v akci: tlak vzduchu a Bernoulliho rovnice	13.5.2018	13:47	22,7 %	1 303	68,0 h
Co dokáže třecí síla?	9.7.2018	11:27	32,4 %	9 630	595,8 h
Těžiště a stabilita tuhého tělesa	16.8.2018	16:21	22,7 %	8 258	510,8 h
Jak vyrobit vodní raketu: zákon akce a reakce v praxi	14.10.2018	9:21	25,6 %	1 605	64,1 h
Jak řezat papírem: energie rotačního pohybu	5.11.2018	4:52	35,8 %	457	13,3 h
Stojaté vlnění a Chladniho obrazce	18.11.2018	6:08	33,8 %	2 275	78,7 h
Svíčková houpačka: princip páky trochu jinak	25.11.2018	10:20	27,2 %	431	20,2 h
Odstředivá síla s vrtačkou	9.4.2019	13:15	23,1 %	1 177	60,1 h

**Tabulka 2** Analýza videoexperimentů z mechaniky a akustiky (data vychází ze statistik na serveru YouTube pro časové období 13. 5. 2018 – 7. 4. 2021)



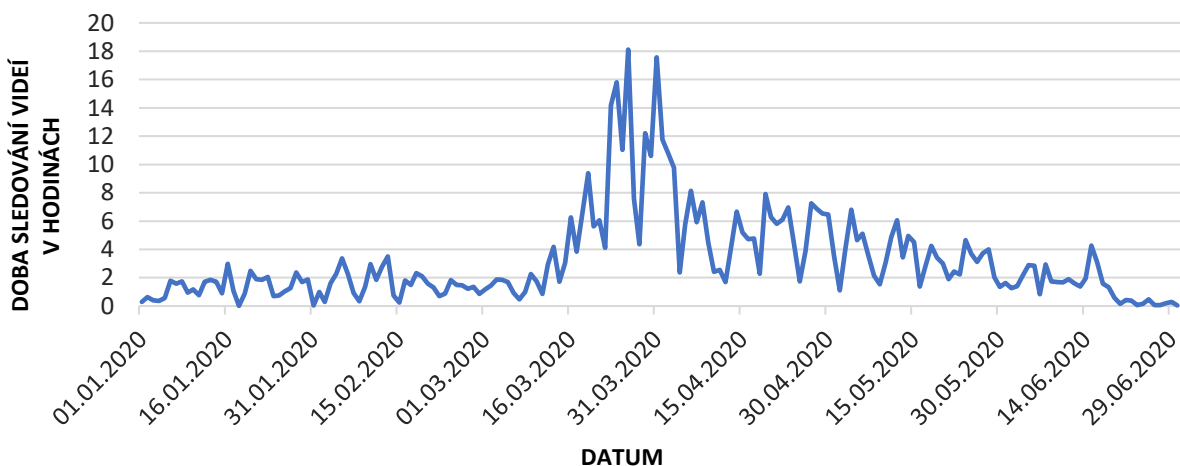
**Graf 6** Graf závislosti sledovanosti videoexperimentů z mechaniky a akustiky na aktuálním datu (graf vychází ze statistik na serveru YouTube a je vytvořen pro časové období 13. 5. 2018 – 7. 4. 2021, sledovanost je zaznamenávána po dnech)



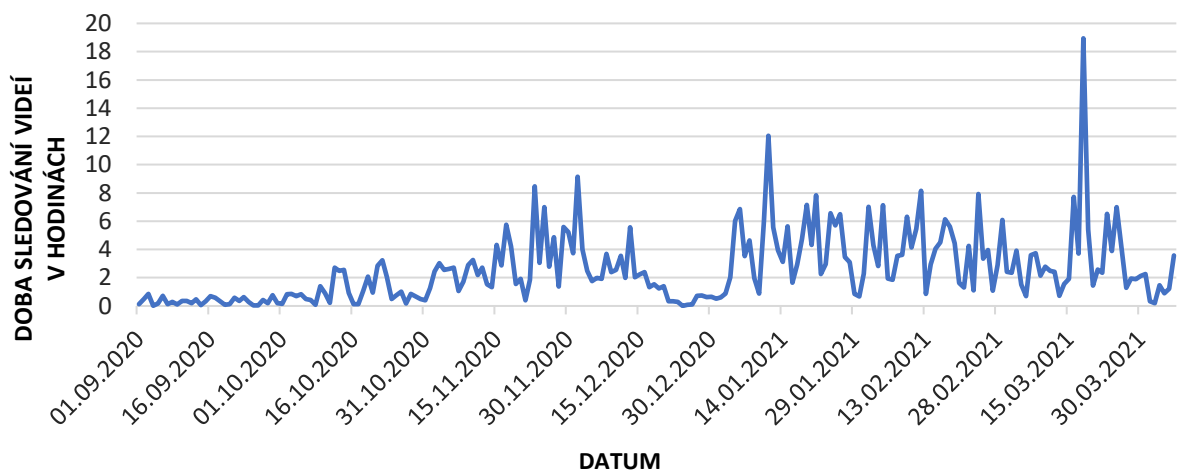
Zajímavým aspektem je také **časový vývoj sledovanosti videí**. Graf 6 znázorňuje závislost doby sledování videí v hodinách na aktuálním datu. První výrazný pík připadá na datum 26. 3. 2020, kdy byla videa sledována celých 18,1 hodin. Druhý výrazný pík na konci je ze dne 18. 3. 2021, kdy byla videa sledována 18,9 hodin. Co je příčinou rapidního nárůstu sledovanosti v okolí dvou zmíněných píků? To postupně odhalí další dva grafy.

Graf 7 zachycuje vývoj doby sledování videí od začátku roku 2020 až do období letních prázdnin. Rychlý nárůst sledovanosti nastal v průběhu března, tj. s vyhlášením **prvního nouzového stavu** v souvislosti s COVID-19 a uzavřením škol. K propadu sledovanosti došlo až s příchodem letních prázdnin. Od prvního nouzového stavu do konce školního roku byla videa sledována 480 hodin.

Graf 8 zachycuje vývoj sledovanosti videí od září roku 2020 až do dubna roku 2021. V září byla sledovanost videí poměrně nízká, protože školní docházka probíhala prezenční formou. V říjnu sledovanost postupně narůstá, což koreluje s vyhlášením **druhého nouzového stavu** a postupným uzavřením škol. Sledovanost videoexperimentů z mechaniky a akustiky se zvyšovala až do Vánoc, kterým v grafu odpovídá propad. Počínaje novým rokem se sledovanost videí prudce zvedla a dne 18. 3. 2021 dosáhla maxima. Od počátku vyhlášení druhého nouzového stavu do dne 7. 4. 2021, kdy byla realizována tato analýza, zaznamenaly videoexperimenty celkem 547 hodin sledování.

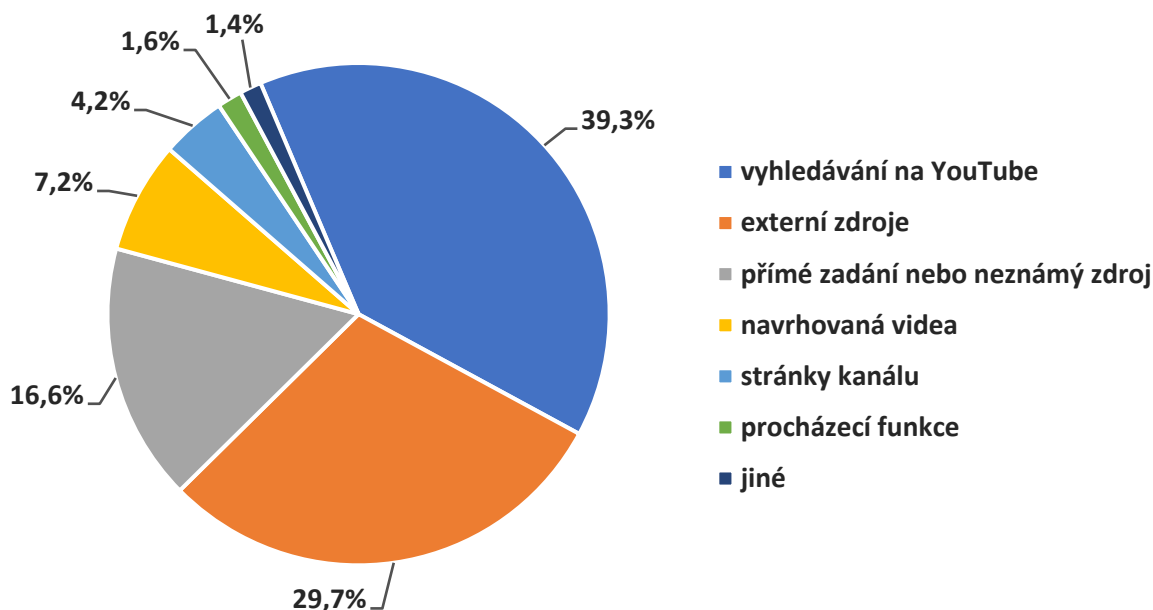


**Graf 7** Graf závislosti sledovanosti videoexperimentů z mechaniky a akustiky na aktuálním datu (graf vychází ze statistik na serveru YouTube a je vytvořen pro časové období 1. 1. 2020 – 30. 6. 2020)



**Graf 8** Graf závislosti sledovanosti videoexperimentů z mechaniky a akustiky na aktuálním datu (graf vychází ze statistik na serveru YouTube a je vytvořen pro časové období 1. 9. 2020 – 7. 4. 2021)

Další aspekty, které lze posuzovat s využitím YouTube analýz, jsou **zdroje návštěvnosti**. Odkud se diváci k videoexperimentům z mechaniky a akustiky vůbec dostali? Odpověď poskytuje graf 9.



**Graf 9** Zastoupení zdrojů návštěvnosti při sledování videoexperimentů z mechaniky a akustiky na YouTube

Z grafu 9 je patrné, že největší procento přístupů pochází z vlastního **vyhledávání na YouTube**. Na základě YouTube analýz lze stanovit **klíčová slova**, jež uživatelé nejčastěji vyhledávali. Seznam klíčových slov obsahuje ke dni 7. 4. 2021 kolem stovky položek, přičemž mezi nejčtenější patří:

- těžiště (334 přístupů);
- třecí síla (233 přístupů);
- tření (189 přístupů);
- Bernoulliho rovnice (40 přístupů);
- stojaté vlnění (40 přístupů);
- Chladniho obrazce (31 přístupů);
- smykové tření (22 přístupů);
- zákon akce a reakce (17 přístupů);
- mechanika tuhého tělesa (13 přístupů);
- odstředivá síla (13 přístupů).

Téměř 30 % přístupů pochází z **externích zdrojů**, které diváky přeměrovaly na videa. Seznam externích zdrojů obsahuje ke dni 7. 4. 2021 přes 170 položek. YouTube neposkytuje přímé odkazy na webové stránky, kde jsou videa publikovaná, pouze obecné názvy webů nebo domén. Největší četnosti přitom odpovídají běžným komunikačním kanálům a vyhledávačům:

- vyhledávač Google (2 558 přístupů);
- Facebook, Messenger (512 přístupů);
- Gmail (159 přístupů);
- email na Seznamu (129 přístupů).

Videa byla sdílena i v aplikacích, které se v současné době běžně využívají k distanční online výuce:

- Google Classroom (266 přístupů);
- Bakaláři (247 přístupů);
- Microsoft Teams (222 přístupů);
- Google Docs (198 přístupů);
- Škola online (190 přístupů).

Potěšující záležitostí je, že mezi zdroji návštěvnosti jsou zastoupeny také **weby škol**, a to v poměrně hojném počtu. Přirozeně mě zajímalo, jestli bude možné na konkrétních webových stránkách videa dohledat. U škol, které vyžadovaly přihlášení, to nebylo možné, ale u některých základních škol, které studijní materiály sdílely veřejně, se mi to skutečně podařilo. Níže uvádím seznam škol, které podle YouTube analýz zprostředkovávaly přístup k videoexperimentům z mechaniky a akustiky:

- Masarykova Univerzita v Brně (156 přístupů);
- ZŠ Březnice (125 přístupů);
- Gymnázium Andreja Vrábla, Levice, SK (54 přístupů);
- Katolické gymnázium Třebíč (40 přístupů);
- ZŠ Jihlava, Demlova 32 (37 přístupů);
- ZŠ Jaroměř – Josefov (28 přístupů);
- Gymnázium Vincence Makovského v Novém Městě na Moravě (27 přístupů);
- Obchodní akademie Tomáše Bati a VOŠ ekonomická ve Zlíně (22 přístupů);
- ZŠ Jeremenkova, Praha (20 přístupů);
- ZŠ Morkovice – Slížany (20 přístupů);
- ZŠ a MŠ Křenovice (19 přístupů);
- ZŠ Bartošovice (17 přístupů);
- ZŠ Jablonec nad Nisou – Kokonín (14 přístup);
- Gymnázium Christiana Dopplera v Praze (13 přístupů);
- ZŠ a MŠ Raškovice (10 přístupů);
- ZŠ Litvínovská 500, Praha (9 přístupů);
- Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové (8 přístupů);
- Gymnázium – Gimnázium Filákovo – Fůlek, SK (8 přístupů);
- ZŠ Zubří, Vsetín (8 přístupů);
- ZŠ Ostrava, Matiční 5 (7 přístupů) a další.

Graf 9 obsahuje ještě pět nediskutovaných kategorií zdrojů, k nimž se vyjádřím jen ve stručnosti. *Přímé zadání nebo neznámý zdroj* odpovídá návštěvnosti při přímém zadání URL adresy, dále od odhlášených uživatelů a z nerozpoznaných aplikací. Kategorie *navrhovaná videa* pokrývá zhlédnutí těch videí, jež YouTube doporučil vybraným uživatelům na základě obsahu, který trvale sledují. Kategorie *stránky kanálu* pokrývá návštěvy samotného kanálu a související konzumaci videí, kategorie *procházení funkce* odpovídá návštěvnosti z domovské stránky, ze zdroje odběrů a dalších prvků k procházení obsahu. Méně obvyklé zdroje návštěvnosti jsou zastoupeny v kategorii *jiné*.

Poslední ukazatel, jež stojí za zmínku, je **počet odběratelů**, kteří se na základě zhlédnutí konkrétních videí přihlásili k trvalému odběru obsahu z kanálu. Po zhlédnutí některého videoexperimentu z mechaniky a akustiky se ke dni 7. 4. 2021 k odběrům přihlásilo celkem **54 uživatelů**.

## 5.2.2 Motivační videoexperimenty z fyziky mikrosvětla

V rámci diplomové práce jsem vytvořila deset videoexperimentů z fyziky mikrosvětla a publikovala je na serveru YouTube. Základní informace o sledovanosti videí obsahuje tabulka 3.

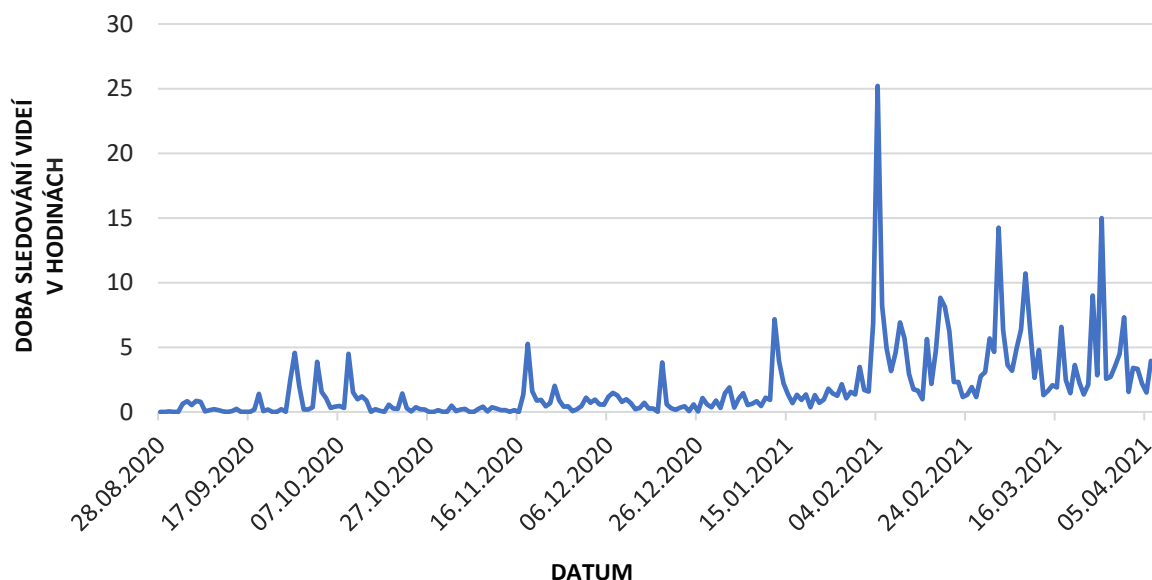
název videa	datum zveřejnění	délka videa	průměrný zhlédnutý podíl	počet zhlédnutí	celková doba sledování
Co je fotoelektrický jev?	4.9.2020	7:33	39,0 %	1 048	51,5 h
Elektron – částice nebo vlna?	3.2.2021	8:43	40,5 %	1 143	67,3 h
Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo	17.2.2021	9:49	43,2 %	476	33,7 h
Radioaktivita: alfa záření	19.9.2020	9:39	34,4 %	1 366	75,6 h
Radioaktivita: beta záření	17.11.2020	9:59	32,9 %	673	36,8 h
Radioaktivita: zdroje gama záření	7.12.2020	6:16	35,7 %	503	18,7 h
Ochrana před gama zářením	7.12.2020	9:44	33,8 %	801	43,9 h
Měření radiace s dozimetrem	11.1.2021	9:59	36,9 %	474	29,1 h
Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice	2.3.2021	12:11	30,4 %	460	24,0 h
Částicová fyzika: standardní model částic a detekce mionů	28.8.2020	9:46	34,5 %	737	41,4 h

**Tabulka 3** Analýza videoexperimentů z fyziky mikrosvětla (data vychází ze statistik na serveru YouTube pro časové období 28. 8. 2020 – 7. 4. 2021)

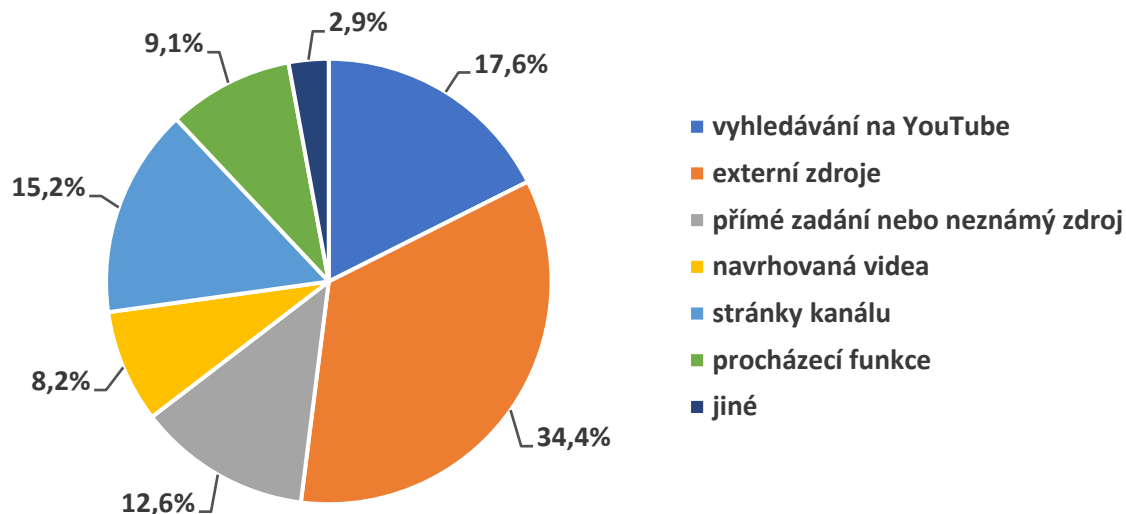
Tři videa z fyziky mikrosvětla dosáhla ke dni 7. 4. 2021 více než 1 000 zhlédnutí, další k tomu mají nakročeno. Nejsledovanější je video *Radioaktivita: alfa záření*, které diváky pravděpodobně zaujalo amatérskou ionizační komorou. Druhé nejsledovanější video *Elektron – částice nebo vlna?* získalo vysokou sledovanost již za dva měsíce od publikování. Zajímavých kvalit dosahuje i v jiných metrikách, jeho průměrný zhlédnutý podíl je větší než 40 %. Většího podílu dosahuje pouze *Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo* s hodnotou 43,2 %. Snímek *Co je fotoelektrický jev?* je třetím nejsledovanějším videem. Ke dni 7. 4. 2021 mají videoexperimenty z fyziky mikrosvětla téměř 7,7 tisíc zhlédnutí a celková doba sledování je přes 420 hodin.

Stejně jako v předchozí podkapitole se je možné zabývat časovým vývojem sledovanosti videí, viz graf 10. Nejvýraznější píky v grafu obvykle odpovídají sdílení videí ve facebookových skupinách pro učitele fyziky, učitele přírodovědných předmětů, popř. jiných zájmových skupinách. Zdá se, že vývoj sledovanosti videí není zásadně ovlivněn vyhlášením nouzového stavu v říjnu. To je nejspíš dáno skutečností, že na gymnáziích se fyzika mikrosvětla obvykle probírá až v druhém pololetí.

Největší pík odpovídá dni 4. 2. 2021 a je způsoben vysokou sledovaností videa *Elektron: částice nebo vlna?*, které během jediného dne zaznamenalo 25 hodin sledování. Z grafu je přitom patrné, že s publikováním zmíněného videa se zvýšil i další trend sledovanosti. Jednak obsah kanálu začalo odebírat více uživatelů, jednak přišlo období školního roku, kdy se na gymnáziích probírá fyzika mikrosvětla a zahájilo se dotazníkové šetření.



**Graf 10** Graf závislosti sledovanosti videoexperimentů z fyziky mikrosvětla na aktuálním datu (graf vychází ze statistik na serveru YouTube a je vytvořen pro časové období 28. 8. 2021 – 7. 4. 2021)



**Graf 11** Zastoupení zdrojů návštěvnosti při sledování videoexperimentů z fyziky mikrosvětla na YouTube

Graf 11 zachycuje zastoupení různých zdrojů návštěvnosti, tj. jak se diváci k videoexperimentům z fyziky mikrosvětla vůbec dostali. **Externí zdroje** tvoří až 34,4 % přístupů. Na videa byli diváci nejčastěji přeměrováni z komunikačních kanálů nebo vyhledávačů:

- Facebook, Messenger, WhatsApp (1 780 přístupů);
- vyhledávač Google (315 přístupů);
- Gmail, Outlook, email na Seznamu (63 přístupů).

Mezi externími zdroji jsou zastoupeny i platformy, které jsou v současné době intenzivně využívány k distanční online výuce:

- Microsoft Teams (51 přístupů);
- Bakaláři (18 přístupů);
- Google Classroom (12 přístupů);
- Škola online (10 přístupů).

V externích zdrojích lze dále dohledat odkazy na weby tří konkrétních škol:

- Zdravotnická škola Hradec Králové (54 přístupů);
- ZŠ Lučany nad Nisou (12 přístupů);
- Univerzita Palackého v Olomouci (9 přístupů).

Školy, které se podílely na dotazníkovém šetření, YouTube vůbec neodhalil. To je dáno skutečností, že vyučující poskytli žákům odkazy na vybraná videa na neveřejné platformě, v důsledku čehož YouTube zařadil dané přístupy do kategorie přímé zadání nebo neznámý zdroj, mailové komunikace nebo některé výukové platformy uvedené výše. Nicméně na webových stránkách ZŠ Lučany nad Nisou lze k dubnu roku 2021 přímo dohledat odkaz na video *Ochrana před gama zářením*, a to ve veřejných studijních materiálech pro devátou třídu.

Druhým nejčastějším zdrojem návštěvnosti je **vyhledávání na YouTube**. Podle YouTube statistik uživatelé vyhledávali tato klíčová slova:

- radioaktivita, radiace (81 přístupů);
- fotoelektrický jev (45 přístupů);
- dozimetr (10 přístupů);
- elementární částice (8 přístupů);
- elektron (5 přístupů).

Videoexperimenty z fyziky mikrosvěta si získaly poměrně velký počet odběratelů. Na základě zhlédnutí některého videa se ke dni 7. 4. 2021 přihlásilo k odběrům **135 uživatelů**.

## Diskuze

Výstupem diplomové práce je deset výukových videí z fyziky mikrosvěta. Jejich jádrem jsou fyzikální experimenty, obsahují však i grafické modely a animace, teoretický výklad, vysvětlení pokusů a konkrétní příklady z praxe. Videá jsou kvalitním doplňkem k učebnici fyziky mikrosvěta pro gymnázia, alternativně je lze využít i na jiných typech škol, v hodinách chemie, přírodovědných kroužcích nebo k popularizaci vědy.

Přínos diplomové práce spatřuji zejména v tom, že adekvátně reaguje na aktuální situaci. Jednak se obsahově zaměřuje na fyziku mikrosvěta, která je českými sbírkami videoexperimentů velmi opomíjená, jednak podává pomocnou ruku učitelům a žákům v současné době spojené s distanční výukou. Experimenty jsou realizovány s vybavením, které není běžnou součástí každé středoškolské laboratoře, v důsledku čehož mohou být videá užitečná i v klasické prezenční výuce.

K tvorbě videí jsem přistupovala s určitými zkušenostmi, které jsem získala v rámci bakalářské práce při tvorbě videoexperimentů z mechaniky a akustiky. Na základě analýzy mé předchozí tvorby jsem formulovala čtyři náměty na zlepšení, které připomínám níže.

- Investuji čas do rozvoje svých dovedností v grafických a animačních softwarech.
- Při natáčení se pokusím zajistit lepší osvětlení, a to ať už natáčením v letních dnech nebo osvětlením ve formě reflektorů.
- Pořídím si kvalitnější mikrofon nebo budu natáčet v místnosti s lepší akustikou. Přitom dabing omezím na minimum nebo jej zcela zruším.
- Budu tvořit kratší videá s délkou pod deset minut.

Na všech čtyřech bodech jsem zapracovala, jak to jen dovolily mé schopnosti a dovednosti, zvolené experimenty nebo finanční prostředky. Naučila jsem se animovat v programu Microsoft PowerPoint, zapracovala jsem na grafice v programech GIMP a Adobe Photoshop. Odměnou mi byly komentáře žáků v dotazníkovém šetření, ve kterých zvolenou grafiku i animace hodnotili velmi kladně.

Spolu s vedoucím diplomové práce, Mgr. Lukášem Richterem, Ph.D., jsme zajistili osvětlení ve formě reflektorů, což se projevilo na lepší kvalitě obrazu. Čtyři žáci se v rámci dotazníkového šetření vyjádřili, že by šlo na kvalitě obrazu ještě zapracovat. Pokud video srovnávali s tvorbou profesionálních filmových týmů, tak mi nezbyvá než souhlasit. Na tvorbě videoexperimentů z fyziky mikrosvěta se však aktivně podíleli pouze dva lidé, a to já a vedoucí diplomové práce. V amatérském měřítku považuji kvalitu obrazu za výbornou a nepovažuji za nutné na ní zapracovat.

Natáčení jsem částečně přesunula do domácího prostředí, v důsledku čehož jsem docílila lepších akustických podmínek i omezení dabingu. Vytvořila jsem domácí scénu a pořídila si hlavový mikrofon ve snaze poskytovat lepší zvukovou kvalitu. Jak ale poznamenali žáci v dotazníkovém šetření, kvalita zvuku má své mouchy. S tím zcela souhlasím, je co zlepšit, a to i na amatérské úrovni. Obávám se však, že by to znamenalo nemalou investici jak do mikrofonu, tak do počítače, protože i při samotném střihu se zvuk zkruskuje. Mluvený komentář však považuji za srozumitelný, a to i přes drobné chyby ve zvuku, přízvuk či nezvyklou intonaci, což je spíše estetickou záležitostí.

Co se týká délky videí, devět z deseti má délku pod deset minut. Video *Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice* tvoří výjimku s délkou 12:11. To má vzhledem k tematickému zaměření videa své opodstatnění. Video rozšiřuje běžné středoškolské učivo a zabývá se aplikacemi exponenciálních funkcí a Poissonova rozdělení pravděpodobnosti v jaderné fyzice. V důsledku toho byl zvolen podrobnější výklad matematického aparátu, což se nutně projevilo na celkové délce videa.

Kdybych k tvorbě videoexperimentů z fyziky mikrosvěta přistoupila nyní, moc věcí bych neměnila. Výběr experimentů, forma výkladu a kvalita obrazu i animací je z mého pohledu na velmi dobré úrovni. Možná bych se snažila najít jiné alternativy k dosažení lepší zvukové kvality. Na základě připomínek žáků bych trochu snížila hlasitost hudby v pozadí. Taktéž by nebylo od věci zapracovat na mých rétorických a hereckých dovednostech.

Přes všechny zmíněné připomínky dopadlo realizované dotazníkové šetření velmi dobře. Zúčastnilo se ho téměř 130 žáků ze čtyř gymnázií, jednoho středního odborného učiliště a jednoho přípravného kurzu. Školy byly z různých částí republiky, jedna dokonce i ze Slovenska. Videá byla hodnocena velmi kladně a více než 95 % žáků pomohla v pochopení probíraného učiva. Přibližně stejné procento žáků by ocenilo, kdyby se podobná výuková videa příležitostně využívala v distanční i prezenční výuce fyziky nebo chemie.

Analýza sledovanosti videoexperimentů z mechaniky a akustiky, které jsem vytvořila v rámci bakalářské práce, dokládá jejich užitečnost a potřebnost v distanční výuce spojené s výskytem koronaviru. Videoexperimenty z fyziky mikrosvěta jsou veřejně dostupné pouze několik měsíců, přičemž nejsledovanější jsou videa *Elektron – částice nebo vlna?*; *Co je fotoelektrický jev?* a *Radioaktivita: alfa záření*. Domnívám se, že úspěšnost zmíněných videí spočívá zejména v jejich originalitě. Nenašla jsem jediné české video, které by se zabývalo de Broglieho vlnovou hypotézou nebo vnějším fotoelektrickým jevem i jinak než na teoretické úrovni. Ačkoli video *Radioaktivita: alfa záření* nepřináší žádnou novou konstrukci detektoru, demonstruje funkčnost zařízení lépe než dostupné články a motivuje tak diváky k vlastní výrobě.

I když se dá předpokládat, že se současná situace spojená s distanční výukou časem vrátí do normálu a prezenční výuka bude preferovanou formou vzdělávání na ZŠ i SŠ, pochybuji, že by tím videoexperimenty z fyziky mikrosvěta zcela pozbyly svého využití ve výuce. Realizace pokusů z fyziky mikrosvěta se opírá o vybavení, které není běžnou součástí středoškolské laboratoře, a to zejména v důsledku vysoké pořizovací ceny. Vhodnou alternativou klasických demonstračních experimentů jsou videoexperimenty, které žákům přiblíží abstraktní svět atomů a elementárních částic bez nutnosti zajišťovat nákladné vybavení.

Tato práce nabízí spoustu možností pro rozšíření. Laboratoř praktik z atomové a jaderné fyziky se stále vyvíjí a poskytuje kvalitní vybavení. K dispozici je třeba vodíková výbojka s difrakční mřížkou, sestava ke Comptonově rozptylu a scintilační detektor. Kdybych měla tu možnost v natáčení pokračovat, určitě bych ještě natočila video zaměřené na Balmerovu sérii, kde by bylo posuzováno spektrum vodíkové výbojky přes difrakční mřížku a následně by bylo realizováno přesnější měření se spektrometrem. Nejspíš bych se zabývala i jinými zdroji viditelného světla a jejich spektry. Dále bych na sestavě ke Comptonově rozptylu realizovala měření se scintilačním detektorem, doplnila jej o animace a využila k popisu daného jevu. Případně by stála za zvážení tvorba obsáhlejšího videa, které by pohlíželo na interakci gama záření s látkou komplexněji, přičemž by mimo Comptonův rozptyl připomnělo i fotoelektrický jev a tvorbu elektron-pozitronových párů.



Příručka k částicové kameře [38] poskytuje spoustu námětů na další pokusy, ku příkladu lze zkoumat koncentraci radonu v různých lokalitách nebo posuzovat tloušťku materiálů na základě absorpce gama záření. Určitou alternativou k videu *Elektron – částice nebo vlna?* by mohlo být video, jež by pojednávalo jednak o Youngově dvouštěrbinovém pokusu, jednak o analogickém experimentu či simulaci pro elektrony.

Samozřejmě není nutné setrvávat pouze u fyziky mikrosvěta. Zázemí katedry experimentální fyziky disponuje vybavením, kterému mohou středoškolské laboratoře jen těžko konkurovat. Ku příkladu laboratoř praktik z optiky nabízí sestavu ke zmíněnému Youngovu pokusu a difrakci na kruhovém otvoru, různé typy polarizačních filtrů, spektrometr, mikroskop, model dalekohledu a další přístroje. Videoexperimenty z optiky jsou z mého pohledu zajímavým námětem na další bakalářskou nebo diplomovou práci. V podobném duchu by šlo pojmout také pokusy z elektřiny a magnetismu nebo nanotechnologií. I když do budoucna nebude v mých silách publikovat deset videí za rok, plánuji u příležitostné tvorby videí zůstat. S frekvencí publikování dvou až tří kratších videí ročně bych se ráda věnovala i jiným oblastem fyziky, popř. chemii, matematice nebo základům programování.

## Závěr

Tématem diplomové práce jsou motivační videoexperimenty ve výuce fyziky mikrosvětla. Hlavním výstupem je deset videí, která jsou veřejně přístupná na serveru YouTube. Samotný text práce je členěn do pěti kapitol.

První kapitola je věnována rešerši českých i zahraničních videoexperimentů z fyziky mikrosvětla, přičemž je poukázáno na jejich nedostatek v české tvorbě. Druhá kapitola pojednává o vybavení, jež bylo používáno při vlastních experimentech. Je zde nastíněn fyzikální princip některých detektorů ionizujícího záření, a sice digitální částicové kamery, Geigerova-Müllerova detektoru, scintilačního detektoru a ionizační komory, kterou jsem vyráběla v rámci této práce. Dále je kapitola věnována popisu vybraných radionuklidů, katodových trubíc a dalšího drobného vybavení. Třetí kapitola pojednává o samotném procesu tvorby videí, přičemž je rozdělena na předprodukci, produkci a postprodukci. Nastíněna je základní koncepce videí a tvorba scénářů, taktéž je popsáno, jak probíhalo natáčení za ztížených podmínek koronavirové pandemie, jak vznikaly první animace, co všechno obnášel proces střihu, kde byla videa publikována a jak byla rozšířena mezi učitele přírodovědných oborů. Obsahem čtvrté kapitoly je popis deseti videí, jež byla vytvořena v rámci této práce, spolu s možnostmi jejich využití ve výuce fyziky nebo chemie. Poslední kapitola pojednává o hodnocení videí, které bylo realizováno na základě dvou metod, a to dotazníkového šetření a analýzy dat ze serveru YouTube.

Dotazníkového šetření se zúčastnili žáci studující na gymnáziích v Olomouci, Brně, Litoměřicích, Vrútkách (SK), SOU v Blatné a účastníci kurzu MUDRstart. Žákům byly v rámci distanční výuky fyziky nebo chemie poskytnuty odkazy na vybrané videoexperimenty z fyziky mikrosvětla, přičemž po jejich zhlédnutí měli vyplnit krátký dotazník. Dotazník vyplnilo téměř 130 žáků, přičemž jeden žák zhlédl v průměru tři videa. Z odpovědí vyplynulo, že více než 95 % žáků byla videa nápomocná v lepším pochopení probíraného učiva. Přibližně stejné procento žáků by ocenilo, kdyby byla podobná výuková videa příležitostně zařazována do distanční i prezenční výuky fyziky nebo chemie. Žáci na videích ocenili zejména experimenty a jejich prolínání s teorií, srozumitelný výklad, grafiku, animace a příklady z praxe. K videím povětšinou neměli výtky, příp. navrhli zlepšení kvality zvuku a obrazu, ztišení hudby v pozadí nebo zlepšení rétorických dovedností.

S využitím dat ze serveru YouTube byly provedeny dvě analýzy. První analýzu jsem vztáhla k videoexperimentům z mechaniky a akustiky, které jsem vytvářela v rámci bakalářské práce. Analýza poukázala na rapidní nárůst sledovanosti se zavedením distanční výuky na ZŠ a SŠ v souvislosti s výskytem koronaviru. Druhá část analýzy byla věnována videoexperimentům z fyziky mikrosvětla, které jsou zveřejněny po dobu několika měsíců. Ke dni 7. 4. 2021 mají dohromady 7,7 tisíc zhlédnutí a celková doba sledování je přes 420 hodin. Podle dat ze serveru YouTube byly videoexperimenty z fyziky mikrosvětla využívány na dalších třech školách, které nebyly zapojeny do dotazníkového šetření.

Na základě výše uvedených informací si dovoluji konstatovat, že v úvodu definované cíle diplomové práce byly splněny. Vytvořila jsem deset videoexperimentů, které jsou vhodným doplňkem k učebnici fyziky mikrosvětla pro gymnázia, přičemž mohou sloužit jako motivace nebo ilustrace probíraného učiva. Video obsahují mimo experimenty také stručné vysvětlení pozorovaných dějů a používají názorné modely ve formě grafiky a animací. Video byla evaluována při práci s žáky a z mého pohledu získala velmi dobré hodnocení.

## Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] LEPIL, Oldřich a Emanuel SVOBODA. *Příručka pro učitele fyziky na střední škole*. Praha: Prometheus, 2007, 279 s. ISBN 978-80-7196-328-8.
- [2] *Sbírka fyzikálních pokusů* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/cs>
- [3] Čárové spektrum výbojek. *Sbírka fyzikálních pokusů* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1838/carove-spektrum-vybojek>
- [4] KOCOUROVÁ, Jana a Jakub JERMÁŘ. Videopokusy. *FyzWeb* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <http://fyzweb.cz/materialy/videopokusy/>
- [5] Milujeme vědu: Badatelna. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/channel/UC3sDArchnjXgKcLaNt9t19Q/videos>
- [6] *Úžasné divadlo fyziky* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <http://udif.cz>
- [7] Badatelna: Jak vznikají fotony a na co je potřebujeme? *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=uurpyDm13xc&t=40s>
- [8] LÁTAL, František. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ltVDZRvdfCs>
- [9] POKORNÝ, Jan. *Luminiscence ve středoškolské laboratoři*. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Mgr. František Látal, Ph.D. Dostupné z: [https://theses.cz/id/lufh6o/DP\\_Pokorny\\_Luminiscence\\_2015.pdf](https://theses.cz/id/lufh6o/DP_Pokorny_Luminiscence_2015.pdf)
- [10] POKORNÝ, Jan. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/playlist?list=PL4qo5pw0-PgIGM0utu4B1w65OuTnHIRzu>
- [11] Experimenty s Vernierem. *Vernier* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.vernier.cz/experimenty/prehled/oblast/video>
- [12] Studium radiace. *Vernier* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.vernier.cz/video/studium-radiace>
- [13] Ochrana před radiací. *Vernier* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.vernier.cz/video/ochrana-pred-radiaci>
- [14] Videoanalýza poklesu pívni pěny. *Vernier* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.vernier.cz/video/pokles-pivni-peny>
- [15] KAPLER, Tomáš. Mlžná komora. *ESERO* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.esero.sciencein.cz/education/105-mlzna-komora>
- [16] Nuledo mlžné komory. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/channel/UCeHlPRgEuKjVW\\_b6YRpigXw/videos](https://www.youtube.com/channel/UCeHlPRgEuKjVW_b6YRpigXw/videos)
- [17] *Svět Energie* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz>
- [18] Výukové filmy. *Svět Energie* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/stahuj-zdarma/filmy-on-line/vyukove-filmy>
- [19] VÍM PROČ. *Svět Energie* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/vim-proc>
- [20] *ČT edu* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz>
- [21] ČT spouští vzdělávací web ČT edu, na úvod má tři tisíce videí. *MediaGuru* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.mediaguru.cz/clanky/2020/03/ct-spousti-vzdelavaci-web-ct-edu-na-uvod-ma-tri-tisice-videi/>
- [22] Druhy radioaktivního záření. *ČT edu* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/video/1936-druhy-radioaktivniho-zareni>
- [23] RI ARCHIEVES. Properties of Matter. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLal2Dq06taLbo680tdhGBsM590qgNZp-B>
- [24] Practical Physics. *Institute of Physics* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://spark.iop.org/practical-physics#ref>
- [25] INSTITUTE OF PHYSICS. Teaching Radioactivity. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLEEC940EB121761B3>
- [26] INSTITUTE OF PHYSICS. Using a gold-leaf electroscope with zinc plate and ultraviolet light. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OUApINaGD-c>
- [27] INSTITUTE OF PHYSICS. Using an electron diffraction tube. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=MiIAnxIZKQo>
- [28] JONES, Anthony. Electron Diffraction. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=CR2frJzQZ8k>

- [29] JONES, Anthony. The Photoelectric Effect. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=xGWMmhFPqhM>
- [30] JONES, Anthony. Fluorescence. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=DHIV2cfSg4Q>
- [31] JONES, Anthony. Radioactive Clock (Radium). *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rGoW92fiC2I>
- [32] EDWARDS, Boyd. Photoelectric Effect Demo. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=jjDWzlCHQc4>
- [33] EDWARDS, Boyd. Spectrum Demo: Continuous and Emission. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=oae5fa-f0S0>
- [34] EDWARDS, Boyd. Radioactivity Demo: Assorted sources. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=HpEvv7lctTs>
- [35] EDWARDS, Boyd. Isotope Demo: Potassium. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-16].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ThwE0M-lAko>
- [36] HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno: 1998. ISBN 80-85615-56-8.
- [37] MAŠLÁŇ, Miroslav, Libor MACHALA a Jiří TUČEK. *Praktikum z atomové a jaderné fyziky* [online].  
Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, 2005 [cit. 2021-03-17].  
Dostupné z: <http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/jaderka.pdf>
- [38] VÍCHA, Vladimír. *Experimenty s pixelovým detektorem pro výuku jaderné a částicové fyziky*.  
Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05888-6.
- [39] ŠTOLL, Ivan. *Fyzika pro gymnázia: fyzika mikrosvěta*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2012, 193 s.  
ISBN 978-80-7196-386-8.
- [40] PAZDERA, Václav. Výroba ionizační komory. *Dílňý Heuréky 2014* [online]. [cit. 2021-03-17].  
Dostupné z: [https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky\\_2014.pdf](https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2014.pdf)
- [41] ULLMANN, Vojtěch. Biologické účinky ionizujícího záření. *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.sweb.cz/RadiacniOchrana.htm>
- [42] MALAIN, D. Evaluation of radiation safety for ionization chamber smoke detectors containing Am-241. *Journal of Physics Conference Series* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/publication/335877092\\_Evaluation\\_of\\_radiation\\_safety\\_for\\_ionization\\_chamber\\_smoke\\_detectors\\_containing\\_Am-241](https://www.researchgate.net/publication/335877092_Evaluation_of_radiation_safety_for_ionization_chamber_smoke_detectors_containing_Am-241)
- [43] SVOBODA, Emanuel. *Pokusy z fyziky pro střední školy 4*. Prometheus, 2001. ISBN 80-7196-010-1.
- [44] NAM, Jong-soo. Study on the Characteristics of a Scintillator for Beta-ray Detection using Epoxy Resin. *The European Physical Journal Conferences* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/publication/320018950\\_Study\\_on\\_the\\_Characteristics\\_of\\_a\\_Scintillator\\_for\\_Beta-ray\\_Detection\\_using\\_Epoxy\\_Resin](https://www.researchgate.net/publication/320018950_Study_on_the_Characteristics_of_a_Scintillator_for_Beta-ray_Detection_using_Epoxy_Resin)
- [45] HEVESI, Dennis. Dr. Louise Reiss, Who Helped Ban Atomic Testing, Dies at 90. *The New York Times* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2011/01/10/science/10reiss.html>
- [46] Radioactive electronic tubes. *PhysicsOpenLab* [online]. [cit. 2021-03-18].  
Dostupné z: <http://physicsopenlab.org/2016/06/03/radioactive-electron-tubes/>
- [47] YANG, Jiancheng. 60 Co Gamma Ray Damage in Homoepitaxial  $\beta$ -Ga 2 O 3 Schottky Rectifiers. *ECS Journal of Solid State Science and Technology* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/publication/331083724\\_60\\_Co\\_Gamma\\_Ray\\_Damage\\_in\\_Homoepitaxial\\_beta-Ga\\_2\\_O\\_3\\_Schottky\\_Rectifiers](https://www.researchgate.net/publication/331083724_60_Co_Gamma_Ray_Damage_in_Homoepitaxial_beta-Ga_2_O_3_Schottky_Rectifiers)
- [48] ULLMANN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika. *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.sweb.cz/JadRadFyzika4.htm>
- [49] LOKŠOVÁ, Romana. *Mírové a možné teroristické zneužití smolince*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Dostupné z: [https://theses.cz/id/mo7fzh/bakalka\\_final.pdf?lang=cs](https://theses.cz/id/mo7fzh/bakalka_final.pdf?lang=cs)
- [50] SCHULZ, Wallace. Uranium processing. *Britannica* [online]. [cit. 2021-03-18].  
Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/uranium-processing>
- [51] Mercury Vapor Lamps. *RP Photonics Encyclopedia* [online]. [cit. 2021-03-19].  
Dostupné z: [https://www.rp-photonics.com/mercury\\_vapor\\_lamps.html](https://www.rp-photonics.com/mercury_vapor_lamps.html)
- [52] What is UVC light? *Klaran* [online]. [cit. 2021-03-19].  
Dostupné z: <https://www.klaran.com/klarant-university/about-uvc>
- [53] Using UVC LEDs for Disinfection to Fight COVID-19. *Klaran* [online]. [cit. 2021-03-19].  
Dostupné z: <https://www.klaran.com/in-the-lab/coronavirus>
- [54] Is UVC safe? *Klaran* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.klaran.com/is-uvc-safe>
- [55] Electron diffraction. *Technická univerzita v Liberci* [online]. [cit. 2021-03-19].  
Dostupné z: [https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/4098/mod\\_resource/content/5/electrondiffraction.pdf](https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/4098/mod_resource/content/5/electrondiffraction.pdf)

- [56] MAŠLÁŇ, Miroslav. Pozorování elektronové difrakce. *Portál moderní fyziky* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/fp5-difrakce.pdf>
- [57] KUFOVÁ, Anna. *Motivační videoexperimenty z mechaniky a akustiky* [online]. 2019 [cit. 2021-03-20]. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Čeněk Kodejška, Ph.D. Dostupné z: <https://library.upol.cz/arl-upol/cs/csg/?repo=upolrepo&key=53740792874>
- [58] MORNSTEIN, Vojtěch. *Lékařská fyzika a biofyzika*. Brno, 2018. ISBN 978-80-210-8984-6.
- [59] ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>
- [60] BERGAN, Ronald. *Film: historie, žánry, světový film, režiséři od A do Z, 100 nejlepších filmů*. Přeložila Emílie HARANTOVÁ. V Praze: Slovart, 2008. Velký ilustrovaný průvodce. ISBN 978-80-7391-136-2.
- [61] About CC Licenses. *Creative Commons* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://creativecommons.org/about/cclicenses/>
- [62] Anna Kufová. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/c/UraniumGirl>
- [63] SILVER, Jerry. *125 physics projects for the evil genius*. ISBN 978-0-07-162131-1.
- [64] BERNARD, Cicero H. a Chirold D. *Laboratory experiments in college physics*. ISBN 0-471-00251-8.
- [65] WILSON, Jerry a Cecilia Hernández HALL. *Physics laboratory experiments*. ISBN 978-1-285-73856-7.
- [66] POLÁK, Zdeněk. Pokusy z radioaktivity na střední škole. *Veletrh nápadů učitelů fyziky* [online]. Hradec Králové, 2013 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://vnuf.cz/sbornik/prispevky/18-25-Polak.html>
- [67] MAREŠ, Jiří, Jan PRŮCHA a Eliška WALTEROVÁ. *Pedagogický slovník*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Portál, 2003. ISBN 8071787728.
- [68] YouTube. *Britannica* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/YouTube>

## Seznam autorských děl použitých ve videích

- Albert Einstein. *TIME* [online]. [cit. 2021-03-10].  
Dostupné z: <https://time.com/5314704/einstein-diaries-racism/>
- Louise de Broglie. University of Maryland, Dep. of Physics [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: [http://www.physics.umd.edu/courses/Phys420/Spring2002/Parra\\_Spring2002/Images/Physicists\\_Big/Broglie\\_Big.jpg](http://www.physics.umd.edu/courses/Phys420/Spring2002/Parra_Spring2002/Images/Physicists_Big/Broglie_Big.jpg)
- Transmission electron microscope. Wikipedia Commons [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Transmission\\_electron\\_microscope#/media/File:Transmission\\_electron\\_microscope\\_\(Morgagni\\_268D\)\\_pl.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Transmission_electron_microscope#/media/File:Transmission_electron_microscope_(Morgagni_268D)_pl.jpg)
- BASILI, Dante. Paramecium caudatum. YouTube [online]. [cit. 2021-03-10].  
Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=vo\\_AQVrjS04](https://www.youtube.com/watch?v=vo_AQVrjS04)
- RAFIEE, M. A. Graphene-based Composite Materials: TEM image of a graphene sheet illustrating the crystalline lattice. *ResearchGate* [online]. [cit. 2021-03-10].  
Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/1-a-TEM-image-of-a-graphene-sheet-illustrating-the-crystalline-lattice-bond-length\\_fig1\\_258543003](https://www.researchgate.net/figure/1-a-TEM-image-of-a-graphene-sheet-illustrating-the-crystalline-lattice-bond-length_fig1_258543003)
- BERKELS, Benjamin a Axel VOIGT. Identification of Grain Boundary Contours at Atomic Scale: Single atom layer of aluminium. *ResearchGate* [online]. [cit. 2021-03-10].  
Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/On-a-TEM-image-left-light-dots-render-atoms-from-a-single-atom-layer-of-aluminum-in\\_fig1\\_221089669](https://www.researchgate.net/figure/On-a-TEM-image-left-light-dots-render-atoms-from-a-single-atom-layer-of-aluminum-in_fig1_221089669)
- TEM image of colloidal gold nanoparticles. *Imperial Collage London* [online]. [cit. 2021-03-10].  
Dostupné z: <http://www.imperial.ac.uk/blog/fonsmad2015-velox/files/2015/07/Gold-Nanoparticles.jpg>
- Coronaviruses 004 lores. *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2021-03-10].  
Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Coronaviruses\\_004\\_lores.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Coronaviruses_004_lores.jpg)
- ESPENAK, Fred. Rigel. *AstroPixels* [online]. [cit. 2021-03-10].  
Dostupné z: <http://astropixels.com/stars/Rigel-01.html>
- NERDFORGE. I Painted a FLUORESCENT Cyberpunk City! (with UV-paint). *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ELfVzC0dD0&t=13s>
- Dexter: Season 5 Episode 2 [serial]. USA, produkce Showtime.
- Breaking Bad: Season 1 Episode 1 [serial]. USA, produkce Sony Pictures Television.
- The Simpsons: Season 11 Episode 5 [serial]. USA, produkce 20th Century Fox Television.
- REIDAR, Hahn. Fermilab. *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2021-03-11].  
Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Fermilab.jpg>
- NASA. STS-129 HD Launch. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-11].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=zsJpUCWfyPE>
- NASA. Restored Apollo 11 Moonwalk. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-11].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=S9HdPi9Ikhk&t=3383s>
- Fat Man and Little Boy [film]. USA, produkce Paramount Pictures.
- Castle Bravo The Big One. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-11].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Ge865CR9pN8&t=163s>
- BRITISH PATHÉ. President Kennedy Signs Test Ban Treaty (1963). *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=AIvhsBCKsFE>
- JOHN F. KENNEDY LIBRARY. John F. Kennedy signs the Limited Nuclear Test Ban Treaty in 1963. *Boston Globe* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://bostonglobe-prod.cdn.arcpublishing.com/resizer/JVT3HwP0UaF75B8gu3QjaTSNIo4=/1024x0/arc-anglerfish-arc2-prod-bostonglobe.s3.amazonaws.com/public/4NND4PSBOUI6PGP7L7YDLAVOGA.jpg>
- CANCER RESEARCH UK. What is it Like to Have a PET Scan? *Boston Globe* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=lk-VzATcv4M>
- PET scan advanced oesophagus cancer in mid thoracic area. *ABOUT CANCER* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: [http://www.aboutcancer.com/esophagus\\_pet\\_sah\\_307.jpg](http://www.aboutcancer.com/esophagus_pet_sah_307.jpg)
- Chernobyl: Episode 2 [serial]. USA a Velká Británie, produkce HBO.
- HOPITAUX UNIVERSITAIRES DE GENÈVE. Bone Scintigraphy. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=2XSXMsdIXvo>

- Inverse square law. *Wikipedia Commons* [online]. [cit. 2021-03-12].  
Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse\\_square\\_law.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg)
- FERENC, Lubor. Těžní věž dolu Svornost. *Creative Commons* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jáchymov\\_těžní\\_věž\\_dolu\\_Svornost\\_srpen\\_2019\\_\(2\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jáchymov_těžní_věž_dolu_Svornost_srpen_2019_(2).jpg)
- GO OUTDOORS TV. How to fit a mantle to a gas lantern. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-12].  
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=4j4-y2WpKLU&t=62s>
- Radioactive [film]. Velká Británie, produkce Working Title Films.
- *The Large Hadron Collider* [online]. *CERN* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/2018-06/f28d9017-551c-44c4-beea-9f20a5387376.png>
- *CMS Experiment at the LHC*. *CERN* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: [https://cms.cern/sites/cmsexperiment.web.cern.ch/files/field/image/gammagamma\\_run194108\\_evt564224000\\_ispy\\_3d-annotated-2.png](https://cms.cern/sites/cmsexperiment.web.cern.ch/files/field/image/gammagamma_run194108_evt564224000_ispy_3d-annotated-2.png)
- NULEDO MLŽNÉ KOMORY. Mlžná komora: radioaktivní částice 4K. *YouTube* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=i15ef618DP0>



## Přílohy

Přílohou k této práci je deset scénářů v uvedeném pořadí:

1. Co je fotoelektrický jev?
2. Elektron – částice nebo vlna?
3. Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo
4. Radioaktivita: alfa záření
5. Radioaktivita: beta záření
6. Radioaktivita: zdroje gama záření
7. Ochrana před gama zářením
8. Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice
9. Měření radiace s dozimetrem
10. Částicová fyzika: standardní model částic a detekce mionů

# 1 Co je fotoelektrický jev?

## Co je potřeba zajistit:

- **vnější fotoelektrický jev:** elektroskop, měděná destička, sada tyčí a látek k elektrostatice, drátěnka, svítilna, horské slunce, tabulka skla, ochranné brýle;
- **vnitřní fotoelektrický jev:** fotodioda 1PP75, rezistor 1 k $\Omega$ , bílá LEDka, fotovoltaický článek, baterie 4,5 V, multimetr, světelný reflektor, spojovací vodiče.

## ČÁST 1: EINSTEIN A FOTOELEKTICKÝ JEV

**Motivace:** Albert Einstein a jeho zásluhy ve fyzice v souvislosti s fotoelektrickým jevem.

**ZÁBĚR 1:** **Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Alberta Einsteina zná většina z nás jako geniálního vědce, který formuloval speciální a obecnou teorii relativity. Einsteinovy zásluhy ve fyzice jsou však mnohem širší.

**ZÁBĚR 2:** **Převzatý obsah.** Einsteinova fotografie.

**Slovní komentář:** Roku 1921 získal Nobelovu cenu ...

**ZÁBĚR 3:** **Vlastní grafika.** Einsteinova rovnice popisující fotoelektrický jev.

**Slovní komentář:** ... za vysvětlení tzv. fotoelektrického jevu, ...

**ZÁBĚR 4:** **Převzatý obsah.** Úryvek z videa: fotovoltaická elektrárna.

**Slovní komentář:** ... s jehož praktickými důsledky se setkáváme v podstatě každý den.

**ZÁBĚR 5:** **Scéna v laboratoři školních pokusů / Scéna v domácím prostředí.** Vhodný výběr záběrů natočených ve druhé a třetí části. V závěru titulek *fotoelektrický jev*.

**Slovní komentář:** V rámci tohoto videa budeme demonstrovat fotoelektrický jev a vysvětlíme si jeho fyzikální podstatu.

## ČÁST 2: VNĚJŠÍ FOTOELEKTRICKÝ JEV

### Experimenty:

1. demonstrace vnějšího fotoefektu pomocí elektroskopu a měděné destičky;
2. odstínění UVC záření pomocí tabulky skla.

**ZÁBĚR 1:** **Scéna v laboratoři školních pokusů.** Série fotografií pořízených v laboratoři: elektroskop, měděná destička, polyamidová tyč a lněná látka, drátěnka, svítilna a horské slunce.

**Slovní komentář:** K prvnímu experimentu budeme potřebovat elektroskop, měděnou destičku, polyamidovou tyč a lněnou látku, drátěnku, svítilnu a horské slunce.

**ZÁBĚR 2:** **Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, nasazuje si ochranné brýle.

**Anička**

Horské slunce obsahuje rtuťovou výbojku, která je zdrojem nebezpečného UVC záření. Používejte proto ochranné brýle s UVC filtrem!

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na měděnou destičku v dlani, přičemž je její povrch leštěn drátěnkou.

**Slovní komentář:** Před zahájením pokusu očistíme povrch destičky drátěnkou, abychom ji zbavili zoxidované vrstvy.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je vybitý elektroskop. Anička je v záběru, drží v ruce měděnou destičku a pokládá ji na kolektor elektroskopu.

**Slovní komentář:** Měděnou destičku položíme na kolektor elektroskopu.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr. Anička drží v ruce polyamidovou tyč a lněnou látku, přičemž je tře o sebe.

**Slovní komentář:** Polyamidové tyči udělíme záporný náboj. To lze provést jejím třením o lněnou látku.

**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je vybitý elektroskop, na kolektoru měděná destička. Anička má v ruce nabitou polyamidovou tyč, kterou se dotkne měděné destičky.

**Slovní komentář:** Zelektrovanou tyčí se dotkneme měděné destičky. Tím nabijeme jak destičku, tak elektroskop záporným nábojem.

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na elektroskop těsně po jeho nabití. Výchylka se postupně ustálí.

**Slovní komentář:** Vyčkáme, než se ustálí výchylka elektroskopu.

**ZÁBĚR 8: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je nabitý elektroskop, na kolektoru měděná destička. Anička bere do ruky svítilnu a ozařuje měděnou destičku.

**Slovní komentář:** Klasická svítilna je zdrojem viditelného světla. Když svítilnou posvítíme na měděnou destičku, výchylka elektroskopu se nezmění.

**ZÁBĚR 9: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je nabitý elektroskop s měděnou destičkou a horské slunce v provozu. Anička ukazuje na horské slunce, poté ho bere do rukou a přidržuje nad měděnou destičkou. Na konci je zobrazena otázka *Proč došlo k vybití elektroskopu?*

**Slovní komentář:** Horské slunce je zdrojem ultrafialového záření. Když jím posvítíme na měděnou destičku, můžeme pozorovat vybíjení elektroskopu.

**ZÁBĚR 10: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Fotografie: horské slunce, svítilna.

**Slovní komentář:** UV záření i viditelné světlo mají stejnou fyzikální podstatu.

**ZÁBĚR 11: Převzatý obsah.** Obrázek: elektromagnetické spektrum.

**Slovní komentář:** Jedná se o elektromagnetické záření.

**ZÁBĚR 12: Vlastní grafika.** Abstraktní grafika, nápis *FOTONY*, vztah  $E = hf$  a jeho popis.

**Slovní komentář:** Částice elektromagnetického záření nazýváme fotony, přičemž každému fotonu přisuzujeme energii, která je přímo úměrná jeho frekvenci.

**ZÁBĚR 13: Vlastní grafika.** Animace s průběhem fotoelektrického jevu: měděná destička a elektrony na jejím povrchu, interakce fotonu UV záření s elektronem, emise elektronu.

**Slovní komentář:** Při dopadu UV záření na povrch destičky dochází k interakci fotonů a elektronů na jejím povrchu.

**ZÁBĚR 14: Vlastní grafika.** Einsteinova rovnice, zvýraznění jednotlivých částí.

**Slovní komentář:** Energie fotonu se jednak spotřebuje na vykonání výstupní práce, v důsledku čehož se elektron uvolní z kovu, jednak přejde v kinetickou energii elektronu.

**ZÁBĚR 15: Vlastní grafika.** Animace s průběhem fotoelektrického jevu: měděná destička a elektrony na jejím povrchu, interakce fotonu UV záření s elektronem, emise elektronu. V závěru ztmavení záběru a titulek *fotoelektrický jev*.

**Slovní komentář:** Popsaná interakce fotonu a elektronu se nazývá fotoelektrický jev...

**ZÁBĚR 16: Vlastní grafika.** Einsteinova rovnice.

**Slovní komentář:** ... a lze ji charakterizovat uvedenou Einsteinovou rovnicí.

**ZÁBĚR 17: Vlastní grafika.** Animace znázorňující dvě situace s měděnou destičkou: fotoelektrický jev neprobíhá (světlo ze svítilny), fotoelektrický jev probíhá (UV záření z horského slunce).

**Slovní komentář:** Je-li energie fotonu menší než výstupní práce použitého materiálu, k uvolnění elektronu nedojde. Je-li energie fotonu větší nebo rovna výstupní práci, pak dojde k emisi elektronu. Nastane fotoelektrický jev.

**ZÁBĚR 18: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Fotografie: měděná destička. Grafická úprava.

**Slovní komentář:** Výstupní práce mědi je asi 4,5 eV.

**ZÁBĚR 19: Vlastní grafika.** Svítilna, znázornění světla.

**Slovní komentář:** Svítilna je zdrojem viditelného světla. Největší energii má foton fialového světla, a to asi 3,2 eV.

**ZÁBĚR 20: Vlastní grafika.** Animace: ozařování měděné destičky svítilnou spolu se srovnáním energií (výstupní práce mědi vs. energie fotonu fialového světla).

**Slovní komentář:** Tato energie je menší než výstupní práce mědi.

**ZÁBĚR 21: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je nabitý elektroskop, na kolektoru měděná destička. Anička drží svítilnu a ozařuje jí měděnou destičku.

**Slovní komentář:** Světlo proto nezpůsobí fotoelektrický jev a nedojde k vybití elektroskopu.

**ZÁBĚR 22: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru v povzdáli. Na stole je horské slunce a elektroskop. Anička vchází do záběru a nasazuje si ochranné brýle.

**Slovní komentář:** Horské slunce je zdrojem UVC záření o vlnové délce asi 250 nm.

**ZÁBĚR 23: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Fotografie: horského slunce. Grafická úprava.

**Slovní komentář:** Tomu odpovídají fotony o energii 5 eV.

**ZÁBĚR 24: Vlastní grafika.** Animace: ozařování měděné destičky rtuťovou výbojkou spolu se srovnáním energií (výstupní práce mědi vs. energie fotonu UVC záření).

**Slovní komentář:** Tato energie je větší než výstupní práce mědi.

**ZÁBĚR 25: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je nabitý elektroskop s měděnou destičkou a horské slunce v provozu. Anička bere horské slunce a přidržuje ho nad měděnou destičkou.

**Slovní komentář:** Za použití horského slunce dochází k fotoelektrickému jevu, důsledkem čehož je vybití elektroskopu.

**ZÁBĚR 26: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Využití již vytvořených záběrů v části 2.

**Slovní komentář:** Během dalšího pokusu znovu použijeme elektroskop se záporně nabitou měděnou destičkou.

**ZÁBĚR 27: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na skleněnou tabulku v ruce.

**Slovní komentář:** Mezi horské slunce a záporně nabitý elektroskop s měděnou destičkou tentokrát vložíme skleněnou tabulku.

**ZÁBĚR 28: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je nabitý elektroskop s měděnou destičkou a horské slunce v provozu. Anička přidržuje horské slunce nad měděnou destičkou, pan Richterek mezi ně vkládá skleněnou tabulku. Na konci je záběr ztmaven, přičemž je zobrazena otázka *Proč nedošlo k vybití elektroskopu?* Otázka je směřována na diváky a video neposkytuje odpověď.

**Slovní komentář:** A jak můžeme vidět, k vybití elektroskopu nedochází.

### ČÁST 3: VNITŘNÍ FOTOELEKTRICKÝ JEV

#### Experimenty:

1. zapojení fotodiody v odporovém režimu;
2. zapojení fotodiody v hradlovém režimu;
3. fotovoltaický článek a rozsvícení LEDky.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

#### Anička

Během předchozích experimentů jsme demonstrovali vnější fotoelektrický jev, při kterém dochází k uvolňování elektronů z povrchu kovu.

**ZÁBĚR 2: Převzatý obsah.** Úryvky z videí nebo fotografie: lidé ve výtahu, dělníci a montáž fotovoltaických panelů, Hubbleův vesmírný teleskop.

**Slovní komentář:** V technické praxi má široké využití zejména vnitřní fotoelektrický jev, kdy jsou elektrony uvolňovány uvnitř polovodičového krystalu a zvyšují tak jeho vodivost.

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Fotografie: fotodioda v dlani.

**Slovní komentář:** Vnitřní fotoelektrický jev může probíhat například ve fotodiodě. Fotodioda je polovodičová součástka, ...

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Schématická značka fotodiody.

**Slovní komentář:** ... která je citlivá na osvětlení PN přechodu světlem určité vlnové délky.

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Schémata elektrických obvodů s fotodiodou: odporový režim, hradlový režim.

**Slovní komentář:** V závislosti na způsobu jejího zapojení může pracovat buď v odporovém nebo hradlovém režimu.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Reálné zapojení fotodiody v odporovém režimu. Běžné osvětlení, zakrytí fotodiody dlani. Titulek *odporový režim*.

**Slovní komentář:** Po zapojení fotodiody v odporovém režimu registrujeme na multimetru malou, leč nenulovou hodnotu proudu. To svědčí o tom, že k vnitřnímu fotoelektrickému jevu dochází ve fotodiodě i za běžného osvětlení.

**ZÁBĚR 7: Scéna v domácím prostředí.** Reálné zapojení fotodiody v odporovém režimu. Osvětlení fotodiody pomocí reflektoru.

**Slovní komentář:** Se zvětšováním intenzity záření dopadajícího na fotodiodu dochází ke zvětšování proudu v obvodu. Fotodioda se v odporovém režimu zapojení chová jako fotorezistor.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Reálné zapojení fotodiody v hradlovém režimu. Běžné osvětlení, zakrytí fotodiody dlaní. Titulek *hradlový režim*.

**Slovní komentář:** Po zapojení fotodiody v hradlovém režimu na ní naměříme nenulové napětí i za běžného osvětlení.

**ZÁBĚR 9: Scéna v domácím prostředí.** Reálné zapojení fotodiody v hradlovém režimu. Osvětlení fotodiody pomocí reflektoru.

**Slovní komentář:** Se zvětšováním intenzity dopadajícího záření se zvětšuje napětí na fotodiodě. Napětí však nemůže být libovolně velké. Roste jen do určité mezní hodnoty, která je v tomto případě asi půl voltu. Fotodioda zapojená v hradlovém režimu se chová jako zdroj stejnosměrného napětí.

**ZÁBĚR 10: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na stůl, kde je obvod s LED diodou a fotovoltaickým článkem. V záběru je připojen poslední kontakt, přičemž se LED dioda rozsvítí. Následuje střídavé zakrývání fotovoltaického článku rukou.

**Slovní komentář:** Velkoplošnými fotodiodami jsou fotovoltaické články. Fotovoltaické články jsou schopny přeměňovat světelnou energii na elektrickou a rozsvítit tak např. tuto LEDku.

**ZÁBĚR 11: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: fotovoltaické panely.

**Slovní komentář:** Pochopení podstaty fotoelektrického jevu vedlo k objevu užitečných el. součástek i výstavbě solárních elektráren.

**ZÁBĚR 12: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Věřím, že podstatu fotoelektrického jevu nyní chápete i vy. Tak ahoj v příštím videu!

**ZÁBĚR 13: Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 2 Elektron – částice nebo vlna?

### Co je potřeba zajistit:

- vstup do laboratoře praktik z optiky: sestava k laboratornímu experimentu *Difrakce světla na kruhovém otvoru*; vstup do laboratoře praktik z atomové a jaderné fyziky: sestava k laboratornímu experimentu *Elektronová difrakce*;
- optický mikroskop a neodymové magnety.

### ČÁST 1: SVĚTLO JAKO VLNA I ČÁSTICE

#### 1. Demonstrace vlnové povahy světla

**Experiment:** difrakce světla na kruhovém otvoru.

#### 2. Demonstrace částicové povahy světla

**Animace a makroskopické analogie:** fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl, kulečnick a srážky koulí.

**ZÁBĚR 1:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

Anička

V 19. století byli fyzikové přesvědčeni o tom, že světlo je vlnění.

**ZÁBĚR 2:** Scéna v domácím prostředí. Detailní záběr na červený laser v dlani.

**Slovní komentář:** Pokud laserový svazek ...

**ZÁBĚR 3:** Scéna v laboratoři praktik z optiky. Záběr na experimentální sestavu k difrakci světla na kruhovém otvoru (laser, optické kabely, kamera, počítač atd.). Anička vkládá mezi laser a kameru překážku s kruhovým otvorem.

**Slovní komentář:** ... prochází malým kruhovým otvorem, nevznikne na stínítku jen jedna kruhová stopa. Dostatečně citlivá kamera zachytí ...

**ZÁBĚR 4:** Scéna v laboratoři praktik z optiky. Detailní záběr na obrazovku PC s difrakčním obrazcem.

**Slovní komentář:** ... kruhový disk obklopený dalšími kroužky, jejichž intenzita postupně slábne.

**ZÁBĚR 5:** Scéna v laboratoři praktik z optiky. Fotografie: difrakční obrazec a jeho popis.

**Slovní komentář:** Tento jev se nazývá difrakce a potvrzuje vlnovou podstatu světla.

**ZÁBĚR 6:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru, drží laser.

Anička

Světlo je ale něčím víc než pouhým vlněním.

**ZÁBĚR 7:** Vlastní grafika. Animace: vnější fotoelektrický jev.

**Slovní komentář:** Při interakci s látkou se chová také jako ...

**ZÁBĚR 8:** Scéna v domácím prostředí. Průchod laserového paprsku kapalinou. Na konci titulek *fotony*.

**Slovní komentář:** ... proud částic, které nazýváme fotony.

**ZÁBĚR 9:** Vlastní grafika. Animace: zjednodušené znázornění atomu.

**Slovní komentář:** Foton se může srazit například s elektronem v atomovém obalu.



**ZÁBĚR 10: Vlastní grafika.** Animace: zjednodušené znázornění atomu, fotoelektrický jev.

**Slovní komentář:** Může mu předat veškerou svou energii, ...

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Animace: zjednodušené znázornění atomu, Comptonův rozptyl.

**Slovní komentář:** ... může mu předat i její část.

**ZÁBĚR 12: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: kulečnick, odpal koule.

**Slovní komentář:** Stejně jako kulečnicková koule předá energii jiné kouli, když se s ní srazí.

**ZÁBĚR 13: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, nahlíží do učebnice.

**Anička**

Elektrony jsou hmotné částice. Hmm... To najdete přeci v každé učebnici fyziky!

**ZÁBĚR 14: Vlastní grafika.** Animace: elektron, proton, atom, molekula vody.

**Slovní komentář:** Proč by se ale hmotné částice jako elektrony, protony, atomy, molekuly, ...

**ZÁBĚR 15: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: běžící pes.

**Slovní komentář:** ... koneckonců i látky z nich složené, ...

**ZÁBĚR 16: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží v ruce laser.

**Slovní komentář:** ... nemohly chovat jako vlny?

**ZÁBĚR 17: Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky.** Noční záběr, detail. Difrakční kroužky vznikající při difrakci elektronů na vrstvě grafitu. Na konci titulek *Jakou vlnovou délku mají elektrony?*

**Slovní komentář:** Proč bychom jim nemohli přisoudit určitou vlnovou délku stejně jako světlu?

## ČÁST 2: DE BROGLIEHO VLNOVÁ HYPOTÉZA

**Výklad:** vlnové vlastnosti hmotných objektů, de Broglieho vlnová délka a její výpočet.

**ZÁBĚR 1: Převzatý obsah.** Fotografie: Louise de Broglie.

**Slovní komentář:** Tuto otázku si kladl také fyzik Louis de Broglie.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Zápis vztahu pro výpočet de Broglieho vlnové délky, popis symbolů.

**Slovní komentář:** Každému hmotnému objektu proto přiřadil vlnovou délku, která je určena podílem Planckovy konstanty a jeho hybnosti.

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

No, to je sice hezká myšlenka, ale existuje nějaký experiment, který to potvrzuje?

**ZÁBĚR 4: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: pes za oknem.

**Slovní komentář:** Váš pes se přece jako vlna nechová – nekmitá, ani neprojde zavřeným oknem.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Abychom prokázali platnost de Broglieho hypotézy, potřebujeme pracovat s co možná nejmenšími objekty, z nichž jsou tělesa složená.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Animace: pohybující se elektrony.

**Slovní komentář:** Elektrony jsou ideální volbou!

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři praktik z optiky.** Záběr na experimentální sestavu k difrakci světla.

**Slovní komentář:** Difrakce je typickou vlastností vlnění, to už víme.

**ZÁBĚR 8: Scéna v laboratoři praktik z optiky.** Detailní záběr na obrazovku PC s difrakčním obrazcem.

**Slovní komentář:** Mohou podobné difrakční obrazce vytvářet i elektrony?

**ZÁBĚR 9: Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky.** Noční záběr, detail. Difrakční kroužky vznikající při difrakci elektronů na vrstvě grafitu.

**Slovní komentář:** No jasně, ukážeme si jak!

### ČÁST 3: ELEKTRONOVÁ DIFRAKCE

#### Experimenty:

1. difrakce elektronů na vrstvě grafitu;
2. působení magnetického pole na fotony;
3. působení magnetického pole na elektrony.

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky.** Záběr z povzdáli. Anička sedí vedle aparatury k elektronové difrakci a postupně ukazuje na její části.

**Anička**

Experiment se bude odehrávat ve skleněné vakuované trubici připojené ke zdroji vysokého napětí.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Animace: znázornění trubice k elektronové difrakci.

**Slovní komentář:** Elektronové dělo uvnitř trubice uvolňuje elektrony. Ty jsou urychlovány vysokým napětím a dopadají na tenkou vrstvu grafitu.

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Protože je vrstva grafitu velmi tenká, projde jí většina elektronů.

**ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na mřížku, jejímiž otvory propadávají zrnka.

**Slovní komentář:** Podobně jako projdou tato zrnka otvory v mříži.

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Animace: znázornění trubice k elektronové difrakci.

**Slovní komentář:** Elektronový svazek se však po průchodu vrstvou grafitu rozptýlí.

**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky.** Záběr z povzdáli. Anička sedí vedle aparatury k elektronové difrakci, přičemž ukazuje na fluorescenční stínítko.

**Anička**

Na fluorescenčním stínítku pak každý elektron zanechá zelenou stopu. Díky tomu poznáme, kde elektrony dopadají a kde nikoliv. Tak pojďme to zjistit!

**ZÁBĚR 7:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Záběr na trubici k elektronové difrakci a zdroj vysokého napětí. Anička zapíná zdroj a nastavuje napětí 6 kV.

**Slovní komentář:** Skleněnou trubici připojíme ke zdroji vysokého napětí a nastavíme 6 kV.

**ZÁBĚR 8:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Detailní záběr fluorescenčního stínítka na stěně trubice.

**Slovní komentář:** A co uvidíme na stěně trubice?

**ZÁBĚR 9:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Noční záběr, detail. Difrakční obrazec vznikající na fluorescenčním stínítku při difrakci elektronů na grafitové vrstvě.

**Slovní komentář:** Kruhový disk obklopený dalšími kroužky, jejichž intenzita postupně slábne.

**ZÁBĚR 10:** Scéna v laboratoři praktik z optiky. Detailní záběr na obrazovku PC, kde je difrakční obrazec vznikající při difrakci světla na kruhovém otvoru.

**Slovní komentář:** Stejně jako v případě experimentu s laserem.

**ZÁBĚR 11:** Scéna v laboratoři praktik z optiky. Záběr na experimentální sestavu k difrakci světla na kruhovém otvoru (laser, optické kabely, kamera, počítač atd.). Anička přidržuje magnet v těsné blízkosti laserového svazku. V záběru je také obrazovka PC, kde je dobře patrné, že se difrakční obrazec působením magnetického pole nemění.

**Slovní komentář:** Laserový paprsek však magnetem nevychýlíme.

**ZÁBĚR 12:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Noční záběr, detail. Struktura difrakčních kroužků na fluorescenčním stínítku, v jehož blízkosti Anička pohybuje magnetem.

**Slovní komentář:** Zato elektrony mají záporný náboj, takže se v magnetickém poli vychýlí a difrakční obrazec se změní.

#### ČÁST 4: VLNOVÁ DÉLKA ELEKTRONŮ

**Odvození vzorce a výpočty:** závislost de Broglieho vlnové délky na urychlovacím napětí, výpočet vlnové délky elektronů, srovnání s vlnovou délkou elektromagnetického záření a vlnovou délkou odpovídající běžícímu psovi.

**ZÁBĚR 1:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

**Anička**

Takže elektrony se chovají také jako vlny... Jakou vlnovou délku ale mají?

**ZÁBĚR 2:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Detailní záběr na zdroj vysokého napětí.

**Slovní komentář:** To závisí na napětí, které je urychluje.

**ZÁBĚR 3:** Vlastní grafika. Animace: elektron v homogenním elektrickém poli, znázornění síly.

**Slovní komentář:** V elektrickém poli působí na elektron elektrostatická síla.

**ZÁBĚR 4:** Vlastní grafika. Vztah pro výpočet práce vykonané elektrostatickým polem při přemístování elektronu v homogenním elektrickém poli, tj.  $W = Ue$  včetně popisu jednotlivých symbolů.

**Slovní komentář:** Elektrostatické pole vykoná při přemístování elektronu práci, která je dána součinem napětí a náboje.

**ZÁBĚR 5:** Vlastní grafika. Zápis vztahu  $W = \Delta E_k$  vyjadřujícího přírůstek kinetické energie.

**Slovní komentář:** Tato práce se přemění na kinetickou energii elektronu.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží tabulku se symbolickým zápisem.

**Anička**

Počítání si trochu zjednodušíme. Budeme předpokládat, že počáteční rychlost elektronu byla nulová a že v elektrickém poli získal rychlost, která byla mnohem menší ve srovnání s rychlostí světla ve vakuu.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Zápis fyzikálních vztahů:  $W = \Delta E_k$ ;  $Ue = \frac{1}{2}m_e v^2$ ;  $v = \sqrt{\frac{2Ue}{m_e}}$ .

**Slovní komentář:** Rychlost elektronu v elektrickém poli pak vyjádříme takto.

**ZÁBĚR 8: Vlastní grafika.** Zápis vztahu pro výpočet de Broglieho vlnové délky elektronu  $\lambda = \frac{h}{p}$  a jeho popis.

Dále zápis vztahů:  $p = m_e v$ ;  $p = m_e \sqrt{\frac{2Ue}{m_e}}$ ;  $p = \sqrt{2Uem_e}$  a  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2Uem_e}}$ .

**Slovní komentář:** Pro výpočet vlnové délky elektronu potřebujeme znát Planckovu konstantu a hybnost elektronu. Hybnost elektronu je dána součinem jeho hmotnosti a rychlosti. Za rychlost přitom dosadíme předchozí vztah. Poté znovu dosadíme za hybnost a tadyááá, máme vzorec pro výpočet vlnové délky elektronu.

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Výčet hodnot fyzikálních konstant: Planckova konstanta, elementární náboj, hmotnost elektronu.

**Slovní komentář:** Planckova konstanta, elementární náboj, hmotnost elektronu. To jsou všechno konstanty.

**ZÁBĚR 10: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na tabulku s výpočtem vlnové délky elektronu, tj. dosazení do vztahu  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2Uem_e}}$ , přičemž  $U = 6000$  V.

**Slovní komentář:** Pokud za napětí dosadíme 6000 V a dopočítáme vlnovou délku, zjistíme, že elektrony mají při daném napětí vlnovou délku asi 16 pm.

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Obrázek: zápis hodnoty 16 pm.

**Slovní komentář:** A to je málo nebo hodně? No, jak se to vezme.

**ZÁBĚR 12: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Vlnovou délku v řádu pikometrů má tvrdé rentgenové záření nebo záření gama, ...

**ZÁBĚR 13: Převzatý obsah.** Obrázek: elektromagnetické spektrum.

**Slovní komentář:** ... což jsou elektromagnetická záření těch nejkratších vlnových délek.

**ZÁBĚR 14: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: běžící pes.

**Slovní komentář:** Je to ale mnohem větší vlnová délka, než jakou bude mít váš ...

**ZÁBĚR 15: Vlastní grafika.** Výpočet de Broglieho vlnové délky psa dle vztahu  $\lambda = \frac{h}{mv}$ .

**Slovní komentář:** ... patnáctikilový pes běžící rychlostí 3 m/s.

**ZÁBĚR 16: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží tabulku se srovnáním vlnové délky elektronu a běžícího psa, přičemž  $\lambda_e/\lambda_p = 10^{24}$ .

**Anička**

A slovem mnohem myslím více než milionkrát nebo bilionkrát. Kdybyste srovnali vlnovou délku elektronu a vašeho psa, zjistili byste, že vlnová délka elektronu je asi tolikrát větší.

**ZÁBĚR 17:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Noční záběr, detail. Soustava difrakčních kroužků při elektronové difrakci.

**Slovní komentář:** Ještě jedno upozornění. Nemyslete si, že každý elektron má vlnovou délku 16 pm.

**ZÁBĚR 18:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Noční záběr na aparaturu k elektronové difrakci z povzdáli, přičemž je patrná stopa po elektronech i aktuální hodnota napětí.

**Slovní komentář:** Vlnová délka elektronů přece závisí na urychlovacím napětí.

**ZÁBĚR 19:** Vlastní grafika. Zápis vztahu  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2Uem_e}}$ .

**Slovní komentář:** Čím je napětí větší, tím je vlnová délka elektronů menší.

**ZÁBĚR 20:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Detailní záběr zdroje vysokého napětí.

**Slovní komentář:** Volbou napětí tedy můžeme měnit vlnovou délku elektronů.

## ČÁST 5: TRANSMISNÍ ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP

**Výklad:** transmisní elektronový mikroskop a jeho princip, srovnání s optickým mikroskopem.

**ZÁBĚR 1:** Vlastní grafika. Schéma skleněné trubice k difrakci elektronů. Pohled z boku a dále zepředu.

**Slovní komentář:** Elektronová difrakce není jen efektním důkazem de Broglieho hypotézy.

**ZÁBĚR 2:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

**Anička**

Grafit můžeme nahradit i jinou tenkou vrstvou materiálu, který máme v úmyslu zkoumat. Pak stačí přidat pár elektromagnetických čoček ...

**ZÁBĚR 3:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Ilustrační záběr cívky v dlani.

**Slovní komentář:** ... což jsou v podstatě cívky, které svazek elektronů usměrní, ...

**ZÁBĚR 4:** Scéna v laboratoři praktik z atomové a jaderné fyziky. Záběr z povzdáli, Anička sedí vedle aparatury k difrakci elektronů a zvyšuje napětí na zdroji.

**Slovní komentář:** ... zvýšit napětí na několik stovek kV ...

**ZÁBĚR 5:** Převzatý obsah. Fotografie: TEM.

**Slovní komentář:** ... a tadaáá, máme transmisní elektronový mikroskop!

**ZÁBĚR 6:** Scéna v laboratoři praktik z optiky. Záběr na optický mikroskop, Anička nahlíží do okuláru.

**Slovní komentář:** Klasický optický mikroskop používá k zobrazování světlo, které má ...

**ZÁBĚR 7:** Vlastní grafika. Znázornění viditelného spektra spolu s rozsahem vlnových délek.

**Slovní komentář:** ... vlnovou délku od 390 nm do 760 nm.

**ZÁBĚR 8:** Scéna v laboratoři praktik z optiky. Detailní záběr na optický mikroskop.

**Slovní komentář:** Proto má rozlišení v řádu stovek nanometrů.

**ZÁBĚR 9:** Převzatý obsah. Úryvek z videa: trepky pod mikroskopem.

**Slovní komentář:** Můžete jim zkoumat trepky v hodinách biologie, ale nikoli už viry, uspořádání atomů nebo jednotlivé molekuly.

**ZÁBĚR 10: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Pokud chceme vidět hlouběji do říše mikrosvěta, musíme použít elektronový mikroskop.

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Jednoduché schéma TEM a popis jeho částí.

**Slovní komentář:** V transmisním elektronovém mikroskopu jsou elektrony urychlovány vysokým napětím a usměřovány elektromagnetickými čočkami na tenký vzorek. Tím pronikají, až dopadnou na fluorescenční stínítko.

**ZÁBĚR 12: Vlastní grafika.** Výpočet vlnové délky elektronů v TEM při napětí 300 kV.

**Slovní komentář:** Pokud by byly elektrony urychlovány napětím 300 kV, měly by vlnovou délku přibližně 2 pm.

**ZÁBĚR 13: Převzatý obsah.** Snímky z TEM: koronavirus, nanočástice zlata, monovrstva grafenu a hliníku.

**Slovní komentář:** Pomocí elektronového mikroskopu jsme proto schopni vidět i ty nejmenší viry nebo jednotlivé atomy.

**ZÁBĚR 14: Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 3 Luminiscence aneb jak vypadá studené světlo

### Co je potřeba zajistit:

- UV svítilna, modrý a zelený laser, baterie;
- bankovky, stravenky, jízdenky, platební karta, tonik, limonáda Mountain Dew, banány v čokoládě, větvičky z kaštanu, zvýrazňovače, fotoluminiscenční barviva na bázi hlinitanu strontnatého, tělová barviva;
- různobarevné LEDky, katodová trubice, zdroj vysokého napětí, propojovací kabely, magnet, tritiový přívěšek, scintilační detektor, lightsticky;
- voda, nože, kleště, misky, talíře, rozprašovač.

### ČÁST 1: TEPELNÉ ZÁŘENÍ VERSUS LUMINISCENCE

**Motivace:** navození problematiky vyzářování studených těles, úvod do luminiscence.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, škrtá zápalkou.

#### Anička

Tělesa, která jsou zahřátá na dostatečně vysokou teplotu, jsou zdroji viditelného světla.

**ZÁBĚR 2: Převzatý obsah.** Úryvky z videí, fotografie: žárovka, svařování, hvězda Rigel a souhvězdí Orion.

**Slovní komentář:** Takovým tělesem je i rozžhavené vlákno žárovky, elektrický oblouk při svařování, ale také hvězda.

**ZÁBĚR 3: Převzatý obsah.** Sjednocení předchozích záběrů v jeden, přidání orientačních teplot.

**Slovní komentář:** Barva světla závisí na teplotě. Čím má těleso vyšší teplotu, tím intenzivněji vysílá záření kratších vlnových délek, takže svítí víc domodra.

**ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na zářivku, povrchu zářivky se dotkne ruka.

**Slovní komentář:** Zdrojem viditelného světla je i zářivka. Při dotyku ale cítíme, že má jen pokojovou teplotu.

**ZÁBĚR 5: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: světluška.

**Slovní komentář:** Svítit dokáže i světluška ...

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr svítícího lightsticku.

**Slovní komentář:** ... nebo třeba lightstick.

**ZÁBĚR 7: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží v ruce lightstick.

#### Anička

Tato tělesa zřejmě nevysílají viditelné světlo v důsledku vysoké teploty. Kdyby tomu tak bylo, museli byste zářit i vy nebo třeba váš pes.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí / Scéna v laboratoři školních pokusů.** Výběr ilustračních záběrů natočených v dalších částech.

**Slovní komentář:** Vyzářování těles ve viditelné oblasti spektra, které není spojeno s jejich teplotou, se nazývá luminiscence. Chcete vědět, kde všude se s ní můžete setkat?

## ČÁST 2: FOTOLUMINISCENCE BUZENÁ UV ZÁŘENÍM

**Experimenty:** ozařování různých fotoluminiscenčních materiálů UV svítlnou.

Bankovky, stravenky, jízdenky, platební karta, tonik, limonáda Mountain Dew, zvýrazňovače a jejich barviva, banány v čokoládě, výluh z kaštanových větviček, fotoluminiscenční barviva na bázi hlinitanu strontnatého, tělová barviva.

**Výklad:** fyzikální podstata fotoluminiscence, zářivé a nezářivé přechody.

**ZÁBĚR 1:** **Vlastní grafika.** Titulek *fotoluminiscence*, bez komentáře.

**ZÁBĚR 2:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Tonik a jeho ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** Pokud tonik ozáříme UV svítlnou, začne vyzařovat intenzivní namodralé světlo.

**ZÁBĚR 3:** **Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Srovnání vody a toniku při ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** Můžeme ho srovnat třeba s obyčejnou vodou.

**ZÁBĚR 4:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Bankovka a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** Stejně tak svítí i ochranné prvky na bankovkách, ...

**ZÁBĚR 5:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Jízdenka a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** ... jízdenkách, ...

**ZÁBĚR 6:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Stravenka a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** ... stravenkách, ...

**ZÁBĚR 7:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Platební karta a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** ... nebo na platební kartě.

**ZÁBĚR 8:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Zvýrazňovače a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** Při ozařování zdrojem UV záření svítí i zvýrazňovače ...

**ZÁBĚR 9:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Pravitka, nápoj Mountain Dew a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** ... nebo jiné předměty křiklavých barev.

**ZÁBĚR 10:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Sklenice obsahující barviva ze zvýrazňovačů a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** Zvýrazňovače můžete naříznot a jejich obsah vylít do sklenic. Barvivo svítí velmi intenzivně.

**ZÁBĚR 11:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Sklenice obsahující naředěná barviva ze zvýrazňovačů a ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** Případně ho můžete naředit s vodou.

**ZÁBĚR 12:** **Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Tělová barviva v dlani, ozařování UV svítlnou.

**Slovní komentář:** Existují i jiné typy luminiscenčních barviv.



**ZÁBĚR 13: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Nápis na paži vytvořený tělovým barvivem a jeho ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Některé jsou určeny k malování na pokožku, ...

**ZÁBĚR 14: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: malířka a luminiscenční barviva.

**Slovní komentář:** ... dalšími můžete oživit třeba své obrazy.

**ZÁBĚR 15: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: glow star stickers.

**Slovní komentář:** Pokud máte na zdi nalepené hvězdičky, které ve tmě září, ...

**ZÁBĚR 16: Scéna v domácím prostředí.** Denní záběr. Sáčky s barvivy na bázi hlinitanu strontnatého.

**Slovní komentář:** ... pravděpodobně obsahují hlinitan strontnatý s příměsí europia.

**ZÁBĚR 17: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Sáčky s barvivy na bázi hlinitanu strontnatého a jejich ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Jedná se o prášek, který ...

**ZÁBĚR 18: Scéna v domácím prostředí.** Denní záběr. Plastové misky s vodou obsahující barviva na bázi hlinitanu strontnatého.

**Slovní komentář:** ... můžete rozmíchat třeba ve vodě.

**ZÁBĚR 19: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Plastová miska s vodou obsahující barvivo na bázi hlinitanu strontnatého, ozařování UV svítílnou, poté vypnutí zdroje.

**Slovní komentář:** Na rozdíl od zvýrazňovačů nebo toniku bude vyzařovat i poměrně dlouhou dobu poté, co zdroj UV záření vypnete. K jeho vyhasnutí dojde až za několik hodin.

**ZÁBĚR 20: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Banány v čokoládě a ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Posvítíme si na jídlo? Je libo banán v čokoládě, nebo vás už přešla chuť?

**ZÁBĚR 21: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Výluh z kaštanových větviček a jeho ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Pokud dáváte přednost bio kvalitě, zkuste zalít pár kaštanových větviček vodou.

**ZÁBĚR 22: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Srovnání vody a výluhu z kaštanových větviček při ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Moc chutný čaj to asi nebude, ale pod UV svítílnou se rozzáří domodra.

**ZÁBĚR 23: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, nahlíží do učebnice fyziky.

**Slovní komentář:** Ale dost bylo pokusů, teď trochu fyziky.

**ZÁBĚR 24: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Titulek *luminiscence* napsaný zvýrazňovačem a jeho postupné ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Luminiscence, kterou jsme doposud zkoumali, ...

**ZÁBĚR 25: Scéna v domácím prostředí.** Denní záběr zachycující UV svítílnu.

**Slovní komentář:** ... byla vyvolána vyzařováním jiného tělesa. Nese proto speciální označení, a to fotoluminiscence.

**ZÁBĚR 26: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Tonik a ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Tonik absorbuje okem neviditelné záření o vlnové délce asi 365 nm z UV svítílny.

**ZÁBĚR 27: Vlastní grafika.** Energetické hladiny, zářivý přechod ze základního do excitovaného stavu.

**Slovní komentář:** Proto přejde do excitovaného stavu.

**ZÁBĚR 28: Vlastní grafika.** Energetické hladiny, nezářivý přechod mezi excitovanými stavy.

**Slovní komentář:** Část přijaté energie se ale spotřebuje na jeho zahřátí.

**ZÁBĚR 29: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Tonik a ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Žádná látka přirozeně nesetrvává v excitovaném stavu moc dlouho a má tendenci se přebytečné energie zbavit.

**ZÁBĚR 30: Vlastní grafika.** Energetické hladiny, zářivý přechod z excitovaného do základního stavu, dále srovnání frekvencí a vlnových délek absorbovaného a emitovaného záření.

**Slovní komentář:** Protože část energie tonik ztratil zahřátím, emituje při přechodu do základního stavu záření o menší frekvenci, a tedy větší vlnové délce.

**ZÁBĚR 31: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr. Tonik a ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** Toto záření spadá do viditelné oblasti spektra, takže ho můžeme vidět.

**ZÁBĚR 32: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží v ruce tonik.

**Anička**

Látky, které vykazují luminiscenci, souhrnně nazýváme luminofory. Luminoforem je také chinin, který je obsažen v toniku ...

**ZÁBĚR 33: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr. Výluh z kaštanových větviček a jeho ozařování UV svítílnou.

**Slovní komentář:** ... nebo aesculin, který se uvolňoval z kaštanových větviček.

**ZÁBĚR 34: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na zářivku.

**Slovní komentář:** Luminofor je nanesen také na vnitřním povrchu zářivek, kde zajišťuje přeměnu ultrafialového záření na viditelné světlo.

### ČÁST 3: FOTOLUMINISCENCE BUZENÁ LASERY

**Experimenty:** ozařování ředěného barviva ze zvýrazňovačů modrým a zeleným laserem.

**Výklad:** Stokesův zákon o fotoluminiscenci.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží v ruce laser.

**Anička**

Fotoluminiscence nemusí být vyvolána jen UV zářením. Postačí nám i viditelné světlo vysílané lasery.

**ZÁBĚR 2: Scéna v domácím prostředí.** Denní záběr zachycující zvýrazňovače.

**Slovní komentář:** Barvivo ze zvýrazňovačů ...

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Denní záběr na sklenice s ředěným barvivem ze zvýrazňovačů.

**Slovní komentář:** ... jsme naředili s vodou.

**ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr zachycující sklenici se žlutým roztokem, jež je prosvěcován modrým laserem.

**Slovní komentář:** Pokud sklenici prosvítíme modrým laserem, částice žlutého roztoku světlo pohltí a vyzáří zpětně ve formě zeleného světla.

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Srovnání vlnové délky zeleného a modrého světla.

**Slovní komentář:** Přitom zelené světlo má větší vlnovou délku než modré.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr zachycující sklenici s růžovým roztokem, jež je prosvěcován zeleným laserem.

**Slovní komentář:** Jestliže růžový roztok prosvítíme zeleným laserem, částice světlo opět pohltí a zpětně vyzáří ve formě oranžového světla.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Srovnání vlnové délky oranžového a zeleného světla.

**Slovní komentář:** A jak asi už očekáváte, oranžové světlo má větší vlnovou délku než zelené světlo.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží tabulku se symbolickým zápisem Stokesova zákona o fotoluminiscenci.

**Anička**

Na základě provedených pokusů můžeme vyslovit Stokesův zákon o fotoluminiscenci, který říká, že vlnová délka emitovaného záření je vždy větší než vlnová délka absorbovaného záření.

## ČÁST 4: ELEKTROLUMINISCENCE

**Experimenty:** zapojování LEDek do elektrických obvodů.

**ZÁBĚR 1: Vlastní grafika.** Titulek *elektroluminiscence*, bez komentáře.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Denní záběr, detail. Elektrický obvod s LEDkou.

**Slovní komentář:** LEDka neboli elektroluminiscenční dioda je stejně jako zářivka studeným zdrojem světla.

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Schéma zapojení LEDky do elektrického obvodu.

**Slovní komentář:** Pokud jí prochází elektrický proud v propustném směru, emituje světlo.

**ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, v pozadí vánoční LED osvětlení.

**Anička**

Podstatou fungování LEDek je tedy elektroluminiscence.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Noční záběr, detail. LEDky různých barev.

**Slovní komentář:** Barva emitovaného světla je závislá na chemické příměsi použitého polovodiče.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, v pozadí vánoční LED osvětlení.

**Anička**

Většina barevných LEDek byla objevena již v sedmdesátých letech minulého století. Výjimku tvořila modrá LEDka, která nedala vědcům ještě dlouho spát.

## ČÁST 5: KATODOLUMINISCENCE

**Experimenty:**

1. pozorování katodoluminiscence v katodové trubici;
2. zkoumání vlivu magnetického pole na katodové záření.

**ZÁBĚR 1: Vlastní grafika.** Titulek *katodoluminiscence*, bez komentáře.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Animace zachycující průběh vnějšího fotoelektrického jevu.

**Slovní komentář:** Vybavujete si fotoelektrický jev, při kterém foton o dostatečně vysoké energii způsobí vyražení elektronu z povrchu látky?

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Tento jev může probíhat i opačně!

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Animace zachycující průběh katodoluminiscence.

**Slovní komentář:** Rychlé elektrony mohou při nárazu na vhodný materiál způsobit emisi fotonů.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Pokud se jedná o fotony viditelného světla, nazýváme tento jev katodoluminiscence.

**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Noční záběr na katodovou trubici připojenou ke zdroji vysokého napětí.

**Slovní komentář:** Katodoluminiscence může probíhat třeba v katodové trubici naplněné zředěným plynem.

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Denní záběr na katodovou trubici připojenou ke zdroji vysokého napětí. Vyznačení katody a anody, postupné zvyšování napětí.

**Slovní komentář:** Po připojení katodové trubice ke zdroji vysokého napětí se elektrony pohybují od záporně nabitě katody ke kladně nabitě anodě.

**ZÁBĚR 8: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Noční záběr na katodovou trubici připojenou ke zdroji vysokého napětí.

**Slovní komentář:** Vysokým elektrickým napětím jsou elektrony urychleny na tak velkou rychlost, že část z nich mine anodu a dostane se až za oblast kovového kříže, kde po dopadu na skleněnou stěnu zanechá zelenou stopu.

**ZÁBĚR 9: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Noční záběr zachycující katodovou trubici. Pohyb magnetu v blízkosti stěny s křížem, deformace obrazu.

**Slovní komentář:** Magnetem ale elektrony můžeme vychýlit.

## ČÁST 6: RADIOLUMINISCENCE

**Ukázky:**

1. tritiový přívěsek;
2. scintilační detektor.

**ZÁBĚR 1: Vlastní grafika.** Titulek *radioluminiscence*, bez komentáře.

**ZÁBĚR 2: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Elektrony mají stejnou fyzikální podstatu jako beta mínus záření, ...

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Animace: beta mínus zářič a emise elektronů.

**Slovní komentář:** ... které je proudem elektronů. Je však uvolňováno některými radioaktivními látkami, ku příkladu tritiem.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Znázornění jádra tritia, značka a rovnice popisující jadernou přeměnu.

**Slovní komentář:** Tritium je izotop vodíku s jedním protonem a dvěma neutrony.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Denní záběr zachycující tritiový přívěšek.

**Slovní komentář:** Když jim naplníme trubici, na jejímž vnitřním povrchu je nanesen luminofor, ...

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Noční záběr zachycující tritiový přívěšek.

**Slovní komentář:** ... docílíme podobného efektu jako v případě katodové trubice. Nastane takzvaná radioluminiscence.

**ZÁBĚR 7: Převzatý obsah.** Úryvek ze hry Fallout 76.

**Slovní komentář:** Ionizující záření nejsme schopni zachytit našimi smysly.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr zachycující tritiový přívěšek.

**Slovní komentář:** Radioluminiscence je ale dokáže svým způsobem kompenzovat.

**ZÁBĚR 9: Scéna ve výzkumné laboratoři.** Záběr na scintilační detektor v ruce.

**Slovní komentář:** Pro detekci lze použít scintilační detektor, jehož základem je vhodný luminofor.

**ZÁBĚR 10: Scéna ve výzkumné laboratoři.** Záběr na scintilační detektor připojený k PC v průběhu měření.

**Slovní komentář:** Ten je schopen převádět energii ionizujícího záření na záblesky viditelného světla, které umíme elektronicky zpracovat.

## ČÁST 7: CHEMILUMINISCENCE

### Ukázky:

1. lightsticky;
2. luminol a kriminalistika.

**ZÁBĚR 1: Vlastní grafika.** Titulek *chemiluminiscence*, bez komentáře.

**ZÁBĚR 2: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr na lightsticky.

**Slovní komentář:** Příčinou luminiscence může být i chemická reakce.

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží lightsticky.

**Slovní komentář:** Toho využívají například lightsticky.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Znázornění vnitřní struktury lightsticku.

**Slovní komentář:** Lightstick obsahuje kapalinu s luminoforem a kapsli naplněnou roztokem peroxidu vodíku.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, láme lightstick.

#### Anička

Když se lightstick vhodně ohne, vnitřní kapsle se rozlomí. Kapaliny uvnitř se smíchají a spustí se chemická reakce.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Denní i noční záběr na lightstick.

**Slovní komentář:** Energie uvolněná reakcí se přemění na energii viditelného světla.

**ZÁBĚR 7: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Chemiluminiscenci určitě znáte i z kriminálek!

**ZÁBĚR 8: Převzatý obsah.** Úryvky z videí v souvislosti s kriminalistikou a trestnými činy.

**Slovní komentář:** I když vrah po sobě uklidí, vyšetřovatelé jsou schopni najít i ty nejmenší stopy krve, na které zapomněl.

**ZÁBĚR 9: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží v ruce rozprašovač.

**Anička**

Stačí na podezřelou plochu rozprášit roztok luminolu a peroxidu. Krev funguje jako katalyzátor jejich reakce.

**ZÁBĚR 10: Převzatý obsah.** Úryvek ze seriálu Dexter, kde je používán luminol k odhalení vraždy.

**Slovní komentář:** Stopy krve se pak doslova rozsvítí.

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 4 Radioaktivita: alfa záření

### Co je potřeba zajistit:

- ionizační komora, baterie o celkovém napětí 18 V, multimetr, spojovací vodiče;
- vzorky: americium 241 (ve verzi alfa zářiče i gama zářiče), stroncium 90 (beta zářič);
- stínící materiály: papír, bavlněná rouška, tabulka skla, hliníkový plech;
- další pomůcky: ionizační detektor kouře, svinovací metr.

### ČÁST 1: PŘEDVEDENÍ IONIZAČNÍ KOMORY

**Motivace:** ukázka amatérské ionizační komory, navození zvědavosti.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru. Na stole je ionizační komora spolu s voltmetrem a spojovacími vodiči. Probíhá rozhovor mezi Aničkou a kolegou, který je mimo záběr.

**Kolega**

Jéééé, ty máš novou termosku?

**Anička**

To není žádná termoska! To je detektor alfa záření – z plechovky a pár drátů.

**Kolega**

A to vážně funguje?

**Anička**

No jasně, však se klidně podívej!

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Výběr ilustračních záběrů natočených v dalších částech.

**Slovní komentář:** V rámci tohoto videa si to vysvětlíme podrobněji.

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Titulek *alfa záření*, bez komentáře.

### ČÁST 2: TEORETICKÝ ÚVOD

**Výklad:** základní poznatky o radioaktivním záření, fyzikální podstata alfa částic, jednoduché příklady alfa zářičů.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Zdrojem radioaktivního záření jsou atomová jádra, která mění své složení nebo v nich dochází ke změně energetického stavu.

**ZÁBĚR 2: Převzatý obsah.** Úryvky z videí, fotografie: znázornění lidských smyslů, portréty významných fyziků spjatých s radioaktivitou (Henri Becquerel, Marie & Pierre Curie, Ernest Rutherford), laboratoř.

**Slovní komentář:** Radioaktivní záření nelze bezprostředně zachytit lidskými smysly. Není divu, že jeho fyzikální podstata byla objasněna až na počátku 20. století. Bylo zjištěno, že existují tři typy radioaktivního záření – alfa, beta a gama.

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Znázornění alfa částice.

**Slovní komentář:** Alfa záření je proudem jader hélia, která jsou tvořena dvěma protony a dvěma neutrony.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Rovnice popisující alfa rozpad obecného atomového jádra.

**Slovní komentář:** Jádro, jež podléhá alfa rozpadu, zmenšuje své nukleonové číslo o čtyři a protonové o dva. Přitom uvolňuje jádro hélia.

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Zápis radonu 222 spolu s rovnicí popisující jeho alfa rozpad.

**Slovní komentář:** Přírodním zdrojem alfa záření je například radon, který se běžně vyskytuje v plynném skupenství.

**ZÁBĚR 6: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: abstraktní animace plynu, staré domy.

**Slovní komentář:** Radon se může hromadit v přízemí budov se špatně položenými základy.

**ZÁBĚR 7: Převzatý obsah.** Tematický úryvek ze seriálu Breaking Bad.

**Slovní komentář:** Obyvatelé budov s vysokou koncentrací radonu ve vzduchu jsou vystaveni zdravotnímu riziku – radon je hned po kouření druhou nejčastější příčinou rakoviny plic.

**ZÁBĚR 8: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na vzorek americia 241 jakožto součást ionizačního detektoru kouře.

**Slovní komentář:** Umělým zdrojem alfa záření je např. americium 241, které je součástí ionizačních detektorů kouře.

**ZÁBĚR 9: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Ionizační detektor kouře v akci – spuštění poplachu v blízkosti plamene svíčky.

**Slovní komentář:** Při běžném používání však nepředstavuje žádné zdravotní riziko.

### ČÁST 3: PŘIROZENÉ RADIAČNÍ POZADÍ

**Výklad:** konstrukce ionizační komory a princip fungování.

**Experiment:** detekce přirozeného radiačního pozadí pomocí ionizační komory.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na stole je ionizační komora.

#### Anička

Záhadný přístroj, který jste viděli na začátku videa, se nazývá ionizační komora. Ionizační komoru lze využít jako jednoduchý detektor alfa záření. Dokonce si ji můžete vyrobit i sami doma. Odkaz na podrobný návod je k dispozici pod videem.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na ionizační komoru.

**Slovní komentář:** Základem ionizační komory je kovová trubice ze dvou plechovek.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na měděný vodič ve vnitřní části ionizační komory.

**Slovní komentář:** Uvnitř první plechovky je odizolovaný měděný vodič.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Schéma ionizační komory, zvýraznění polohy rezistoru a tranzistoru.

**Slovní komentář:** V druhé plechovce navazuje na měděný vodič obvod s rezistorem a tranzistorem. Přes kovovou konstrukci však tento obvod nevidíme.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Připojení ionizační komory k bateriím a voltmetru.

**Slovní komentář:** Ionizační komoru připojíme k bateriím o celkovém napětí 18 V a voltmetru.



**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Schéma ionizační komory, zvýraznění anody a katody.

**Slovní komentář:** Takto vytvořený elektrický obvod není uzavřený – plechovka se nabíjí kladně a měděný vodič záporně.

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Ionizační komora připojená k baterii a voltmetru, nenulová hodnota na voltmetru.

**Slovní komentář:** I přesto na ionizační komoře naměříme malé napětí kolem 11 mV.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na stole ionizační komora.

**Anička**

Jak je možné, že na ionizační komoře naměříme určité nenulové napětí? Vždyť takto vytvořený elektrický obvod není uzavřený. Mezi plechovkou a měděným vodičem je pouze vzduch.

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Nákres elektrického obvodu: zdroj vysokého napětí, kovové desky, ampérmetr. Mezi kovovými deskami jsou neutrální atomy (znázorněny zeleně), na ampérmetru je nulová výchylka.

**Slovní komentář:** Plyn tvořený elektricky neutrálními molekulami nevede elektrický proud.

**ZÁBĚR 10: Vlastní grafika.** Nákres elektrického obvodu: zdroj vysokého napětí, kovové desky, ampérmetr. Mezi kovovými deskami jsou neutrální atomy (znázorněny zeleně), kladně nabitě částice (znázorněny červeně), záporně nabitě částice (znázorněny modře). Znárodnění uspořádaného pohybu nositelů elektrického proudu a nenulové výchylky na ampérmetru.

**Slovní komentář:** Elektrický proud vede pouze ionizovaný plyn, v němž jsou přítomny kladné ionty a záporné ionty či elektrony.

**ZÁBĚR 11: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na stole ionizační komora.

**Anička**

Aby obvodem neustále procházel elektrický proud, potřebujeme, aby v plynu vznikaly stále nové a nové ionty. Potřebujeme nějaký ionizátor, který to zajistím. Tím může být třeba záření o dostatečně velké energii.

**ZÁBĚR 12: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: příroda.

**Slovní komentář:** Vzduch je trvale slabě ionizován, zejména účinkem kosmického záření nebo radioaktivity zemské kůry.

**ZÁBĚR 13: Vlastní grafika.** Schéma ionizační komory, dále znázornění kladných iontů, záporných iontů a elektronů včetně jejich pohybu.

**Slovní komentář:** Uvnitř plechovky proto neustále vzniká malé množství iontů. Obvodem prochází malý proud, který nelze zachytit klasickým ampérmetrem.

**ZÁBĚR 14: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Ionizační komora připojená k baterii a voltmetru, nenulová hodnota na voltmetru.

**Slovní komentář:** Měřitelné je však tranzistorem zesílené napětí na plechovce, které potvrzuje přítomnost slabého elektrického proudu v obvodu.

**ZÁBĚR 15: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na stole ionizační komora.

**Anička**

Z prvního experimentu vyplývá, že jsme i za jinak běžných podmínek bombardováni radioaktivním a kosmickým zářením. Říkáme, že pomocí detektoru registrujeme přirozené radiační pozadí

## ČÁST 4: IONIZAČNÍ ÚČINKY ALFA ZÁŘENÍ

**Experiment:** srovnání ionizačních účinků alfa, beta a gama záření pomocí ionizační komory.

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr zachycující ionizační komoru připojenou k voltmetru a baterii. Postupné přibližování alfa zářiče k detekční ploše.

**Slovní komentář:** Pokud k ionizační komoře přiblížíme zdroj alfa záření, naměříme na ní znatelně větší napětí. Při maximálním přiblížení až půl voltu.

**ZÁBĚR 2: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Půl voltu, to je asi padesátkrát více, než jsme naměřili bez přítomnosti alfa zářiče. Zdá se, že alfa záření má poměrně silné ionizační účinky, mnohem silnější než přirozené radiační pozadí.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr zachycující ionizační komoru připojenou k voltmetru a baterii. Postupné přibližování beta zářiče k detekční ploše.

**Slovní komentář:** Pokud do blízkosti ionizační komory umístíme zdroj beta záření, bude nárůst napětí podstatně menší.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr zachycující ionizační komoru připojenou k voltmetru a baterii. Postupné přibližování gama zářiče k detekční ploše.

**Slovní komentář:** Po přiblížení zdroje gama záření se napětí na ionizační komoře prakticky nemění.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na infografiku popisující alfa, beta a gama záření. Anička ukazuje prstem na jednotlivé typy záření.

**Slovní komentář:** Proč elektrony a fotony gama záření nemají tak silné ionizační účinky jako jádra hélia?

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, vybízí k úvaze nad položenou otázkou. Otázka je směřována na diváky, video neposkytuje odpověď.

**Anička**

Porovnejte hmotnosti, náboje a další vlastnosti těchto částic a pokuste se tuto skutečnost vysvětlit.

## ČÁST 5: ALFA ZÁŘENÍ A ŽIVÁ TKÁŇ

**Výklad:** negativní účinky alfa záření na živou tkáň.

**ZÁBĚR 1: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: člověk se zvířaty.

**Slovní komentář:** Ionizující záření má negativní účinky na člověka i jiné živé organismy.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Animace: ionizace neutrálního atomu alfa částicí.

**Slovní komentář:** Alfa záření, které prochází živou tkání, způsobuje tvorbu iontů v těle.

**ZÁBĚR 3: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: struktura DNA, ultrazvukový záznam plodu v těle matky.

**Slovní komentář:** Může narušit strukturu DNA a zvýšit riziko rakoviny či poškodit plod v těle matky.

**ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Naštěstí se lze před alfa zářením poměrně snadno chránit.

## ČÁST 6: PRONIKAVOST ALFA ZÁŘENÍ

### Experimenty:

1. stanovení dosahu alfa záření ve vzduchu;
2. posouzení stínících účinků různých materiálů (papír, bavlněná rouška, tabulka skla, hliníkový plech o tloušťce 0,5 mm).

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na ionizační komoru připojenou k voltmetru a baterii. Zářič je upevněn ve stojanu, přičemž je postupně oddalován od komory.

**Slovní komentář:** Je-li mezi měděným vodičem a alfa zářičem vzájemná vzdálenost 5 cm, naměříme na ionizační komoře napětí kolem 0,5 V. Zářič začneme pomalu oddalovat od ionizační komory. Sledujeme pokles napětí na ionizační komoře, což značí i pokles počtu alfa částic, které ionizovaly vzduch uvnitř komory. Při vzájemné vzdálenosti 12 cm registrujeme napětí 13 mV, což přibližně odpovídá přirozenému radiačnímu pozadí.

**ZÁBĚR 2: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

#### Anička

Z našeho předchozího měření vyplývá, že alfa záření je spolehlivě pohlceno již vrstvou vzduchu o tloušťce několika desítek centimetrů.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na ionizační komoru připojenou k voltmetru a baterii. Mezi zářič a ionizační komoru je vložen papír.

**Slovní komentář:** Alfa zářič a měděný vodič jsme umístili do vzájemné vzdálenosti 7 cm. Pokud mezi zářič a ionizační komoru umístíme list papíru, pozorujeme pokles napětí na hodnotu, která přibližně odpovídá přirozenému radiačnímu pozadí.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na ionizační komoru připojenou k voltmetru a baterii. Mezi zářič a ionizační komoru jsou postupně vkládány různé stínící materiály, a to bavlněná rouška, tabulka skla a hliníkový plech.

**Slovní komentář:** Alfa záření lze spolehlivě odstínit i bavlněnou látkou, tabulkou obyčejného skla nebo hliníkovým plechem o tloušťce asi půl milimetru.

**ZÁBĚR 5: Převzatý obsah.** Úryvek ze seriálu Simpsonovi – Homer manipuluje s plutoniem.

**Slovní komentář:** Před alfa zářením nás proto ochrání již vrstva oblečení, sklo či dostatečný odstup. Alfa zářič představuje významné nebezpečí po jeho vdechnutí či požití, kdy působí nestíněně uvnitř organismu. Posuďte sami, zda se Homer patřičně chrání před alfa zářením z plutonia.

## ČÁST 7: ALFA ZÁŘENÍ V ELEKTRICKÉM A MAGNETICKÉM POLI

**Výklad:** vliv elektrického a magnetického pole na alfa částice.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

#### Anička

Alfa záření nemusí být jen hrozbou.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Animace: ilustrační znázornění alfa částice v urychlovači.

**Slovní komentář:** V současné době umíme alfa záření zkrotit a řídit jeho pohyb.

**ZÁBĚR 3: Převzatý obsah.** Převzaté fotografie: urychlovač částic, nemocnice.

**Slovní komentář:** To je výhodné třeba v urychlovačích částic nebo nukleární medicíně.

**ZÁBĚR 4:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

**Anička**

Vystačí nám k tomu elektrické nebo magnetické pole!

**ZÁBĚR 5:** Vlastní grafika. Znázornění vnitřní struktury alfa částice.

**Slovní komentář:** Jádra hélia mají kladný elektrický náboj.

**ZÁBĚR 6:** Vlastní grafika. Animace: alfa částice v elektrickém poli.

**Slovní komentář:** Proto lze alfa částice v elektrickém poli urychlit, zpomalit nebo vychýlit.

**ZÁBĚR 7:** Vlastní grafika. Animace: alfa částice v magnetickém poli.

**Slovní komentář:** Magnetickým polem je možné alfa částice pouze vychylovat.

## ČÁST 8: SHRNUTÍ

**Shrnutí:** základní poznatky o alfa záření, příležitost pro zápis do sešitu.

**ZÁBĚR 1:** Scéna v domácím prostředí / Scéna v laboratoři školních pokusů / Vlastní grafika / Převzatý obsah: Výběr záběrů z předchozích částí.

**Slovní komentář:** Alfa záření je proudem jader hélia. Má silné ionizační účinky a vychyluje se v elektrickém i v magnetickém poli. Pro odstínění alfa záření postačí silná vrstva vzduchu nebo list papíru. Zdrojem alfa záření je například radon nebo amerícium z detektoru kouře. Pro člověka představuje alfa záření nebezpečí zejména v případě, že je vdechnuto nebo pozřeno.

**ZÁBĚR 2:** Vlastní grafika. Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 5 Radioaktivita: beta záření

### Co je potřeba zajistit:

- detektor radiace a datalogger značky Vernier, notebook, propojovací kabely;
- vzorky: stroncium 90, krypton 85, draselné hnojivo;
- stínící materiály: papír, bavlněná rouška, plastová karta, hliníkové a olovené plechy;
- další pomůcky: podkovovitý magnet, neodymové magnety, svinovací metr, stojany a úchyty.

### ČÁST 1: STRONCIUM A JADERNÁ BOMBA

**Motivace:** stroncium 90 jakožto pracovní vzorek, jeho vznik při výbuchu jaderné bomby a důsledky kontaminace životního prostředí.

**ZÁBĚR 1: Převzatý obsah.** Krátké úryvky z videí a filmů: start americké rakety, záběry z mise Apollo 11, archivní záběry jaderných testů, film Fat Man and Little Boy.

**Slovní komentář:** Studená válka – napětí mezi USA a SSSR, které znamenalo cestu na Měsíc, ale také intenzivní testování jaderných zbraní. Trinity, Fat Man nebo třeba Car-bomba. Vskutku sympatické názvy pro kila uranu, plutonia nebo tritia, která mohla zničit svět.

**ZÁBĚR 2: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

#### Anička

V důsledku stovek jaderných testů provedených v polovině 20. století bylo do zemské atmosféry uvolněno velké množství radioaktivních jader. Mezi ně patřila i jádra stroncia 90.

**ZÁBĚR 3: Převzatý obsah.** Krátké úryvky z videí: příroda, usmívající se dítě.

**Slovní komentář:** Tehdejší vědci a lékaři naměřili vysokou koncentraci radioaktivního stroncia ve vodě i v zemské půdě, ale dokonce i v zubech a kostech dětí narozených v padesátých letech v USA.

**ZÁBĚR 4: Převzatý obsah.** Krátký úryvek z videa: historický záběr J. F. Kennedyho při podpisu Mezinárodní dohody o částečném zákazu jaderných zbraní.

**Slovní komentář:** Jejich výzkum pomohl přesvědčit světové mocnosti k důležitému kroku, kterým bylo podepsání mezinárodní dohody zakazující testování jaderných zbraní ve vzduchu, pod vodou a ve vesmíru.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

#### Anička

Vzorek stroncia 90 máme k dispozici i v naší laboratoři.

**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Výběr ilustračních záběrů natočených v dalších částech, na konci titulek *beta záření*.

**Slovní komentář:** V rámci tohoto videa provedeme se vzorkem několik pokusů a odhalíme vlastnosti radioaktivního záření, které uvolňuje.

## ČÁST 2: TEORETICKÝ ZÁKLAD

**Výklad:** základní poznatky o radioaktivním záření, fyzikální podstata beta mínus a beta plus záření, stroncium 90 a jeho jaderná přeměna.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

### Anička

Radioaktivita je jev, při němž dochází k určité přeměně uvnitř atomového jádra. Buď se mění počet protonů a neutronů nebo dochází ke změně energetického stavu v jádře. Důležité však je, že při každé radioaktivní přeměně je z atomového jádra uvolňováno tzv. radioaktivní záření.

**ZÁBĚR 2: Převzatý obsah.** Fotografie: fyzik při práci s radionuklidy. Grafická úprava.

**Slovní komentář:** Rozlišujeme tři typy radioaktivního záření – alfa, beta a gama.

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Znázornění beta mínus a beta plus záření.

**Slovní komentář:** Beta záření je dvojího typu – beta mínus a beta plus. Záření beta mínus je tvořeno elektrony. Záření beta plus je tvořeno pozitrony, což jsou antičástice elektronů s kladným nábojem.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Obecná rovnice popisující beta mínus přeměnu atomového jádra.

**Slovní komentář:** Jádra, která jsou zdrojem beta mínus záření, nemění při přeměně své nukleonové číslo. Jejich protonové číslo se však zvětšuje o jedna. Každé jádro přitom uvolňuje jeden elektron a jedno antineutrino.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

### Anička

Pozitrony, antineutrino, co přijde dál? Možná je tak trochu šok, ale protony, elektrony a neutrony zdaleka nejsou jedinými částicemi, které známe.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Stroncium 90, jeho značka a jaderná přeměna.

**Slovní komentář:** Stroncium 90 je typickým příkladem beta zářiče. S poločasem přeměny 29 let se jádro stroncia přeměňuje na jádro yttria 90. Přitom uvolňuje jeden elektron a jedno antineutrino.

**ZÁBĚR 7: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, vybízí diváky k úvaze.

### Anička

Yttrium 90 však stále ještě není stabilním jádrem a podléhá další beta mínus přeměně. Zkuste odvodit, co je produktem přeměny tohoto jádra.

## ČÁST 3: PRONIKAVOST BETA ZÁŘENÍ

### Experimenty:

1. detekce přirozeného radiačního pozadí;
2. detekce beta záření v těsné blízkosti zářiče a při jeho oddalování od detektoru;
3. odstínění beta záření papírem, rouškou a plastovou kartou;
4. odstínění beta záření hliníkovým a olověným plechem.

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na detektor radiace.

**Slovní komentář:** Následující měření provedeme pomocí detektoru radiace značky Vernier, který je citlivý na všechny tři typy radioaktivního záření.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáří. Na stoje je PC, k němu je přes datalogger připojený detektor. Anička na jednotlivé komponenty ukazuje.

**Anička**

Detektor připojíme přes datalogger k počítači, kde budeme sledovat závislost počtu detekovaných částic na čase.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Provádíme detekci přirozeného radiačního pozadí. Dění na obrazovce PC nahráváme softwarem, kamerou natáčíme měřící soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr. Parametry: sběr dat 60 s, frekvence 1 vzorek/s, bodový graf se spojnicí.

**Slovní komentář:** Nejprve provedeme měření bez přítomnosti beta zářiče. Sledujeme, že počet detekovaných částic kolísá kolem jedné za sekundu.

**ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí.** Záběr na stůl, kde jsou potraviny bohaté na draslík.

**Slovní komentář:** Na tom není nic neobvyklého. Půda, potraviny, ale i lidé jsou slabě radioaktivní. Říkáme, že registrujeme přirozené radiační pozadí.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Provádíme detekci beta záření ze vzorku stroncia 90 při jeho oddalování od detektoru. Podél trajektorie je svinovací metr, přičemž začínáme od nejtěsnějšího přiblížení až do oddálení o 30 cm. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou měřící soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr. Parametry: sběr dat 60 s, frekvence 1 vzorek/s, bodový graf se spojnicí; neměnné parametry i pro další měření.

**Slovní komentář:** Do blízkosti detektoru umístíme vzorek stroncia 90. Nárůst počtu detekovaných částic je jasně patrný, za sekundu detekujeme asi 1 000 částic. Přírůstek tvoří elektrony, které vzorek uvolňuje. Dále začneme vzorek pomalu oddalovat od detektoru. Počet detekovaných částic za sekundu se zmenšuje. Po oddálení o 30 cm se dostáváme na hodnotu přirozeného radiačního pozadí.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží list papíru.

**Anička**

Alfa záření jsme dokázali spolehlivě odstínit již listem papíru. Co myslíte, postačí nám i pro odstínění proudu elektronů?

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a zářič uchytíme do stojanu a zahájíme měření. Mezi detektor a zářič vložíme list papíru. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou měřící soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr.

**Slovní komentář:** Vzorek stroncia a detektor jsou ve vzájemné vzdálenosti 5 cm. V průměru detekujeme asi 100 částic za sekundu. Po vložení papíru mezi zářič a detektor však nepozorujeme v grafu žádný dramatický pokles.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, zahazuje papír.

**Anička**

Jistě budete souhlasit, že pouhý papír pro odstínění beta záření tvořeného elektrony nestačí.

**ZÁBĚR 9: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a zářič uchytíme do stojanu a zahájíme měření. Mezi detektor a zářič vložíme bavlněnou roušku. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou měřící soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr.

**Slovní komentář:** Pokud mezi detektor a beta zářič vložíme bavlněnou roušku, počet detekovaných částic klesne téměř na polovinu.

**ZÁBĚR 10: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a zářič uchytíme do stojanu a zahájíme měření. Mezi detektor a zářič vložíme plastovou kartu. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou měřící soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr.

**Slovní komentář:** Podobného efektu docílíme i pomocí plastové karty.

**ZÁBĚR 11: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a zářič uchyťme do stojanu a zahájíme měření. Mezi detektor a zářič vložíme hliníkový plech, tloušťka 0,5 mm. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou měřicí soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr.

**Slovní komentář:** Hliníkovým plechem o tloušťce asi 0,5 mm odstíníme 70 % částic.

**ZÁBĚR 12: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a zářič uchyťme do stojanu a zahájíme měření. Mezi detektor a zářič vložíme dva hliníkové plechy, tloušťka 1 mm. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou měřicí soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr.

**Slovní komentář:** Dvěma hliníkovými plechy o celkové tloušťce 1 mm odstíníme asi 95 % částic.

**ZÁBĚR 13: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Beta záření tvořené elektrony tedy spolehlivě odstíníme již vrstvou hliníku.

**ZÁBĚR 14: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a zářič uchyťme do stojanů a zahájíme měření. Mezi detektor a zářič vložíme olověný plech, tloušťka 0,5 mm. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou měřicí soustavu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr.

**Slovní komentář:** K odstínění elektronů nejsou vhodné materiály s velkým protonovým číslem jako je olovo nebo wolfram. Tyto materiály sice zamezí průchodu elektronů, nicméně jejich rychlý náraz na kovovou desku vyvolá vznik rentgenového záření.

**ZÁBĚR 15: Vlastní grafika.** Animace: rentgenka a její princip.

**Slovní komentář:** Popsaného jevu se však účelně využívá v tzv. rentgenkách

## ČÁST 4: BETA ZÁŘENÍ V MAGNETICKÉM POLI

**Experiment:** zkoumání vlivu magnetického pole na beta mínus záření.

**ZÁBĚR 1: Vlastní grafika.** Animace: pohyb elektronu v homogenním magnetickém poli.

**Slovní komentář:** Elektrony se v magnetickém poli vychylují.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na měřicí sestavu. Detektor a vzorek kryptonu 85 jsou uchyceny ve stojanu. Anička mezi ně vkládá podkovovitý magnet.

**Slovní komentář:** O tom se přesvědčíme i experimentálně.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je PC s připojeným detektorem, vzorek kryptonu 85 a podkovovitý magnet zesílený osmi neodymovými magnety. Anička ukazuje na detektor a zářič.

**Anička**

Budeme opět potřebovat detektor radiace značky Vernier. Jako zářič poslouží vzorek kryptonu 85, ...

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Rovnice popisující jadernou přeměnu kryptonu 85.

**Slovní komentář:** ... který podléhá beta mínus přeměně.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je PC s připojeným detektorem, vzorek kryptonu 85 a podkovovitý magnet zesílený osmi neodymovými magnety. Anička ukazuje na podkovovitý magnet.

**Anička**

Pro vytvoření přibližně homogenního magnetického pole využijeme podkovovitý magnet zesílený několika menšími neodymovými magnety.



**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a vzorek kryptonu 85 jsou uchyceny ve stojanech. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou soustavu detektoru a zářiče. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr. Parametry: sběr dat 60 s, frekvence 1 vzorek/s, bodový graf se spojnici.

**Slovní komentář:** Nejprve jsme provedli měření bez magnetu. Během jedné minuty jsme detekovali 173 částic, tedy asi tři částice za sekundu.

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektor a vzorek kryptonu 85 jsou uchyceny ve stojanech. Před zahájením tohoto měření ukládáme předchozí. Mezi zářič a detektor vložíme podkovovitý magnet. Softwarem nahráváme dění na obrazovce PC, kamerou soustavu detektoru, zářiče a magnetu. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr. Parametry: sběr dat 60 s, frekvence 1 vzorek/s, bodový graf se spojnici.

**Slovní komentář:** Poté jsme mezi vzorek a detektor vložili magnet a zahájili nové měření. Tomu odpovídá modrý graf. Během minuty jsme detekovali 60 částic, průměrně jednu za sekundu.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Výrazně nižší počet detekovaných částic v přítomnosti homogenního magnetického pole není dílem náhody.

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Animace: pohyb elektronu v homogenním magnetickém poli.

**Slovní komentář:** Potvrzuje to fakt, že část elektronů se vychýlí a mine detektor.

**ZÁBĚR 10: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: bouřka a vznik blesku, dívka s dlouhými vlasy při pokusech s Van de Graaffovým generátorem. Uvedená otázka je směřována na diváky.

**Slovní komentář:** Jaké pole se nachází v okolí nabitých těles?

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Animace: pohyb elektronu v elektrickém poli. Otázka je směřována na diváky.

**Slovní komentář:** Může toto pole ovlivnit rychlost nebo směr elektronů?

## ČÁST 5: PŘIROZENÝ VÝSKYT, APLIKACE

**Experiment:** detekce radioaktivního záření z draselného hnojiva.

**Výklad:** pozitronová emisní tomografie (PET) a její fyzikální princip.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na stole jsou potraviny bohaté na draslík.

**Anička**

Beta záření je přirozenou součástí našeho života. Slabým zdrojem beta záření jsou například potraviny bohaté na draslík. Kromě stabilních izotopů draslíku totiž obsahují i radioaktivní draslík 40, který je zdrojem beta záření tvořeného elektrony.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na stůl, kde je balení draselného hnojiva a miska s nasypáním hnojivem.

**Slovní komentář:** Obzvláště bohaté na draslík je draselné hnojivo, ...

**ZÁBĚR 3: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: mísa se zeleninou.

**Slovní komentář:** ... které se používá k podpoře růstu některých zemědělských plodin.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detektorem nejprve proměříme přirozené radiační pozadí. Získaný graf uložíme a zahájíme stejný typ měření, tentokrát ale v těsné blízkosti hnojiva. Spustíme software pro nahrávání obrazovky PC, kamerou nahráváme soustavu detektoru a hnojiva. Spojením a zrychlením vznikne finální záběr. Parametry: frekvence 2 vzorky/min, doba měření 5 min.

**Slovní komentář:** V případě hnojiva je radioaktivita měřitelná i pomocí našeho detektoru.

**ZÁBĚR 5: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: PET vyšetření, na konci titulek *pozitronová emisní tomografie*.

**Slovní komentář:** Uměle vyrobené beta zářiče se používají v nukleární medicíně, když se provádí PET vyšetření. PET je zkratka pro pozitronovou emisní tomografii.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Před vyšetřením je pacientovi do krevního oběhu aplikována fluorodeoxyglukóza, což je jednoduše řečeno vylepšená molekula glukózy, v níž je navázán radioaktivní fluor 18.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Značka pro fluor 18 a rovnice popisující jeho jadernou přeměnu.

**Slovní komentář:** Fluor 18 je beta plus zářičem s poločasem přeměny asi 110 minut, který se přeměňuje na stabilní kyslík 18 za současné emise pozitronu a neutrina.

**ZÁBĚR 8: Vlastní grafika.** Ilustrační znázornění elektronu a pozitronu jakožto částice a antičástice.

**Slovní komentář:** Kladné pozitrony se v těle pacienta setkávají se záporně nabitými elektrony.

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Animace: srážka elektronu a pozitronu, vznik dvou gama fotonů.

**Slovní komentář:** Při srážce elektronu a pozitronu nastává reakce zvaná anihilace. Veškerá hmota elektronu a pozitronu se přemění na energii, kterou nesou dva fotony gama záření postupující v navzájem opačných směrech.

**ZÁBĚR 10: Vlastní grafika.** Animace: anihilace v těle pacienta a detekce gama fotonů.

**Slovní komentář:** Vzniklé gama fotony jsou registrovány detektory, které obklopují tělo pacienta.

**ZÁBĚR 11: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Nádorové buňky se rychle dělí, takže potřebují zvýšený přísun glukózy. V důsledku toho pojmu i větší množství radioaktivního fluoru a vyzáří více gama fotonů.

**ZÁBĚR 12: Převzatý obsah.** Úryvek z videa:

PET vyšetření.

**Slovní komentář:** Lékař pak nahlédnutím do snímku z PET vyšetření může identifikovat zářivé stopy jako potenciální ložiska nádorových buněk.

## ČÁST 6: SHRUTÍ

**Shrnutí:** základních poznatky o beta záření, příležitost pro zápis do sešitu.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí / Scéna v laboratoři školních pokusů / Vlastní grafika / Převzatý obsah.** Výběr záběrů z předchozích částí.

**Slovní komentář:** Beta záření je tvořeno elektrony nebo pozitrony. Má ionizační účinky a vychyluje se v elektrickém i v magnetickém poli. Pro odstínění proudu elektronů postačí tenká vrstva hliníku. Zdrojem beta záření je například stroncium 90 nebo fluor 18.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 6 Radioaktivita: zdroje gama záření

### Co je potřeba zajistit:

- částicová kamera MX-10 s příslušenstvím;
- vzorky: americium 241, kobalt 60, smolinec;
- stojany a úchyty.

### ČÁST 1: GAMA ZÁŘENÍ A JEHO VZNIK

**Výklad:** základní poznatky o radioaktivním záření, podstata gama záření a jeho zdroje.

#### ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

##### Anička

V předchozích videích jsme se zabývali dvěma typy radioaktivního záření – alfa zářením a beta zářením. Co mají tato záření společného?

#### ZÁBĚR 2: Vlastní grafika. Animace: znázornění alfa zářiče, beta minus zářiče a beta plus zářiče.

**Slovní komentář:** Oba typy radioaktivního záření jsou tvořeny hmotnými částicemi – jádry hélia, elektrony nebo pozitrony.

#### ZÁBĚR 3: Vlastní grafika. Animace: alfa rozpad uranu 235, beta minus rozpad tritia.

**Slovní komentář:** Zdrojem alfa a beta záření jsou nestabilní atomová jádra, ve kterých dochází k vnitřní přeměně. Uvnitř těchto jader se mění počet protonů nebo neutronů.

#### ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru

##### Anička

Po takové události, jako je vnitřní přeměna atomového jádra, je vzniklé jádro jen málokdy v klidu. Obvykle má ještě nějakou přebytečnou energii, které se potřebuje zbavit. Říkáme, že se nachází v excitovaném stavu.

#### ZÁBĚR 5: Vlastní grafika. Animace: znázornění atomu v excitovaném stavu, přeskok elektronu do nižší energetické hladiny a vyzáření fotonu.

**Slovní komentář:** Podobně jako excitovaný elektron, který je ve vyšší energetické hladině. Aby přešel do základního stavu, musí vyzářit foton.

#### ZÁBĚR 6: Vlastní grafika. Animace: znázornění atomového jádra v excitovaném stavu, vyzáření fotonu a přechod do základního stavu.

**Slovní komentář:** Excitované atomové jádro proto stejně jako elektron obvykle rychle přejde z excitovaného stavu do stavu o nižší energii, přičemž vyzáří foton.

#### ZÁBĚR 7: Vlastní grafika. Animace: znázornění gama fotonu, na konci titulek *gama záření*.

**Slovní komentář:** Není to však ledajaký foton, je to foton gama záření.

#### ZÁBĚR 8: Převzatý obsah. Obrázek: elektromagnetické spektrum.

**Slovní komentář:** V elektromagnetickém spektru se nachází na jeho krátkovlnném konci.

#### ZÁBĚR 9: Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

##### Anička

Za zmínku stojí fakt, že excitovaná atomová jádra nejsou jediným zdrojem gama záření. Existují i další, poněkud exotičtější zdroje.

**ZÁBĚR 10: Vlastní grafika.** Animace: srážka elektronu a pozitronu, vznik dvou gama fotonů.

**Slovní komentář:** Gama záření může vznikat i při srážce částice a její antičástice. Když se srazí elektron a pozitron, dojde k jejich zániku. V místě srážky však vzniknou dva gama fotony postupující v navzájem opačných směrech.

**ZÁBĚR 11: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: noční obloha, vesmír.

**Slovní komentář:** Astronomové dokonce registrují silné záblesky gama záření, které k nám čas od času přicházejí z dalekého vesmíru. Zdrojem záblesků mohou být supernovy či neutronové hvězdy.

**ZÁBĚR 12: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdálí. Na stole je připraven počítač a částicová kamera.

**Slovní komentář:** Vraťme se ale zpět na zem.

**ZÁBĚR 13: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na dostupné horniny (smolinec, radiobaryt aj.).

**Slovní komentář:** V přírodě prakticky neexistuje materiál, který by byl pouze zdrojem gama záření.

**ZÁBĚR 14: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Stejně tak převážná část zářičů vyrobených uměle v jaderných reaktorech vyzařuje kromě záření gama i jiný typ radioaktivního záření. Záhy se o tom přesvědčíme!

## ČÁST 2: PŘIROZENÉ RADIAČNÍ POZADÍ

**Experiment:** detekce přirozeného radiačního pozadí s využitím digitální částicové kamery.

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdálí. Na stole je počítač připojený k částicové kameře. Anička popisuje vybavení.

**Anička**

Všechna následující měření budeme provádět pomocí částicové kamery připojené k počítači.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na částicovou kameru.

**Slovní komentář:** Hlavní částí kamery je malý křemíkový senzor, který je citlivý na všechny tři typy radioaktivního záření.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Výběr ilustračních záběrů natočených níže při měření.

**Slovní komentář:** Částice, které dopadnou na senzor, vytvoří v kameře proudový impulz. To nám umožní znázornit stopy těchto částic, spočítat je a také rozhodnout, o jaký typ částic se jedná.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdálí. Na stole je počítač připojený k částicové kameře. Anička je v záběru.

**Anička**

Nejprve bychom si měli udělat představu o radioaktivitě prostředí, které nás obklopuje. Provedeme proto několik měření bez přítomnosti konkrétního zářiče, každé po dobu 30 sekund.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detekce přirozeného radiačního pozadí s využitím částicové kamery. Parametry: Exp. count 10, Exp. time 30 s, NO integral mode. Snímky a data ukládáme, zpracováním vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Na snímcích z částicové kamery vidíme jen několik málo stop. Obvykle odpovídají částicím beta nebo gama.

## ČÁST 3: GAMA ZÁŘIČE

### Experimenty:

1. detekce záření ze vzorku americia 241;
2. detekce záření ze vzorku kobaltu 60;
3. detekce záření ze vzorku smolince.

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole jsou tři zářiče a dále počítač připojený k částicové kameře. Anička na zářiče ukazuje a jmenuje je.

#### Anička

Zajímavější snímky dostaneme, pokud před senzor kamery umístíme nějaký intenzivnější zdroj záření. Postupně se podíváme na tři zdroje – na americium 241, na kobalt 60 a na smolince.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Využití záběrů z videa *Radioaktivita: alfa záření*, na konci titulek *americium 241*.

**Slovní komentář:** Americium 241 si možná vybavujete z videa o alfa záření. Tento radionuklid se běžně využívá pro výrobu ionizačních detektorů kouře.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je počítač připojený k částicové kameře. V těsné blízkosti kamery je vzorek americia 241. Anička je v záběru.

#### Anička

Jaké záření americium vysílá? To zjistíme pomocí digitální částicové kamery! Americium umístíme do těsné blízkosti senzoru a spustíme měření po dobu 30 sekund.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detekce záření ze vzorku americia 241 s využitím částicové kamery. Parametry: Exp. count 30, Exp. time 1 s, YES integral mode. Nahráváme obrazovku počítače, a to kamerou i softwarem, obrázky a data ukládáme. Zpracováním multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Průběh měření zachycuje animace. Velké kulaté stopy odpovídají alfa částicím. Mezi nimi jsou však i velmi malé, většinou jednopixelové stopy po gama fotonech.

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Hladinové schéma jaderné přeměny americia 241.

**Slovní komentář:** Americium 241 se za emise alfa částice přeměňuje na jádro neptunia 237. To je ale v excitovaném stavu. Při přechodu do základního stavu uvolňuje gama foton o energii 60 keV.

**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na vzorek kobaltu 60 v blízkosti částicové kamery, dále titulek *kobalt 60*.

**Slovní komentář:** Kobalt 60 je dalším příkladem umělého radionuklidu. Jeho vzorek umístíme do těsné blízkosti senzoru a provedeme půlminutové měření.

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detekce záření ze vzorku kobaltu 60 s využitím částicové kamery. Parametry: Exp. count 30, Exp. time 1 s, YES integral mode. Nahráváme obrazovku PC, a to kamerou i softwarem, obrázky a data ukládáme. Zpracováním multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Protáhlé zakřivené stopy, připomínající červíky, odpovídají beta částicím. Malé, většinou jednopixelové stopy, jak už víme, byly způsobeny gama fotony.

**ZÁBĚR 8: Vlastní grafika.** Hladinové schéma jaderné přeměny kobaltu 60.

**Slovní komentář:** Kobalt 60 podléhá beta minus přeměně na jádro niklu. To je však v silně excitovaném stavu. Postupně proto uvolňuje dva gama fotony, čímž přechází do základního stavu.

**ZÁBĚR 9:** **Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na vzorek smolince v blízkosti částicové kamery, na konci titulek *smolinec*.

**Slovní komentář:** Přesvědčme se o tom, že zdrojem gama záření je i smolinec.

**ZÁBĚR 10:** **Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detekce záření ze vzorku smolince s využitím částicové kamery. Parametry: Exp. count 30, Exp. time 1 s, YES integral mode. Nahráváme obrazovku PC, a to kamerou i softwarem, obrázky a data ukládáme. Zpracováním multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Vidíme, že gama záření opět doprovází alfa a beta přeměnu ve smolinci.

#### ČÁST 4: MOTIVACE

**Motivace:** divák je motivován ke zhlédnutí videa *Ochrana před gama zářením*, jež tematicky navazuje na popsané video a využívá stejného vybavení.

**ZÁBĚR 1:** **Scéna v domácím prostředí / Scéna v laboratoři školních pokusů / Vlastní grafika / Převzatý obsah.** Využití záběrů z videa *Ochrana před gama zářením*.

**Slovní komentář:** Zajímá vás, proč je gama záření nebezpečné? Jak se před ním můžete chránit? Nebo k čemu ho používají třeba lékaři? Podívejte se na další video!

**ZÁBĚR 2:** **Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 7 Ochrana před gama zářením

### Co je potřeba zajistit:

- částicová kamera MX-10 s příslušenstvím;
- vzorek americia 241 (jakožto gama zářič);
- stínící materiály: papír, bavlněná rouška, plastová karta, sada kovových plechů;
- svinovací metr, pravítko, polystyrenový kvádrík se skrytým kovovým předmětem.

### ČÁST 1: VLASTNOSTI GAMA ZÁŘENÍ

**Výklad:** gama záření a jeho ionizační účinky, gama záření v elektrickém a v magnetickém poli, základní principy ochrany před gama zářením.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Gama záření má ionizující účinky.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Animace: fotoelektrický jev způsobený gama fotonem.

**Slovní komentář:** Ve srovnání se zářením alfa nebo beta jsou ale slabší.

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

V důsledku toho však dovede lépe pronikat nejrůznějšími materiály.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Animace: gama fotony, výstražný symbol, titulek *ochrana před gama zářením*.

**Slovní komentář:** A právě v tom spočívá jeho nebezpečí.

**ZÁBĚR 5: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: žárovka.

**Slovní komentář:** Zdroj gama záření nemůžeme prostě jen vypnout, když se nám to zrovna hodí.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Animace: průlet gama fotonu elektrickým a magnetickým polem.

**Slovní komentář:** Dokonce ani nemůžeme změnit jeho směr pomocí elektrického nebo magnetického pole, protože fotony jsou elektricky neutrální.

**ZÁBĚR 7: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Před gama zářením se lze chránit třemi základními způsoby.

**ZÁBĚR 8: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Výběr záběrů pořízených v dalších částech.

**Slovní komentář:** Vzdálením od zdroje, použitím vhodného stínění nebo omezením času, po němž jsme vystavováni ozařování. Všechny tři způsoby si vysvětlíme v rámci následujících experimentů.

**ZÁBĚR 9: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na vzorek americia 241.

**Slovní komentář:** Jako zdroj gama záření budeme používat vzorek americia 241 ...

**ZÁBĚR 10: Vlastní grafika.** Animace: průchod alfa částic a gama fotonů skrz plastovou vrstvu.

**Slovní komentář:** ... překrytý vrstvou plastu, přes kterou sice projdou gama fotony, ale nikoli už alfa částice

## ČÁST 2: PRINCIP VZDÁLENOSTI

**Experiment:** detekce gama záření při různých vzdálenostech zářič-senzor; volba vzdáleností 3 cm – 12 cm, posouvání vždy o 1 cm.

**ZÁBĚR 1: Vlastní grafika.** Titulek *princip vzdálenosti*, bez komentáře.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdálí. Na stole je PC, částicová kamera a zářič. Zářič je zasazen do posuvné lavice před částicovou kamerou. Anička je v záběru.

### Anička

Zdroj gama záření budeme postupně umísťovat do různých vzdáleností od senzoru. Pro každou vzdálenost pořídíme snímek a zaznamenáme si počet detekovaných částic.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na PC, částicovou kameru a vzorek americia.

**Slovní komentář:** V každé vzdálenosti detekujeme gama částice jednu minutu.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** S využitím částicové kamery provádíme detekci záření ze vzorku americia 241. Parametry: Exp. count 60, Exp. time 1 s, YES integral mode. Celkem 10 měření, vzdálenosti měníme po jednom centimetru v rozmezí 3 cm – 12 cm. Ukládáme obrázky i data, pro každou vzdálenost pořídíme fotografii měřící sestavy. Zpracováním získaných multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Následující animace znázorňuje, jak se měnil snímek zachycený částicovou kamerou s oddalováním vzorku od kamery. Pokles počtu detekovaných gama částic je jasně patrný.

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Graf závislosti počtu detekovaných gama částic na vzdálenosti zářič-senzor. Vedle něj je tabulka s odpovídajícími daty. Data viz záběr 4.

**Slovní komentář:** Počty zachycených gama částic jsme vynesli do grafu, který znázorňuje závislost počtu detekovaných gama částic na vzájemné vzdálenosti detektoru a zářiče.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Viz předchozí záběr, navíc je graf proložen mocninnou funkcí přibližně typu  $y = k \frac{1}{x^2}$ ;  $k \in \mathbb{R}$ . Zapišeme odpovídající funkční předpis.

**Slovní komentář:** Body lze dobře proložit částí hyperboly s uvedeným funkčním předpisem.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Animace: gama fotony dopadající na senzor kamery, dále rozepsání předchozího funkčního předpisu s popisem jednotlivých částí.

**Slovní komentář:** Přibližně tedy platí, že počet detekovaných gama částic je nepřímo úměrný druhé mocnině vzdálenosti od zářiče.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

### Anička

Obecně platí, že intenzita elektromagnetického záření ve vakuu ...

**ZÁBĚR 9: Převzatý obsah.** Obrázek: pokles intenzity se čtvercem vzdálenosti.

**Slovní komentář:** ... klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje.

**ZÁBĚR 10: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: žárovka, radioteleskop.

**Slovní komentář:** A je v podstatě jedno, jestli to je intenzita světla se žárovky, rádiových vln ...

**ZÁBĚR 11: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Využití získaných snímků, viz záběr 4.

**Slovní komentář:** ... nebo počet gama fotonů zachycených detektorem. Pokud tedy gama zářič přesuneme ze vzdálenosti 6 cm do vzdálenosti 12 cm, musí počet zachycených gama fotonů poklesnout přibližně čtyřikrát.



## ČÁST 3: PRINCIP STÍNĚNÍ

### Experimenty:

1. odstínění gama záření papírem, rouškou a plastovou kartou;
2. odstínění gama záření kovovými plechy (hliník, ocel, měď, olovo).

**ZÁBĚR 1: Vlastní grafika.** Titulek *princip stínění*.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je PC, částicová kamera a zářič. Zářič je umístěn v posuvné lavici před částicovou kamerou. Na stole jsou vyskládány materiály určené ke stínění. Anička je v záběru, ukazuje na materiály.

#### Anička

Druhý způsob ochrany před gama zářením je využití vhodného stínícího materiálu. Jaký materiál však máme použít?

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Fotografie stínících materiálů, grafická úprava.

**Slovní komentář:** K dispozici máme papír, bavlněnou roušku, plastovou kartu a několik kovových plechů – hliníkový, ocelový, měděný a olověný, každý o tloušťce asi 0,5 mm.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na zářič a částicovou kameru. Mezi ně jsou ilustračně vkládány některé stínící materiály.

**Slovní komentář:** Mezi detektor a zářič budeme postupně vkládat vyjmenované materiály. Pro každý materiál provedeme měření po dobu šedesáti sekund.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** S využitím částicové kamery provádíme detekci záření ze vzorku americia 241, přičemž mezi vzorek a kameru postupně vkládáme stínící materiály, a to v pořadí bez stínění, papír, bavlněná rouška, plastová karta, hliníkový plech 0,5 mm, hliníkový plech 1 mm, ocelový plech 0,5 mm, měděný plech 0,5 mm, olověný plech 0,5 mm. Ukládáme snímky i data, natáčíme průběh měření. Zpracováním multimédií vznikne záběr. Parametry: Exp. count 60, Exp. time 1 s, YES integral mode.

**Slovní komentář:** Prakticky nulovou ochranu před gama zářením vám poskytne papír nebo bavlněná rouška. Plastová karta odstíní asi 57 % gama záření. Pokud ale k tomu účelu použijete platební kartu, možná s ní už příště nenakoupíte. Půlmilimetrová vrstva hliníku odstíní 70 % gama částic. Pokud její tloušťku zdvojnásobíme, tak až 80 %. Ocelový plech o tloušťce 0,5 mm odstíní až 95 % gama částic. Měděný plech pak o procento víc. A zbývá olovo. Pokud se obáváte jaderné války, můžete si z něj postavit třeba protiatomový kryt – půlmilimetrová vrstva odstíní prakticky všechno gama záření.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Zápis chemických značek použitých kovů a jejich protonových čísel.

**Slovní komentář:** Takže hliník, ocel, měď, olovo.

**ZÁBĚR 7: Scéna ve školní laboratoři.** Využití snímků ze záběru 5. Uvedená otázka je směřována na diváky.

**Slovní komentář:** Dokázali byste vysvětlit, jak závisí schopnost látky odstínit gama záření na jejím protonovém čísle?

## ČÁST 4: PRINCIP ČASU

**Experimenty:** detekce gama záření ze vzorku americia 241 pro různé detekční časy.

**ZÁBĚR 1: Grafika.** Titulek *princip času*.

**ZÁBĚR 2:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Využití záběrů z částí 2 a 3.

**Slovní komentář:** V některých případech není možné se od zdroje gama záření vzdálit nebo používat stínění, které by spolehlivě odstínilo všechno gama záření.

**ZÁBĚR 3:** Převzatý obsah. Krátký úryvek ze seriálu Chernobyl.

**Slovní komentář:** Příliš dlouhá doba ozařování ale může člověku způsobit vážné zdravotní potíže. Proto je nutno omezit dobu ozařování na minimum.

**ZÁBĚR 4:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Detailní záběr na senzor částicové kamery.

**Slovní komentář:** Představte si, že je senzor kamery částí živé tkáně, kterou ozařujeme gama zářením.

**ZÁBĚR 5:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je PC, částicová kamera a zářič. Zářič je umístěn v posuvné lavici před částicovou kamerou. Anička je v záběru.

**Anička**

Kolik gama částic na něj dopadne za sekundu, za deset sekund, minutu nebo i pět minut?

**ZÁBĚR 6:** Scéna v laboratoři školních pokusů. S využitím částicové kamery provádíme detekci záření ze vzorku americia 241, přičemž měníme detekční časy (1 s, 5 s, 10 s, 30 s, 1 min, 2 min, 5 min). Parametry: Exp. count 1, Exp. time variabilní, NO integral mode. Ukládáme obrázky i data, příležitostně natáčíme PC v průběhu měření. Zpracováním získaných multimedií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Nastavili jsme měření pro různé detekční časy. Po celou dobu byl gama zářič a senzor částicové kamery ve vzájemné vzdálenosti 2 cm. Za sekundu senzor zachytil 394 gama částic, za pět sekund asi pětkrát víc a tak dále... Za třicet sekund skoro 12 tisíc, za minutu 23,5 tisíc a za pět minut přes 100 tisíc... A to náš zářič spadá do kategorie drobných zdrojů ionizujícího záření.

## ČÁST 5: APLIKACE

**Výklad:** aplikace gama záření (Leksellův gama nůž, sterilizace, radiografie atd.).

**Experiment:** radiografický snímek polystyrenového kvádrů se skrytým kovovým předmětem.

**ZÁBĚR 1:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

**Anička**

Gama záření má široké spektrum využití, například v lékařství, pěstitelství i v průmyslu. Uvedeme si několik konkrétních příkladů.

**ZÁBĚR 2:** Převzatý obsah. Úryvky z videí: nemocnice, operace.

**Slovní komentář:** Gama záření je účinným prostředkem k hubení bakterií. Využívá se ke sterilizaci lékařských nástrojů jako jsou injekční stříkačky, obvazy nebo protězy.

**ZÁBĚR 3:** Scéna v domácím prostředí. Záběr zachycující plodiny ve skleníku.

**Slovní komentář:** Gama záření hubí plísně, hmyz i mikroby. Proto se jim ozařují některé zemědělské plodiny.

**ZÁBĚR 4:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru, na stole má připravený oběd.

**Anička**

Ozařené potraviny nejsou samy radioaktivní, ani jejich konzumenti nejsou zářením ohroženi.

**ZÁBĚR 5:** Vlastní grafika. Animace: gama fotony, výstražný symbol.

**Slovní komentář:** V České republice je povoleno ošetřovat gama zářením ...

**ZÁBĚR 6: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: brambory, koření.

**Slovní komentář:** ... například brambory nebo koření.

**ZÁBĚR 7: Převzatý obsah.** PET snímek mozku se zřetelným nálezem nádoru.

**Slovní komentář:** Léčba rakoviny je pořád dost problematická.

**ZÁBĚR 8: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: Leksellův gama nůž.

**Slovní komentář:** Nádory na mozku je často příliš riskantní odstraňovat chirurgicky. Jak nám může pomoci gama záření?

**ZÁBĚR 9: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží v ruce nafukovací balónek a laser, přičemž demonstruje ozařování nádoru.

**Anička**

Kdybychom nádor ozářili jediným zdrojem gama záření o intenzitě dost velké na to, aby zničila nádor, spolehlivě bychom tím poškodili i jiná mozková centra.

**ZÁBĚR 10: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: Leksellův gama nůž.

**Slovní komentář:** Proto lékaři používají mnohem sofistikovanější nástroj zvaný Leksellův gama nůž.

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Jednoduché schéma Leksellova gama nože.

**Slovní komentář:** Nad hlavou pacienta je těžká kovová helma, která obsahuje kolem dvou stovek kobaltových zářičů. Každý zářič vysílá gama záření v přesně definovaném směru. Paprsky se protínají v jediném místě, v němž je lokalizován nádor.

**ZÁBĚR 12: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

To, co naše oči nevidí, může odhalit gama záření.

**ZÁBĚR 13: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na polystyrenový kvádřík.

**Slovní komentář:** Co je skryto v polystyrenovém kvádříku?

**ZÁBĚR 14: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na PC, zářič a částicovou kameru, ke které je pomocí gumičky upevněn polystyrenový kvádřík.

**Slovní komentář:** Zkusme ho umístit do blízkosti senzoru a z druhé strany prozářit gama zářením.

**ZÁBĚR 15: Scéna v laboratoři školních pokusů.** V těsné blízkosti senzoru částicové kamery je upevněn polystyrenový kvádřík, přičemž je z druhé strany prozařován gama zářičem. Parametry: Exp. count 120, Exp. time 1 s, YES integral mode. Nahráváme obrazovku PC, a to kamerou i softwarem, ukládáme obrázky i data.

**Slovní komentář:** Během dvou minut se nám postupně rýsoval tento snímek. Vidíme na něm tmavou oblast, kterou většina gama fotonů vůbec neprojde. Odpovídá stínu skrytého předmětu.

**ZÁBĚR 16: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Fotografie kovového háčku, jež byl ukrytý v pol. kvádříku.

**Slovní komentář:** V polystyrenu byl ukrytý kovový háček.

**ZÁBĚR 17: Převzatý obsah.** Fotografie: lékař a rentgenový snímek.

**Slovní komentář:** Možná vám předchozí snímek připomněl rentgenové vyšetření.

**ZÁBĚR 18: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Při tomto vyšetření se samozřejmě nepoužívá gama záření, ale rentgenové záření, které má obvykle nižší energii, takže nezpůsobuje tak velkou radiační zátěž pro pacienta.

**ZÁBĚR 19: Vlastní grafika.** Animace: rentgenka, interakce rentgenového záření s látkou.

**Slovní komentář:** Způsob, jakým interaguje rentgenové záření a gama záření s látkou, je však stejný.

**ZÁBĚR 20: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Využití již vytvořeného obsahu, viz záběr 15.

**Slovní komentář:** Materiály s vyšším protonovým číslem je pohlcují více.

**ZÁBĚR 21: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: rentgenové vyšetření.

**Slovní komentář:** V důsledku toho je rentgenové záření více pohlcováno v kostech než v okolních tkáních a je vhodné např. pro vyšetřování zlomenin.

## ČÁST 6: SHRNUÍ

**Shrnutí:** základní poznatky o gama záření, příležitost pro zápis do sešitu.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí / Scéna v laboratoři školních pokusů / Vlastní grafika / Převzatý obsah.** Výběr záběrů z předchozích částí, popř. videa *Radioaktivita: zdroje gama záření*.

**Slovní komentář:** Gama záření je elektromagnetické vlnění. Jeho zdrojem jsou excitovaná atomová jádra. Má ionizační účinky a pro člověka je ve větších dávkách nebezpečné. Nelze jej vychýlit ani elektrickým, ani magnetickým polem. Dá se však odstínit dostatečně silnou vrstvou olova. Gama záření našlo své využití v lékařství nebo v pěstitelství.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 8 Zákony radioaktivních přeměn aneb pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice

### Co je potřeba zajistit:

- detektor radiace a datalogger značky Vernier, notebook, propojovací kabely;
- vzorky: generátor metastabilního barya 137 s příslušenstvím (vymývací roztok, stříkačka, miska, pinzeta), krypton 85;
- stojany, držáky, pravítko.

### ČÁST 1: ATOMOVÉ JÁDRO A JEHO STAV

**Výklad:** atomové jádro a jeho vnitřní struktura, excitovaný a metastabilní stav atomového jádra, statistický pohled na mikrosvět.

#### **ZÁBĚR 1:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

##### **Anička**

Svět atomů a částic je složitý a jeho pochopení vyžaduje velkou představivost.

#### **ZÁBĚR 2:** Vlastní grafika. Znázornění jádra barya 137. Zápis protonového a neutronového čísla.

**Slovní komentář:** Zkuste si představit jedno jediné atomové jádro, které obsahuje celkem 56 protonů a 81 neutronů.

#### **ZÁBĚR 3:** Převzatý obsah. Obrázek: periodická soustava prvků se zvýrazněním polohy barya.

**Slovní komentář:** Protonové číslo 56 má prvek baryum.

#### **ZÁBĚR 4:** Vlastní grafika. Znázornění jádra barya 137. Zápis protonového, neutronového a nukleonového čísla, značka pro baryum 137.

**Slovní komentář:** Protože ale naše jádro obsahuje celkem 137 nukleonů, jedná se o izotop barya 137.

#### **ZÁBĚR 5:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

##### **Anička**

Atomové jádro se může nacházet v různých stavech, které se liší svou energií.

#### **ZÁBĚR 6:** Vlastní grafika. Znázornění energetických hladin atomového jádra.

**Slovní komentář:** Stav jádra o nejnižší energii se nazývá základní, stavy o vyšší energii označujeme jako excitované.

#### **ZÁBĚR 7:** Vlastní grafika. Animace: atom s excitovaným elektronem.

**Slovní komentář:** Stejně jak je tomu i u elektronů.

#### **ZÁBĚR 8:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

##### **Anička**

Jak elektrony, tak atomová jádra obvykle setrvávají v excitovaném stavu jen po velmi krátkou dobu.

#### **ZÁBĚR 9:** Vlastní grafika. Zápis pikosekundy a nanosekundy jakožto zlomku sekundy.

**Slovní komentář:** Například několik pikosekund nebo nanosekund.

#### **ZÁBĚR 10:** Vlastní grafika. Znázornění energetických hladin atomového jádra.

**Slovní komentář:** Potom většinou přejdou do základního stavu.

**ZÁBĚR 11: Scéna v laboratoři školních pokusů / Vlastní grafika.** Sestřih ilustračních záběrů z dalších částí, na konci titulek *metastabilní*.

**Slovní komentář:** Existují však i taková atomová jádra, která mohou být v excitovaném stavu neobvykle dlouho. Třeba několik sekund nebo dokonce minut. Proto říkáme, že jsou metastabilní.

**ZÁBĚR 12: Vlastní grafika.** Animace: jádro metastabilního barya 137 a emise gama fotonu.

**Slovní komentář:** A přesně takovým jádrem je i metastabilní baryum 137. Tak či onak, za nějakou dobu i jádro metastabilního barya uvolní svou přebytečnou energii ve formě gama fotonu a přejde do základního stavu.

**ZÁBĚR 13: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

No ale v jakém okamžiku dojde k uvolnění gama fotonu z atomového jádra?

**ZÁBĚR 14: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: odpočet času.

**Slovní komentář:** Kdy nastane ta správná chvíle?

**ZÁBĚR 15: Vlastní grafika.** Animace: jádro metastabilního barya 137 a emise gama fotonu.

**Slovní komentář:** Za jednu sekundu, třicet sekund, minutu nebo pět minut?

**ZÁBĚR 16: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

To nejsme schopni předpovědět.

**ZÁBĚR 17: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na detektor a PC.

**Slovní komentář:** V jaderné fyzice ale obvykle nepracujeme ...

**ZÁBĚR 18: Vlastní grafika.** Animace: jádro metastabilního barya 137.

**Slovní komentář:** ... s jedním jediným atomovým jádrem, nýbrž ...

**ZÁBĚR 19: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na dostupné vzorky radionuklidů.

**Slovní komentář:** ... se vzorky, které jich obsahují nepředstavitelně moc. Bilióny, trilióny a víc.

**ZÁBĚR 20: Scéna v laboratoři školních pokusů / Vlastní grafika.** Sestřih ilustračních záběrů z dalších částí.

**Slovní komentář:** Při takovém počtu atomových jader se začínají projevat určité statistické zákonitosti, v důsledku čehož je možné chování atomů lépe předpovědět.

**ZÁBĚR 21: Vlastní grafika.** Titulek *pravděpodobnost a statistika v jaderné fyzice*.

**Slovní komentář:** V rámci dnešního videa tyto zákonitosti společně objevíme.

## ČÁST 2: AKTIVITA ZÁŘIČE S KRÁTKÝM POLOČASEM PŘEMĚNY

**Experiment:** detekce gama záření ze vzorku metastabilního barya 137.

**Výklad:** exponenciální závislost aktivity na čase, poločas přeměny, přeměnová konstanta, metastabilní technecium a jeho aplikace v medicíně.

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je výbava k přípravě metastabilního barya. Anička je v záběru.

**Anička**

Metastabilní baryum 137 je uměle vyrobeným gama zářičem.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Schéma popisující beta přeměnu cesia 137 na baryum 137.

**Slovní komentář:** Vzniká při beta přeměně cesia 137, ...

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je výbava k přípravě metastabilního barya. Anička je v záběru, ukazuje na generátor.

**Anička**

... které je obsaženo v tomto generátoru.

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na výbavu k přípravě barya.

**Slovní komentář:** Pomocí vymývacího roztoku můžeme ...

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. V záběru je kolega, který nabírá vymývací roztok do stříkačky, přičemž jej vstříkne do generátoru. Následně misku s odizolovaným baryem pokládá pod detektor. Detektor je uchycen ve stojanu a připojen k PC.

**Slovní komentář:** ... metastabilní baryum odizolovat z generátoru do misky. Misku pak položíme pod detekční plochu detektoru gama záření a ...

**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Bezprostředně po umístění vzorku pod detektor spouštíme detekci gama záření. Parametry: sběr dat 600 s, frekvence 1 vzorek/s. V průběhu měření nahráváme obrazovku PC, a to jak softwarově, tak s využitím kamery. Na konci měření ukládáme získaná data. Zpracováním získaných multimedií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** ... zahájíme měření. Každou sekundu zaznamenáme do grafu počet detekovaných částic. Tak třeba během šedesáté sekundy bylo detekováno 52 gama částic, což znamená, že 52 jader barya přešlo do základního stavu. Během dvousté sekundy se přeměnilo 23 jader barya atd.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Animace: zářič emitující každou sekundu tři gama fotony.

**Slovní komentář:** Fyzikální veličina udávající počet radioaktivních přeměn, jež proběhnou ve vzorku za jednu sekundu, ...

**ZÁBĚR 8: Vlastní grafika.** Zápis aktivity a její jednotky.

**Slovní komentář:** ... se nazývá aktivita. Její jednotkou je becquerel.

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Animace: zářič emitující každou sekundu tři gama fotony, zápis aktivity.

**Slovní komentář:** Tak třeba tři becquerely odpovídají třem radioaktivním přeměnám za sekundu.

**ZÁBĚR 10: Vlastní grafika.** Získaná data: graf závislosti aktivity na čase.

**Slovní komentář:** Po pěti minutách měření získáváme tento graf. Je z něj patrné, že aktivita vzorku s časem klesá, a to přibližně exponenciálně.

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Získaná data: graf závislosti aktivity na čase, proložení exponenciálou.

**Slovní komentář:** Body můžeme proložit vhodně zvolenou exponenciálou, ...

**ZÁBĚR 12: Vlastní grafika.** Získaná data: graf závislosti aktivity na čase, proložení exponenciálou, předpis exponenciální funkce.

**Slovní komentář:** ... která má uvedený funkční předpis.

**ZÁBĚR 13: Vlastní grafika.** Získaná data: graf závislosti aktivity na čase, proložení exponenciálou, předpis exponenciální funkce, přeškrtnutí posledního členu.

**Slovní komentář:** Poslední člen v předpisu můžeme zanedbat. Jeho příspěvek je jen nepatrný a je způsoben přirozeným radiačním pozadím.

**ZÁBĚR 14: Vlastní grafika.** Získaná data: předpis exponenciální funkce charakterizující realizované měření s metastabilním baryem, popis jeho částí.

**Slovní komentář:** Pomocí tohoto vztahu lze v libovolném časovém okamžiku vypočítat aktivitu našeho vzorku.

**ZÁBĚR 15: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na tabulku s výpočtem aktivity v čase  $t = 10$  s.

**Slovní komentář:** Za 10 s od počátku měření dostaneme přibližně 46 Bq.

**ZÁBĚR 16: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na kalkulačku, do které jsou zadávány hodnoty pro výpočet aktivity v čase  $t = 200$  s.

**Slovní komentář:** Za 200 s pak 10 Bq.

**ZÁBĚR 17: Vlastní grafika.** Získaná data: graf závislosti aktivity na čase, proložení exponenciálou, odečtení aktivity v časech  $t = 10$  s;  $t = 200$  s přímo z grafu.

**Slovní komentář:** A to se dá pohodlně odečíst i z grafu.

**ZÁBĚR 18: Scéna v domácím prostředí.** Záběr na učebnici fyziky mikrosvěta.

**Slovní komentář:** V učebnicích se s tímto vzorcem setkáte v obecnějším tvaru.

**ZÁBĚR 19: Vlastní grafika.** Obecný vztah pro exponenciální závislost aktivity zářiče na čase a popis jeho částí, tj.  $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ .

**Slovní komentář:** Přitom  $A_0$  je aktivita vzorku na počátku měření a  $\lambda$  je přeměnová konstanta.

**ZÁBĚR 20: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na různé druhy zářičů.

**Slovní komentář:** Ta je specifická pro každý typ radionuklidu a charakterizuje rychlost jeho přeměny.

**ZÁBĚR 21: Vlastní grafika.** Získaná data: předpis exponenciální funkce charakterizující realizované měření s metastabilním baryem, popis jeho částí.

**Slovní komentář:** Jak aktivitu na počátku měření, tak přeměnovou konstantu jsme vyčetli z předpisu exponenciální funkce.

**ZÁBĚR 22: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na stole je PC.

**Slovní komentář:** A pokud se ptáte, odkud se ta funkce vzala, vypočítal ji chytrý software.

**ZÁBĚR 23: Vlastní grafika.** Protokol z praktik atomové a jaderné fyziky.

**Slovní komentář:** To víte, fyzikové prokládají naměřená data nějakými křivkami skoro pořád, takže na to mají spoustu metod.

**ZÁBĚR 24: Vlastní grafika.** Znázornění jádra metastabilního barya 137.

**Slovní komentář:** A teď ještě něco k poločasům přeměny.

**ZÁBĚR 25: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Různé radionuklidy častěji charakterizujeme poločasem přeměny. Poločas přeměny je doba, po jejímž uplynutí klesne aktivita vzorku na polovinu.

**ZÁBĚR 26: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdálí. V záběru je kolega, který přesouvá vzorek metastabilního barya 137 pod detektor.

**Slovní komentář:** Aktivita metastabilního barya byla na počátku měření ...



**ZÁBĚR 27: Vlastní grafika.** Graf závislosti aktivity na čase vztahující se k realizovanému měření, proložení exponenciálou, znázornění počáteční aktivity a poločasu přeměny.

**Slovní komentář:** ... asi 48 Bq. Jeho poločas přeměny pak musí být asi 158 s.

**ZÁBĚR 28: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na tabulku, kde je vztah mezi poločasem přeměny a přeměnovou konstantou.

**Slovní komentář:** Mezi poločasem přeměny a přeměnovou konstantou navíc platí tento vztah.

**ZÁBĚR 29: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Podobným typem zářiče jako zmíněné baryum je i metastabilní technecium 99 s poločasem přeměny asi šest hodin.

**ZÁBĚR 30: Vlastní grafika.** Schéma jaderné přeměny molybdenu 99 na technecium 99.

**Slovní komentář:** Ziskává se z molybdenu a je zdrojem gama fotonů o energii 140 keV.

**ZÁBĚR 31: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: aplikace metastabilního technecia do paže, detekce gama záření.

**Slovní komentář:** Metastabilní technecium je intenzivně využíváno v nukleární medicíně, přičemž je pacientům aplikováno přímo do těla. Během vyšetření je gama záření z technecia detekováno vnější gama kamerou, zpracováno a převedeno na obraz.

### ČÁST 3: AKTIVITA ZÁŘIČE S DLOUHÝM POLOČASEM PŘEMĚNY

**Experiment:** detekce beta záření ze vzorku kryptonu 85.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

No a co kdybychom se podívali i na nějaký zářič ...

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na vzorek kryptonu 85.

**Slovní komentář:** ... s výrazně delším poločasem přeměny?

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Schéma jaderné přeměny kryptonu 85.

**Slovní komentář:** Tím může být například krypton 85 s poločasem přeměny asi 11 let.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Animace: jádro kryptonu 85 a jeho beta přeměna na jádro rubidia 85.

**Slovní komentář:** Ten je beta mínus zářičem, takže během své jaderné přeměny uvolňuje jeden elektron a jedno elektronové antineutrino.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdálí. Na stole je PC, detektor a vzorek kryptonu. Detektor a vzorek jsou uchyceny do stojanu. Anička je v záběru.

**Anička**

Elektrony uvolňované vzorkem kryptonu jsme schopni zachytit našim detektorem.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Animace: beta zářič o aktivitě 5 Bq, tj. každou sekundu emituje pět elektronů.

**Slovní komentář:** Počet detekovaných částic za sekundu přibližně udává okamžitou aktivitu vzorku.

**ZÁBĚR 7: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na tabulku se zápisem  $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ .

**Slovní komentář:** Pro pokles aktivity kryptonu platí zcela stejné zákonitosti jako pro metastabilního baryum.

**ZÁBĚR 8: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Provedeme detekci beta záření ze vzorku kryptonu 85. Parametry: sběr dat 600 s, frekvence 1 vzorek/s. V průběhu měření nahráváme obrazovku PC, a to jak softwarově, tak s využitím kamery. Na konci měření ukládáme data. Zpracováním multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Provedeme s ním proto stejné desetiminutové měření. No a postupně se nám rýsuje tento graf. Ale, hmm... Proč to neklesá? Počet zachycených částic pořád kolísá kolem dvou za sekundu. Exponenciální závislost zde nevidíme ani náznakem.

**ZÁBĚR 9: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru. Otázka je směřována na diváky.

**Anička**

Dokázali byste vysvětlit proč? Co bychom museli v rámci našeho měření změnit, abychom prokázali, že aktivita vzorku kryptonu skutečně exponenciálně klesá?

**ZÁBĚR 10: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na tabulku se zápisem  $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ .

**Slovní komentář:** To už je úkol pro vás!

## ČÁST 4: POISSONOVO ROZDĚLENÍ

**Výklad:** Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti a jeho aplikace v jaderné fyzice.

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Sestřih záběru 8, část 3.

**Slovní komentář:** Nejmenší počet částic, který jsme v průběhu měření zaregistrovali, byl nula za sekundu, nejvíce pak sedm za sekundu. Kdybychom všech 600 hodnot, které jsme v průběhu měření získali, vynesli do histogramu četností, jak myslíte, že by vypadal?

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Obdélníkový histogram četností, zelená grafika.

**Slovní komentář:** Byl by obdélníkový? Četnost by byla pro všechny počty částic stejná.

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Symetrický histogram četností, červená grafika.

**Slovní komentář:** Nebo snad symetrický? Největší četnosti by byly uprostřed a směrem k extrémně malým nebo extrémně velkým počtům částic by klesaly stejným tempem.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Asymetrický histogram četností, modrá grafika. Hodnota s největší četností je posunuta od středu směrem k nižším hodnotám. Histogram odpovídá skutečné detekci.

**Slovní komentář:** A co kdyby byl histogram asymetrický? Hodnota s největší četností může být posunuta od středu směrem k nižším ...

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Asymetrický histogram četností, šedá grafika. Hodnota s největší četností je posunuta od středu směrem k vyšším hodnotám.

**Slovní komentář:** ... nebo vyšším hodnotám.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Miniatury čtyř zmíněných variant histogramů.

**Slovní komentář:** Tak co, už jste si tipli? Tak já vám prozradím správnou odpověď.

**ZÁBĚR 7: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Sestřih záběru 8, část 3.

**Slovní komentář:** Našemu měření s kryptonem odpovídá ...

**ZÁBĚR 8: Vlastní grafika.** Asymetrický histogram s modrou grafikou odpovídající skutečné detekci.

**Slovní komentář:** ... modrý histogram četností.

**ZÁBĚR 9: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

Anička

Absolutní četnosti, s nimiž jsme pracovali doposud, ...

**ZÁBĚR 10: Scéna v domácím prostředí.** Tabulka s přepočtem absolutních četností na relativní.

**Slovní komentář:** ... můžeme přepočítat na relativní četnosti.

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Histogram relativních četností charakterizující měření s kryptonem a tabulka relativních četností. Potřebná data viz záběr 8, část 3.

**Slovní komentář:** Ty při dostatečně velkém počtu detekcí odpovídají pravděpodobnostem. Například pravděpodobnost, že během sekundy dekujeme právě pět částic je asi čtyřprocentní.

**ZÁBĚR 12: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Sestřih záběru 8, část 3.

**Slovní komentář:** Ve fyzice se často snažíme hromadu experimentálně získaných dat ...

**ZÁBĚR 13: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

Anička

... nahradit nějakým teoretickým modelem, který lze v ideálním případě popsat jedním elegantním vzorcem.

**ZÁBĚR 14: Vlastní grafika.** Histogram relativních četností charakterizující měření s kryptonem a tabulka relativních četností. Potřebná data viz záběr 8, část 3.

**Slovní komentář:** Histogram, k jehož sestrojení jsme potřebovali 600 hodnot, lze poměrně ...

**ZÁBĚR 15: Vlastní grafika.** Titulek *Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti*, předpis a popis jeho částí.

**Slovní komentář:** ... spolehlivě nahradit tzv. Poissonovým rozdělením pravděpodobnosti, které charakterizujeme tímto vztahem. Známe-li střední hodnotu počtu detekovaných částic, můžeme pomocí něj vypočítat pravděpodobnost, s jakou zachytíme během kterékoliv sekundy právě  $k$  částic. Písmeno lambda v tomto vztahu tedy nemá význam přeměnové konstanty.

**ZÁBĚR 16: Scéna v domácím prostředí.** Tabulka s výpočtem střední hodnoty.

**Slovní komentář:** Střední hodnota se vypočítá jako aritmetický průměr počtu detekovaných částic.

**ZÁBĚR 17: Vlastní grafika.** Výpočet pravděpodobnosti, s jakou bude detekováno právě pět částic (na základě Poissonova rozdělení pravděpodobnosti a znalosti střední hodnoty).

**Slovní komentář:** Pravděpodobnost, že během sekundy detekujeme pět částic, pak vypočítáme takto.

**ZÁBĚR 18: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, drží v ruce kalkulačku.

Anička

Analogicky vypočítáme všechny zbývající pravděpodobnosti ...

**ZÁBĚR 19: Vlastní grafika.** Histogram a tabulka rozdělení pravděpodobnosti na základě výpočtu.

**Slovní komentář:** ... a získáme tento histogram.

**ZÁBĚR 20: Vlastní grafika.** Srovnání histogramu vytvořeného na základě měření a histogramu vytvořeného na základě výpočtu.

**Slovní komentář:** Pokud srovnáme histogram, který jsme získali měřením, a histogram, který jsme získali výpočtem, i přes drobné rozdíly si jsou docela podobné. A to vskutku není dílem náhody.

**ZÁBĚR 21: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Sestřih záběru 8, část 3.

**Slovní komentář:** Kdybychom měření prováděli déle, třeba několik hodin ...

**ZÁBĚR 22: Vlastní grafika.** Srovnání histogramu vytvořeného na základě měření a histogramu vytvořeného na základě výpočtu za předpokladu dlouhého měření v řádu několika hodin.

**Slovní komentář:** ... první histogram by byl skoro k nerozeznání od druhého.

**ZÁBĚR 23: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na různé druhy zářičů.

**Slovní komentář:** A co je opravdu velmi zajímavé, ono to platí obecně. Ve své podstatě je jedno, jaký zářič budete zkoumat, pokud má dlouhý poločas přeměny v řádu několika let.

**ZÁBĚR 24: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Sestřih záběru 8, část 3.

**Slovní komentář:** Dokonce ani nezáleží na tom, jestli každá detekce potrvá sekundu nebo třeba minutu. Pokud provedeme dostatečně velký počet detekcí ...

**ZÁBĚR 25: Vlastní grafika.** Histogram relativních četností charakterizující měření s kryptonem a tabulka relativních četností. Potřebná data viz záběr 8, část 3.

**Slovní komentář:** ... a vytvoříme odpovídající histogram relativních četností, vždy jej bude možné poměrně spolehlivě nahradit ...

**ZÁBĚR 26: Vlastní grafika.** Titulek *Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti* a předpis.

**Slovní komentář:** ... Poissonovým rozdělením pravděpodobnosti se stejnou střední hodnotou. A to se hodí!

**ZÁBĚR 27: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Sestřih záběru 8, část 3.

**Slovní komentář:** Uchovávat hromadu dat z měření ...

**ZÁBĚR 28: Vlastní grafika.** Titulek *Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti* a předpis.

**Slovní komentář:** ... versus znát jeden předpis ...

**ZÁBĚR 29: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, pracuje na PC.

**Slovní komentář:** ... je z hlediska úspory paměti počítače dost zásadní rozdíl!

**ZÁBĚR 30: Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 9 Měření radiace s dozimetrem

### Co je potřeba zajistit:

- dozimetr na bázi GM detektoru;
- smolinec, radiobaryt, náramek a sklenice z uranového skla, thoriová elektroda a punčoška, draselné hnojivo;
- notebook, mikrofon, UV zářivka, potraviny bohaté na draslík (banán, avokádo, rajčatová šťáva), miska, sklenice.

### ČÁST 1: FALLOUT 76

**Motivace:** ukázka z počítačové hry Fallout 76, jež se odehrává ve fiktivním světě zasaženém jadernou válkou; ve hře se hraje za konkrétní postavu, která má ve své výbavě dozimetr.

**ZÁBĚR 1: Převzatý obsah.** Úryvek ze hry Fallout 76: postava stojí u sudu s radioaktivním odpadem, přičemž dozimetr vydává intenzivní zvukový signál.

**ZÁBĚR 2: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, předstírá hraní PC hry. Probíhá dialog s kolegou mimo záběr.

**Kolega**

Co to je za divný zvuk?

**Anička**

To vydává dozimetr, který používám ve hře.

**ZÁBĚR 3: Převzatý obsah.** Úryvek ze hry Fallout 76: postava se prochází podzemní chodbou, až dorazí ke kontaminované řece, dozimetr vydává intenzivní zvukový signál, postava umírá, hra končí, titulky *game over*. Mezitím probíhá dialog s kolegou mimo záběr.

**Kolega**

Dozimetr? Co to je?

**Anička**

No, hele, to je takový přístroj, který používám k měření dávek ionizujícího záření. Čím je ten zvuk intenzivnější, tím větší nebezpečí mi hrozí... Neeeee! Ztraceně. Už zas!

**ZÁBĚR 4: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, sundává si herní sluchátka a ukazuje dozimetr.

**Anička**

Ale víš co? Podobný dozimetr mám přímo tady!

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů / Scéna v exteriéru.** Výběr ilustračních záběrů, které budou natočeny v dalších částech.

**Slovní komentář:** Vysvětlím ti, jak funguje, a také ukážu, co všechno se s ním dá naměřit!

### ČÁST 2: ZÁKLADY DOZIMETRIE

**Výklad:** základní dozimetrické veličiny a jejich jednotky (absorbovaná dávka, dávkový příkon, dávkový ekvivalent, ekvivalentní dávkový příkon), druhy ionizujícího záření, biologické účinky.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, titulky *aktivita*.

**Anička**

Zdroj radioaktivního záření lze charakterizovat jeho aktivitou.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Animace: zářič o aktivitě 3 Bq.

**Slovní komentář:** Aktivita je fyzikální veličina, která udává, kolik radioaktivních přeměn proběhne v zářiči za jednu sekundu.

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Titulek *aktivita* se zápisem jednotky.

**Slovní komentář:** Měří se v becquerelech.

**ZÁBĚR 4: Převzatý obsah.** Úryvek ze hry Fallout 76: postava stojí u sudu s radioaktivním odpadem, ukazatel zdraví poukazuje na zhoršení zdravotního stavu postavy.

**Slovní komentář:** Samozřejmě platí, že čím má zářič větší aktivitu, tím větší nebezpečí hrozí člověku, který pobývá v jeho blízkosti.

**ZÁBĚR 5: Scéna ve výzkumné laboratoři.** Záběr na fyzika pracujícího se scintilačním detektorem, vzorkem kobaltu 57 s aktivitou v řádu GBq a olověným stíněním.

**Slovní komentář:** Silné zářiče mají aktivitu v řádu GBq. To znamená, že každou sekundu v nich proběhnou miliardy radioaktivních přeměn.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Pro popis účinků radioaktivního záření na nějakou látku, a to ať už kus plastu nebo živý organismus, používáme jiné veličiny. Těmi jsou absorbovaná dávka a dávkový ekvivalent.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Animace: 1 kg závaží absorbující dopadající záření, dále titulek *absorbovaná dávka* a zápis jednotky.

**Slovní komentář:** Absorbovaná dávka udává energii záření pohlcenou jedním kilogramem látky. Její jednotkou je gray.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Často však chceme vyjádřit, jakou dávku ionizujícího záření absorbuje kilogram látky za určitou jednotku času, a to ať už sekundu, minutu nebo třeba hodinu.

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Animace: 1 kg závaží absorbující dopadající záření, dále titulek *dávkový příkon* a zápis jednotky.

**Slovní komentář:** K tomu účelu se používá veličina zvaná dávkový příkon. Základní jednotkou je gray za sekundu.

**ZÁBĚR 10: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Rozlišujeme tři typy radioaktivního záření – alfa, beta a gama. Všechna záření mají ionizující účinky.

**ZÁBĚR 11: Vlastní grafika.** Animace: atom a jeho ionizace alfa částicí a gama fotonem.

**Slovní komentář:** To znamená, že jejich částice nebo kvanta mají natolik velkou energii, že jsou schopny při průchodu živou tkání vyrážet z atomových obalů elektrony a vytvářet tak z neutrálních atomů nabitě ionty.

**ZÁBĚR 12: Převzatý obsah.** Úryvek ze seriálu Chernobyl.

**Slovní komentář:** A právě to činí radioaktivní záření tolik nebezpečným.

**ZÁBĚR 13: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Vedle záření alfa, beta a gama existují ještě další druhy ionizujícího záření.

**ZÁBĚR 14: Vlastní grafika.** Animace: rentgenka a princip vzniku rentgenového záření.

**Slovní komentář:** Ionizační účinky má i rentgenové záření ...

**ZÁBĚR 15: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: lékař a rentgenový snímek.

**Slovní komentář:** ... využívané v lékařské diagnostice, ...

**ZÁBĚR 16: Vlastní grafika.** Jaderná elektrárna a zápis rovnice štěpení.

**Slovní komentář:** ... neutronové záření vznikající při štěpných reakcích v jaderných reaktorech ...

**ZÁBĚR 17: Vlastní grafika.** Animace: proton v kruhovém urychlovači.

**Slovní komentář:** ...nebo protonové záření v urychlovačích částic.

**ZÁBĚR 18: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Jednotlivé druhy ionizujícího záření se však liší svými ionizačními schopnostmi. Zatímco alfa záření je schopno při průchodu živou tkání o tloušťce asi jednoho milimetru vytvořit řádově desítky tisíc iontů, gama záření jich za stejných podmínek vytvoří sotva pár stovek.

**ZÁBĚR 19: Vlastní grafika.** Animace: různé druhy ionizujících částic, na konci titulek *dávkový ekvivalent*.

**Slovní komentář:** Abychom vystihli skutečnost, že některé druhy ionizujícího záření mají silnější biologické účinky než jiné, zavádíme veličinu dávkový ekvivalent

**ZÁBĚR 20: Vlastní grafika.** Titulek *dávkový ekvivalent* a jeho výpočet.

**Slovní komentář:** Ten je dán součinem jakostního faktoru a absorbované dávky. Jednotkou je sievert.

**ZÁBĚR 21: Vlastní grafika.** Titulek *jakostní faktor*, značka a zápis vybraných hodnot.

**Slovní komentář:** Jakostní faktor je bezrozměrná veličina, která zohledňuje účinky různých druhů záření na živou tkáň. Čím větší hodnota, tím větší biologické riziko pro člověka.

**ZÁBĚR 22: Scéna v exteriéru.** Měření ekvivalentního dávkového příkonu na Václavském náměstí v Praze, na konci titulek *ekvivalentní dávkový příkon*.

**Slovní komentář:** Při práci s dozimetrem obvykle odečítáme ekvivalentní dávkový příkon.

**ZÁBĚR 23: Vlastní grafika.** Titulek *ekvivalentní dávkový příkon* a zápis jednotek.

**Slovní komentář:** Ten vyjadřuje přírůstek dávkového ekvivalentu za určitou jednotku času.

### ČÁST 3: PŘIROZENÉ RADIAČNÍ POZADÍ

**Experimenty:** měření ekvivalentního dávkového příkonu v různých lokalitách (Olomouc, Praha, Ostrava, Vysoké Tatry).

**ZÁBĚR 1: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na dozimetr.

**Slovní komentář:** Dozimetr, s nímž budeme provádět měření, funguje na bázi GM detektoru.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Animace: elektrony a gama fotony.

**Slovní komentář:** Je vhodný především pro detekci beta nebo gama záření.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na dozimetr, měření ekvivalentního dávkového příkonu v Olomouci. Zvuk dozimetru nahráváme mikrofonem.

**Slovní komentář:** V Olomouci jsme naměřili ekvivalentní dávkový příkon asi 0,10  $\mu\text{Sv/h}$ .

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Výpočet ročního dávkového ekvivalentu v Olomouci.

**Slovní komentář:** To znamená, že za rok přijme každá osoba žijící v Olomouci dávkový ekvivalent přibližně 0,9 mSv.

**ZÁBĚR 5: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: příroda.

**Slovní komentář:** To je v normě, celosvětový průměr ozáření z přírodních zdrojů je 2,4 mSv ročně.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Radioaktivní záření je tedy do jisté míry přirozenou součástí našeho života.

**ZÁBĚR 7: Scéna v exteriéru.** Záběr na dozimetr, provádíme měření na skalnatém podloží.

**Slovní komentář:** Je vysíláno zemskou kůrou ...

**ZÁBĚR 8: Vlastní grafika.** Znázornění spršky částic v zemské atmosféře.

**Slovní komentář:** ... nebo k nám přichází ve formě kosmického záření.

**ZÁBĚR 9: Scéna v exteriéru.** Záběr na dozimetr, měříme ekvivalentní dávkový příkon v Ostravě (hlavní nádraží), Praze (Václavské náměstí) a ve Vysokých Tatrách (Skalnaté pleso).

**Slovní komentář:** Naměřená data samozřejmě závisí i na geografické poloze.

## ČÁST 4: SMOLINEC, URANOVÉ SKLO A RADIOBARYT

### Experimenty:

1. měření ekvivalentního dávkového příkonu v blízkosti smolince;
2. měření ekvivalentního dávkového příkonu v blízkosti uranového skla;
3. měření ekvivalentního dávkového příkonu v blízkosti radiobarytu.

**Výklad:** Marie & Pierre Curie a jáchymovský smolinec, rozpadové řady uranu.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Některé předměty, s nimiž můžeme přijít do kontaktu i za celkem běžných podmínek, vykazují vyšší radioaktivitu než přirozené radiační pozadí. Typicky obsahují příměsi uranu, radia, thoria či draslíku.

**ZÁBĚR 2: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na kovovou plechovku se smolincem.

**Slovní komentář:** Poměrně intenzivním zdrojem radioaktivního záření je smolinec.

**ZÁBĚR 3: Převzatý obsah.** Úryvky z videí a fotografie: Jáchymov, uranové doly.

**Slovní komentář:** Těžba smolince dříve probíhala v jáchymovských dolech, kde byli nuceni pracovat političtí vězni komunistického režimu.

**ZÁBĚR 4: Převzatý obsah.** Úryvek z filmu Radioactive, na konci titulky *radium, polonium*.

**Slovní komentář:** Jáchymovský smolinec byl také objektem zkoumání Marie Curie a jejího manžela Pierra. Ze smolince izolovali dva nové chemické prvky, a to radium a polonium.

**ZÁBĚR 5: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Měření ekvivalentního dávkového příkonu v těsné blízkosti smolince. Zvuk dozimetru nahráváme mikrofonem.

**Slovní komentář:** Přiložme smolinec k dozimetru. Ekvivalentní dávkový příkon postupně narůstá. Ustálí se až na hodnotě přibližně 16  $\mu\text{Sv/h}$ .



**ZÁBĚR 6: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na smolinec.

**Slovní komentář:** Smolinec obsahuje radioaktivní uran, ...

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Zápis izotopů uranu: uran 238 a uran 235.

**Slovní komentář:** ... a to převážně ve formě izotopu s 238 nukleony. Nepatrná část je tvořena uranem 235. Oba izotopy jsou nestabilní a mají poměrně dlouhý poločas přeměny.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Aby se jádra uranu dostala do stabilního stavu, nestačí jim absolvovat jen jednu radioaktivní přeměnu, nýbrž jich musí být celá řada.

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Animace: rozpadová řada uranu 238 (bez větvení).

**Slovní komentář:** Například takto může vypadat rozpadová řada uranu 238. Jádro musí absolvovat osm alfa rozpadů a sedm beta mínus rozpadů, než se stane stabilním izotopem olova 206.

**ZÁBĚR 10: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na sklenici a náramek z uranového skla v denním světle.

**Slovní komentář:** Uran je oblíbeným prvkem i mezi skláři, kteří jej používají k barvení skla. Uranové sklo má charakteristický zelený nebo žlutý odstín.

**ZÁBĚR 11: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na sklenici a náramek z uranového skla v zatemněné místnosti při ozařování UV zářivkou.

**Slovní komentář:** Ve tmě navíc při ozáření zdrojem UV záření vykazuje fluorescenci.

**ZÁBĚR 12: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Měření ekvivalentního dávkového příkonu v těsné blízkosti sklenice z uranového skla. Zvuk dozimetru nahráváme mikrofonem.

**Slovní komentář:** Pokud dozimetr přiložíme ke sklenici z uranového skla, naměříme asi 0,45  $\mu\text{Sv/h}$ .

**ZÁBĚR 13: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Měření ekvivalentního dávkového příkonu v těsné blízkosti korálků z uranového skla. Zvuk dozimetru nahráváme mikrofonem.

**Slovní komentář:** V blízkosti korálků z uranového skla naměříme asi 0,27  $\mu\text{Sv/h}$ .

**ZÁBĚR 14: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Smolinec samozřejmě není jediným radioaktivním minerálem. Dalším příkladem může být radiobaryt, který je k nalezení v některých lomech na území České republiky.

**ZÁBĚR 15: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na vzorky radiobarytu.

**Slovní komentář:** Radiobaryt není nic jiného než baryt se stopovým množstvím ...

**ZÁBĚR 16: Vlastní grafika.** Zápis značky radia 226 a poločasu rozpadu.

**Slovní komentář:** ... radia 226, které má poločas rozpadu asi 1 600 let.

**ZÁBĚR 17: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Měření ekvivalentního dávkového příkonu v těsné blízkosti radiobarytu. Zvuk dozimetru nahráváme mikrofonem.

**Slovní komentář:** Pokud radiobaryt přiložíme k dozimetru, ekvivalentní dávkový příkon se ustálí na hodnotě asi 0,35  $\mu\text{Sv/h}$ . To je si 45krát méně než v případě smolince.

## ČÁST 5: THORIOVÁ ELEKTRODA A PUNČOŠKA

### Experimenty:

1. měření ekvivalentního dávkového příkonu v blízkosti thoriové elektrody;
2. měření ekvivalentního dávkového příkonu v blízkosti thoriové punčošky.

**ZÁBĚR 1:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

#### Anička

Další přírodní radioizotop, se kterým se můžeme setkat i mimo laboratoř, je thorium 232.

**ZÁBĚR 2:** Vlastní grafika. Animace: rozpadová řada thoria 232 (bez větvení).

**Slovní komentář:** Thorium 232 musí podobně jako izotopy uranu absolvovat několik rozpadů, než se přemění na stabilní olovo 208.

**ZÁBĚR 3:** Převzatý obsah. Úryvky z videí: svařování elektrodou, plynová lampa s punčoškou.

**Slovní komentář:** Thorium se dříve běžně přidávalo do wolframových elektrod nebo punčošek do plynových lamp, které možná znáte z táboření.

**ZÁBĚR 4:** Scéna v domácím prostředí. Anička v záběru.

#### Anička

V současné době je radioaktivní thorium v těchto výrobcích nahrazováno jinými prvky.

**ZÁBĚR 5:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Detailní záběr na thoriovou elektrodu a punčošku.

**Slovní komentář:** Neznamená to však, že by některé starší kousky nebyly k sehnání.

**ZÁBĚR 6:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Měření ekvivalentního dávkového příkonu v těsné blízkosti thoriové elektrody a thoriové punčošky. Zvuk dozimetru nahráváme mikrofonom.

**Slovní komentář:** Pomocí dozimetru naměříme v případě obou výrobků zvýšený ekvivalentní dávkový příkon. Není velký, ale ve věcech radioaktivního záření je bezpečnost důležitá, takže se od thoria postupně upouští.

## ČÁST 6: DRASELNÉ HNOJIVO

**Experiment:** měření ekvivalentního dávkového příkonu v blízkosti draselného hnojiva.

**Výklad:** radioaktivní draslík a jeho výskyt v přírodě.

**ZÁBĚR 1:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Detailní záběr na stůl, kde jsou potraviny bohaté na draslík (banán, avokádo, rajčatová šťáva) a draselné hnojivo.

**Slovní komentář:** Draslík se v přírodě vyskytuje převážně ve formě stabilních izotopů ...

**ZÁBĚR 2:** Vlastní grafika. Zápis přírodních izotopů draslíku a poločasu rozpadu K 40.

**Slovní komentář:** ... K 39 a K 41. Asi jednu setinu procenta přírodního draslíku tvoří nestabilní izotop K 40 s poločasem rozpadu přes miliardu let.

**ZÁBĚR 3:** Scéna v laboratoři školních pokusů. Měření ekvivalentního dávkového příkonu v těsné blízkosti misky s draselným hnojivem. Zvuk dozimetru nahráváme mikrofonom.

**Slovní komentář:** Radioaktivní draslík je součástí draselného hnojiva, ale také ...

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na stůl, kde jsou potraviny bohaté na draslík (banán, avokádo, rajčatová šťáva).

**Slovní komentář:** ... mnoha běžných potravin.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, nalévá si rajčatovou šťávu do sklenice.

**Anička**

A protože potraviny bohaté na draslík běžně konzumujeme, jsme velmi slabými zdroji radioaktivního záření i my, lidé. Tak na zdraví v příštím videu!

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Náležitosti související s autorstvím, bez komentáře.

## 10 Částicová fyzika: standardní model částic a detekce mionů

### Co je potřeba zajistit:

- částicová kamera MX-10 s příslušenstvím, notebook;
- data z letu Ženeva-Praha, nástěnné hodiny.

### ČÁST 1: MION A JEHO STOPA

**Motivace:** ukázka konkrétní stopy mionu, navození zvědavosti.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na obrazovku PC, kde je snímek z částicové kamery. Anička ukazuje prstem na stopu mionu.

**Slovní komentář:** Takto vypadá stopa mionu.

**ZÁBĚR 2: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: zemský povrch z vesmíru, zemská atmosféra.

**Slovní komentář:** Elementární částice, která vznikla ve výšce několika desítek km nad zemským povrchem ...

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je PC a kufr. Anička je v záběru, otevírá kufr a vyndává z něj částicovou kameru.

**Slovní komentář:** ... a téměř rychlostí světla se řítí k nám ...

**ZÁBĚR 4: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na částicovou kameru.

**Slovní komentář:** ... dokud jsme ji nezachytili detektorem.

**ZÁBĚR 5: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na konci titulek *standardní model částí*.

**Anička**

Elementární částice... Co to ale vůbec je? Něco jako atom, proton nebo elektron? Pojďme si to ujasnit!

### ČÁST 2: STANDARDNÍ MODEL ČÁSTIC

**Výklad:** vnitřní struktura atomu, model tří elementárních částic (u-kvark, d-kvark, elektron), motivace k hledání dalších elementárních částic, standardní model částic, fermiony a bosony.

**ZÁBĚR 1: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: příroda, člověk, umělé materiály.

**Slovní komentář:** Atomy jsou stavebními kameny veškeré známé hmoty. Jsou tvořeny třemi druhy částic.

**ZÁBĚR 2: Vlastní grafika.** Znázornění elektronu, protonu a neutronu.

**Slovní komentář:** Elektrony, protony a neutrony.

**ZÁBĚR 3: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Elektrony jsou elementární částice, což znamená, že je již nelze dále dělit na menší části. Naproti tomu protony a neutrony nejsou elementárními částicemi, protože jsou složeny z jednodušších částic, které nazýváme kvarky.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Vnitřní struktura protonu a neutronu (uud, ddu), znázornění u-kvarku a d-kvarku.

**Slovní komentář:** Protony a neutrony jsou tvořeny dvěma typy kvarků – up kvarkem a down kvarkem.

**ZÁBĚR 5: Vlastní grafika.** Vnitřní struktura protonu a neutronu (uud, ddu), znázornění náboje.

**Slovní komentář:** Drobný rozdíl v jejich vnitřní struktuře je důsledkem toho, že proton má kladný náboj a neutron je elektricky neutrální.

**ZÁBĚR 6: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Na první pohled se může zdát, že nám pro popis celého světa postačí tři elementární částice.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Znázornění elektronu, u-kvarku a d-kvarku.

**Slovní komentář:** Elektron, u-kvark a d-kvark. Bohužel to však nestačí.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Kdyby existovaly pouze tři elementární částice, nedokázali bychom spolehlivě vysvětlit, proč jsou atomová jádra stabilní. Vždyť kladně nabitě protony v atomových jádrech by se měly odpuzovat! A co vůbec drží kvarky v nukleonech?

**ZÁBĚR 9: Vlastní grafika.** Rovnice popisující beta rozpad jádra stroncia 90, otazník na místě elektronového antineutrína.

**Slovní komentář:** Při beta rozpadu atomových jader by neplatil zákon zachování energie.

**ZÁBĚR 10: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: zemská atmosféra.

**Slovní komentář:** Dokonce bychom nedokázali správně popsat řadu dějů, které běžně probíhají v zemské atmosféře.

**ZÁBĚR 11: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Fyzikové proto teoreticky předpověděli a později i experimentálně prokázali, že existují mnohé další elementární částice.

**ZÁBĚR 12: Vlastní grafika.** Rovnice popisující beta rozpad stroncia 90, otazník na místě elektronového antineutrína je přepsán.

**Slovní komentář:** Záhada chybějící energie při beta rozpadu se vyřešila nalezením nové elementární částice.

**ZÁBĚR 13: Vlastní grafika.** Znázornění elektronového neutrína a jeho antičástice.

**Slovní komentář:** Elektronového neutrína a jeho antičástice.

**ZÁBĚR 14: Vlastní grafika.** Nákres pro standardní model částic (obsahuje u-kvark, d-kvark, elektron). Přidáváme elektronového neutrína.

**Slovní komentář:** První generace elementárních částic se tak rozšířila o nového člena, kterým bylo elektronové neutrino.

**ZÁBĚR 15: Vlastní grafika.** Nákres pro standardní model částic (obsahuje u-kvark, d-kvark, elektron, elektronové neutrino). Přidáváme c-kvark, s-kvark, t-kvark, b-kvark.

**Slovní komentář:** Později bylo zjištěno, že existují další typy kvarků, a to c-kvark, s-kvark, t-kvark a b-kvark.

**ZÁBĚR 16: Vlastní grafika.** Znázornění vnitřní struktury kaonu a lambda baryonu.

**Slovní komentář:** Tyto kvarky a jejich antičástice mohou stejně jako u-kvark a d-kvark tvořit složené částice. Ty jsou ale velmi nestabilní a rychle se rozpadají.

**ZÁBĚR 17: Vlastní grafika.** Nákres pro standardní model částic (obsahuje všechny kvarky, elektron, elektronové neutrino). Přidáváme mion a tauon.

**Slovní komentář:** Elektron patří do rodiny leptonů, kde má ještě dva těžší bratry – mion a tauon.

**ZÁBĚR 18: Vlastní grafika.** Nákres pro standardní model částic (obsahuje všechny kvarky, elektron, mion, tauon a elektronové neutrino). Přidáváme mionové a tauonové neutrino.

**Slovní komentář:** Mion i tauon mají stejně jako elektron odpovídající neutrino.

**ZÁBĚR 19: Vlastní grafika.** Nákres pro standardní model částic (obsahuje všechny fermiony), zvýraznění elementárních částic první generace.

**Slovní komentář:** Za běžných podmínek se setkáváme převážně s elementárními částicemi první generace.

**ZÁBĚR 20: Vlastní grafika.** Znázornění u-kvarku, d-kvarku a elektronu.

**Slovní komentář:** Jak už víme, u-kvarky, d-kvarky a elektrony tvoří náš hmotný svět.

**ZÁBĚR 21: Vlastní grafika.** Nákres pro standardní model částic (obsahuje všechny fermiony), zvýraznění elementárních částic druhé a třetí generace.

**Slovní komentář:** Elementární částice druhé a třetí generace nejsou součástí běžné hmoty a obvykle jsou velmi nestabilní.

**ZÁBĚR 22: Převzatý obsah.** Fotografie: urychlovač částic.

**Slovní komentář:** Většina z nich byla vytvořena uměle v urychlovačích částic.

**ZÁBĚR 23: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

**Anička**

Elementární částice první, druhé a třetí generace souhrnně nazýváme fermiony. Existuje však ještě jedna skupina elementárních částic, a to jsou bosony.

**ZÁBĚR 24: Vlastní grafika.** Nákres pro standardní model částic (obsahuje všechny fermiony). Postupně jsou doplněny všechny bosony.

**Slovní komentář:** Mezi bosony řadíme gluon, foton, Z a W boson a Higgsův boson.

**ZÁBĚR 25: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: hráči s míčem.

**Slovní komentář:** Úkolem bosonů je mezi fermiony zprostředkovávat vzájemná silová působení. Podobně jako míč, který si přehazují dva lidé.

**ZÁBĚR 26: Vlastní grafika.** Znázornění gluonu, titulek *silná interakce*.

**Slovní komentář:** Například gluony zprostředkovávají tzv. silnou interakci mezi kvarky a drží je tak v nukleonech.

**ZÁBĚR 27: Vlastní grafika.** Znázornění jaderných sil: proton-proton, neutron-neutron, proton-neutron.

**Slovní komentář:** Zbytkovým projevem silné interakce jsou jaderné síly, které působí mezi nukleony a brání tak rozpadnutí atomového jádra.

**ZÁBĚR 28: Vlastní grafika.** Finální nákres standardního modelu částic, titulek *standardní model částic*.

**Slovní komentář:** Tabulka, kterou před sebou nyní vidíme, má v částicové fyzice podobný význam jako periodická soustava prvků v chemii. Znázorňuje tzv. standardní model částic.

## ČÁST 3: DETEKCE MIONŮ V LABORATOŘI

**Výklad:** kosmické záření, vlastnosti mionů, mlžná komora a polovodičové detektory.

### Experimenty:

1. detekce přirozeného radiačního pozadí;
2. detekce mionů v laboratoři.

**ZÁBĚR 1: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru, na konci titulek *detekce mionů*.

#### Anička

Co by to ale bylo za video, kdybychom se nepokusili nějakou elementární částici detekovat. Ve sklepě sice nemáme urychlovač částic, ale to ničemu nevádí.

**ZÁBĚR 2: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: pohled na zemský povrch z vesmíru, mlhovina.

**Slovní komentář:** Země je trvale bombardována kosmickým zářením, které k nám přichází ze Slunce, ale i vzdálenějších hlubin vesmíru.

**ZÁBĚR 3: Vlastní grafika.** Animace: urychlené protony.

**Slovní komentář:** Hlavní složkou kosmického záření jsou vysokoenergetické protony.

**ZÁBĚR 4: Vlastní grafika.** Animace: srážka protonu s molekulou kyslíku a vznik spršky částic.

**Slovní komentář:** Produktem srážek protonů s molekulami vzduchu jsou spršky částic, mezi nimiž jsou i miony.

**ZÁBĚR 5: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: pohled na zemský povrch z vesmíru.

**Slovní komentář:** Miony vznikají ve výšce několika desítek km nad zemským povrchem a pohybují se téměř rychlostí světla.

**ZÁBĚR 6: Vlastní grafika.** Finální nákres standardního modelu částic.

**Slovní komentář:** Stejně jako elektrony mají záporný náboj, ale jsou asi 200× hmotnější.

**ZÁBĚR 7: Vlastní grafika.** Rovnice popisující rozpad mionu.

**Slovní komentář:** Život mionu je krátký. Za několik mikrosekund od svého vzniku se rozpadá na elektron, elektronové antineutrino a mionové neutrino.

**ZÁBĚR 8: Scéna v domácím prostředí.** Anička v záběru.

#### Anička

To, že jsme schopni miony na zemském povrchu vůbec detekovat, je jedním z typických důkazů platnosti speciální teorie relativity. Ale to už je zase jiný příběh.

**ZÁBĚR 9: Převzatý obsah.** Úryvek z videa: mlžná komora od firmy Nuledo.

**Slovní komentář:** Stopy mionů, ale i jiných exotických částic lze zachytit v mlžné komoře, která je naplněna parou v přesyceném stavu. Miony se pohybují velmi rychle, takže si v mlžné komoře razí přímou cestu a odpovídají jim dlouhé přímé stopy.

**ZÁBĚR 10: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdálí. Na stole je kufr a PC. Anička otevírá kufr a vyndává z něj částicovou kameru.

**Slovní komentář:** S prudkým vývojem elektroniky byly mlžné komory vytlačeny z vědeckých laboratoří. Nahradily je například polovodičové detektory

**ZÁBĚR 11: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na stůl, kde je PC a částicová kamera.

**Slovní komentář:** Polovodičovým typem detektoru je i tato digitální částicová kamera, kterou budeme ovládat pomocí počítače.

**ZÁBĚR 12: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detailní záběr na křemíkový senzor.

**Slovní komentář:** Hlavní částí kamery je malý křemíkový senzor, který je zkonstruován jako plošná dioda zapojená v závěrném směru.

**ZÁBĚR 13: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je PC a částicová kamera, Anička je v záběru.

**Anička**

Zkusme provést pomocí částicové kamery jedno desetiminutové měření – třeba zachytíme mion!

**ZÁBĚR 14: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Desetiminutová detekce přirozeného radiačního pozadí. Nahráváme měřicí sestavu, ukládáme získaný snímek i data. Parametry: Exp. count 1, Exp. time 600 s, YES integral mode. Zpracováním získaných multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Do blízkosti kamery neumísťujeme žádný konkrétní zářič, detekujeme pouze přirozené radiační pozadí. Na výsledném snímku z kamery vidíme několik stop. Velké kulaté stopy odpovídají alfa částicím. Zakřivené stopy ve tvaru červíků vznikly po dopadu elektronů. Malé, obvykle jednopixelové stopy jsou způsobeny dopadem gama fotonu. Na snímku však nevidíme žádnou přímou stopu odpovídající mionu.

**ZÁBĚR 15: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Záběr na katedru z povzdáli. Na stole je PC a částicová kamera, Anička v záběru.

**Anička**

Každou minutu dopadne na plochu o obsahu  $1 \text{ cm}^2$  asi 1 mion. Detekční plocha senzoru ve vertikální poloze je však dvacetkrát menší.

**ZÁBĚR 16: Scéna v domácím prostředí.** Detailní záběr na obrazovku PC, kde je snímek z částicové kamery. Anička ukazuje prstem na stopu mionu.

**Slovní komentář:** Pro zachycení mionu proto potřebujeme více času.

**ZÁBĚR 17: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Dvě fotografie: PC, částicová kamera, hodiny; na první fotografii hodiny ukazují 13 h, na druhé 16 h.

**Slovní komentář:** Tři hodiny by snad mohly stačit.

**ZÁBĚR 18: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Provádíme 18 desetiminutových detekcí. Přitom ukládáme snímky i data, příležitostně fotografujeme měřicí soustavu. Parametry: Exp. count 18, Exp. time 600 s, NO integral mode. Zpracováním získaných multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Během tří hodin jsme provedli celkem 18 desetiminutových měření. Během deseti z nich jsme žádný mion nezachytili. Na snímcích vidíme pouze stopy, které odpovídají beta a gama částicím. Na dalších snímcích již vidíme přímé stopy, které odpovídají mionům. Dokonce jsme zachytili i několik alfa částic. Detekce mionů možná tak trochu připomíná hledání jehly v kupce sena.

**ZÁBĚR 19: Vlastní grafika.** Statistika celkového počtu detekovaných částic během tří hodin.

**Slovní komentář:** Potřebovali jsme tři hodiny na to, abychom mezi 17 tisíci částic našli jen 18 mionů.

**ZÁBĚR 20: Převzatý obsah.** Fotografie: urychlovač částic.

**Slovní komentář:** To ale není v částicové fyzice nic neobvyklého.

**ZÁBĚR 21: Vlastní grafika.** Finální náčrt standardního modelu částic, srážky protonů, Higgsův boson.

**Slovní komentář:** Když se fyzikové v CERNu snažili prokázat existenci Higgsova bosonu, museli analyzovat miliardy srážek urychlených protonů.



**ZÁBĚR 22: Převzatý obsah.** Fotografie: data z detektoru ATLAS.

**Slovní komentář:** Přitom zaznamenali sotva pár stovek bosonů.

#### ČÁST 4: DETEKCE MIONŮ V LETADLE

**Experiment:** detekce mionů – letadlo vs. olomoucká laboratoř.

**ZÁBĚR 1: Převzatý obsah.** Úryvky z videí: letadlo, pohled z palubního okna.

**Slovní komentář:** Při dalším experimentu částicová kamera absolvovala let z Ženevy do Prahy, který trval přibližně 90 minut.

**ZÁBĚR 2: Převzatý obsah.** Naměřená data v letadle na trase Ženeva-Praha. Parametry: Exp. count 180, Exp. time 30 s, NO integral mode. Zpracováním získaných multimédií vznikne záběr.

**Slovní komentář:** Animace, kterou sledujeme, zrychleně zachycuje průběh měření v letadle. Přitom od startu po přistání bylo provedeno 180 detekcí, každá po dobu třiceti sekund.

**ZÁBĚR 3: Scéna v laboratoři školních pokusů.** Detekce přirozeného radiačního pozadí v olomoucké laboratoři. Ukládáme získané snímky i data, příležitostně vyfotíme měřící soustavu. Parametry: Exp. count 180, Exp. time 30 s, NO integral mode. Zpracováním získaných multimédií vznikne záběr. Uvedená otázka je směřována na diváky, video neposkytuje přímou odpověď.

**Slovní komentář:** Pro srovnání jsme provedli stejné měření v olomoucké laboratoři. Co myslíte, zachytili jsme více mionů v letadle, nebo v laboratoři?