

Obr. 10 http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACarl_Friedrich_Gauss_1840_by_Jensen.jpg

Obr. 11 http://aldebaran.cz/fotografie/planety_neptun.html

Obr. 12 http://www.machunter.org/john_comet%20tuttle.html

Obr. 13 <https://eee.uci.edu/clients/bjbecker/huggins/hugginsspectroscopoea.jpg>

Obr. 14 <http://user.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture20-Compact-Stars/nova-herculis.jpg>

Detektory elementárních částic a záření

MAREK BALÁŽOVIČ

Gymnázium L. Štúra, Zvolen, Fakulta Přírodních vied UKF, Nitra

Úvod

Svět elementárních částic se k nám v poslední době přimlouvá prostřednictvím veřejných medií, ze kterých můžeme slyšet o hledání božské částice, nebo kreaci černých děr, super rychlých neutrínech, či o antihmotě vyráběné poblíž Ženevy v Cernu. Popularizace těchto témat pronikla do novin, večerních zpráv, nebo knih *D. Browna* a díky tomuto průniku se stává zajímavější i pro studenty našich škol. Problematika částic a záření bývá však často zprostředkována studentům pouze jako sdělování teoretických faktů. I když i tyto informace mohou být pro posluchače velice zajímavé, důležitý je poznatek, že studenti nejsou jenom posluchači, i když bývá tento pojem často používán jako jejich synonymum. Je známo, že nejlépe se zakoření ty informace, na které přichází student svou vlastní tvůrčí činností. Při zkoumání mikrosvěta a elementárních částic však často padne námitka učitelů, že pro tuto oblast praktických cvičení nemají dostatečné. Jak vhodně znázornit svět částic, které mají rozměry menší než atom a někdy se pohybují rychlostí světla? Jak je možné detekovat záření bez drahých detekčních zařízení? Odpověď se skrývá v přístroji, který na-

zval *E. Rutherford* nejoriginálnějším a nejkrásnějším přístrojem v celých dějinách fyziky. A to je mlžná komora.

Princip vizualizace částic mlžní komorou

Mlžnou komoru jako nástroj detekce částic objevil *Charles T. R. Wilson* (1869–1959). Wilson vypracoval metodiku, která umožňuje identifikovat stopy trajektorií elektricky nabitých částic pomocí kondenzovaných pár. Za tenhle objev obdržel v roce 1927 Nobelovu cenu [1]. Mlžná komora je proto také známa i jako Wilsonova komora. Jde o zařízení, ve kterém je ve válci s pohyblivým pístem uzavřen plyn zbavený nečistot a obsahující nasycenou páru vhodné kapaliny. Při adiabatickém rozpínání plynu se prudce sníží teplota a v komoře vznikne přesycená pára. Když do tohoto prostoru vlétne nabitá částice, ionizuje podél své trajektorie molekuly plynu a ionty, které se utvoří, se stanou kondenzačními jádry. Na těchto jádrech se vytvářejí drobné kapičky, které vyznačují stopu částice.

Změnu skupenství při rozpínání nebo kompresi plynu můžeme studentům demonstrovat jednoduchým motivačním experimentem. Do průhledné plastové láhve nalijeme na dno vodu. Pak do láhve vhodíme současně několik hořících zápalek. Láhev co nejrychleji uzavřeme víčkem. Zápalky po dopadu do vody zhasnou a zadýmí vnitřní prostor láhve. Když pak láhev stlačíme rukama, zjistíme, že je průhlednější, než když ruce uvolníme. Při expanzi plynu dochází k poklesu teploty páry a následné kondenzaci v okolí prachových částic dýmu. Tohle se projeví snížením průhlednosti. Když provedeme kompresi plynu, dojde k opětovnému nárůstu teploty a k procesu vypaření, v důsledku čehož je vnitřní prostor průhlednější.

Wilsonovu komoru s pohyblivým pístem lze nahradit difuzní komorou, která využívá teplotní gradient k vzniku nasycených pár. Pracovním prostorem tohoto druhu komory je obyčejně dutina skleněného válce, který je na jedné straně ochlazován a na druhé zahříván. Jestliže se na straně s vyšší teplotou nachází výparník – zdroj par, páry budou z této strany difundovat, protože se zde vytváří přesycená pára. V místech, kde je válec ochlazován, by přesycená pára mohla kondenzovat, k tomu jsou nutná kondenzační jádra. Jimi se stávají ionty vytvořené prolétajícími nabitými částicemi, stejně jako tomu bylo u Wilsonovy komory.

Pomocí těchto detekčních komor lze pozorovat nabitě částice, které do komory proniknou. Mohou to být částice, které vznikají jako důsledek kosmického záření, nebo částice z některých hornin, popř. látek vyzařujících

záření ? nebo ?. Mlžná komora sehrála v dějinách fyziky nezanedbatelnou roli. Díky ní byl objeven pozitron, posloužila k prvotním vizualizacím jaderných přeměn, či ke studiu vzniku elektron-pozitronových párů a jejich následné anihilace, nebo k demonstraci Comptonova jevu.

Domácí difúzní komora

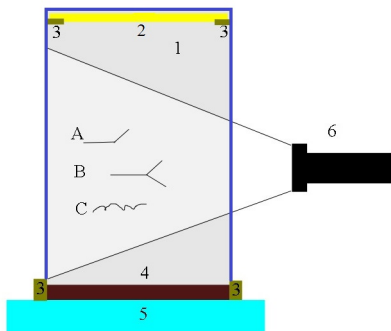
Na některých školách (především starších a větších gymnáziích) ještě mohou být starší pomůcky sloužící k detekci nabitých částic – laboratorní Wilsonova mlžná komora, nebo Langsdorfova difuzní mlžná komora. Komoru ale můžeme vyrobit i z obyčejných materiálů, což navíc může zvýšit zájem o experimentování. Na internetu lze vyhledat řadu nápadů a návodů jak mlžnou komoru vyrobit. Návody najdeme také na stránkách samotného CERNu [2] ale vyskytují se i v mnoha vědeckých článcích. [3, 4] Mnohé z tzv. „domácích komor“ tvoří akvárium umístěné na kovových deskách s drážkou. My nabídneme nejjednodušší variantu výroby detekční komory.

K výrobě jednoduché difuzní komory budeme potřebovat: sklenici s kovovým víkem, plst (nebo hrubší nasákovou látku), isopropyl alkohol, světelný zdroj, plastelínu, suchý led.

Postup: Víko sklenice natřeme z vnitřní strany černou barvou (nebo na ni přilepíme nějakou tmavou látku). Z plsti nebo jiné látky vystříháme tvar, který nám dobře vejde na dno sklenice. Plst ke dnu přilepíme, nebo přichytíme po okrajích pomocí plastelíny tak, aby dobře držela u dna i po obrácení sklenice do polohy dnem nahoru. Na plst pak nanese isopropyl alkohol, což je vysoce prchavá látka. Když je plst nasáklá alkoholem sklenici uzavřeme víkem. Víko utěsníme zvenku plastelínou, aby alkoholové výpary nemohly unikat. Pak sklenici postavíme víkem na suchý led, který bude zespodu sklenici ochlazovat.

Suchý led je oxid uhličitý v pevném skupenství. Jeho teplota dosahuje téměř $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, poměrně rychle sublimuje a kvůli nízké teplotě je potřebné s ním manipulovat opatrně. Nedoporučuje se ho dotýkat přímo holými rukama. Suchý led je zřejmě jedinou složkou detektoru, kterou v běžné domácnosti nenajdeme. Je ale možné získat ho v prodejnách, v nichž se prodává v boxech, kde by měl vydržet několik hodin až dní. Nákup suchého ledu by ale neměl být překážkou našeho experimentu (řádově se jedná o desítky korun za kg). Sklenici necháme pár minut chladit. Potom komoru osvětlíme zboku svítilnou nebo jiným intenzívním zdrojem světla a komora je připravená na detekci. Pozorování zaměříme na oblast

při ochlazeném dnu sklenice. Stopy částic budou lépe viditelné při pozorování v zatemněné místnosti. Jestliže dovnitř pronikne nabitá částice, pak se v místech jejího průchodu objeví stopy v podobě zkonzenzovaných alkoholových par.



Obr. 1: Schéma difuzní mlžné komory: 1 – sklenice, 2 – plst nasáklá isopropyl alkoholem, 3 – plastelína, 4 – kovové víčko, 5 – suchý led, 6 – svítilna, A, B, C – stopy kosmického záření

Aktivity pro studenty

Práce s mlžnou komorou poskytuje široké spektrum využití pro zkoumání záření a částic. Experimentování s mlžnou komorou umožňuje pochopit základní pojmy z oblasti radiace a kosmického záření. Žáci získají nové zkušenosti a dovednosti v oblasti pozorování, shromažďování dat, porovnávání, měření, analýzy údajů a jejich interpretace apod.

V přípravné fázi učitel připraví všechny potřebné materiály pro aktivity – pomůcky k sestavení komory, zdroje záření, prezentaci k základním informacím o ionizujícím záření, detektorech, průběhu pozorování a rozdá žákům pracovní listy. Práce s mlžnou komorou může být použita k demonstraci, ale vhodnější je použití k vlastní práci žáků v menších 2 až 3členných skupinkách. I když je příprava komory časově nenáročná, lépe poslouží pro tuto aktivitu dvouhodinová lekce. Aktivity vhodné pro žáky jsme rozdělili do dvou kategorií.

Pozorování mionů

Naše planeta je neustále bombardovaná částicemi kosmického záření. Tyhle částice interagují s naší atmosférou, přičemž vznikají nové typy

částic. Jednou z nich je i mion, elementární částice ze skupiny leptonů. Mion je částice se záporným elementárním nábojem, stejně jako elektron. Od elektronu se ale liší svou hmotností, která je asi 207násobně větší. Když zkonstruujeme naši difuzní komoru, budeme moci tyto částice pozorovat. V detektoru budou miony zanechávat různé typy stop. Některé budou jasné a tlustší, jiné méně jasné a tenké. Rovné trajektorie, které se na konci stočí doprava nebo doleva budou stopami mionů. Mion se v určitém okamžiku může rozpadnout na elektron a neutrino – tento rozpad představuje zlom trajektorie (obr. 1 – stopa A). Neutrino ovšem nelze pozorovat, protože nemají elektrický náboj a nezanechávají v našem detektoru viditelnou stopu.

Další variantou pro tvar trajektorie jsou tři stopy, které se setkávají v jednom bodě (obr. 1 – stopa B). V tomto případě bude jedna stopa trojnožky patřit přicházejícímu mionu, který pak zasáhne elektron (druhá část) a odkloní původní směr mionu (třetí část). V detektoru můžeme vidět také trajektorie chaotické, krouživé, které budou zanechávat kosmické paprsky s malou energií (obr. 1 – stopa C).

Žáci mohou pozorování zachytit i kamerou a následně provést analýzu záznamu – spočítat kolik jednotlivých typů trajektorií v detektoru za určitý čas vzniklo. Pokud to podmínky dovolí, mohlo by se takovéto měření uskutečnit v různých nadmořských výškách a zjistit závislost mezi výškou a počtem detekovaných mionů. V rámci školního projektu by mohly být taktéž zaznamenávány tyto trajektorie opakovaně při různém počasí.

Pozorování záření α a β

S menšími úpravami můžeme pomocí domácí mlžné komory pozorovat jednotlivé druhy radioaktivního záření. Do vnitřního prostoru detektoru musíme uložit zdroje takového záření. Zdrojem ionizujícího záření mohou být radioaktivní minerály. Jejich seznam je dostupný na webových stránkách [5].

Pro žáky by mohli být atraktivnější takové zdroje radioaktivity, se kterými přicházejí do styku v běžném životě. Může to být např. některé druhy hodinek, keramika, hnojiva, luminiscenční tyčinky apod. Zářiče najdeme také i ve většině používaných hlásičů požáru. Jejich součástí je radioaktivní americium 241. Částice α emitované americie ionizují vzduch v hlásiči, čím se stává vodivým. Když částičky dýmu proniknou do hlásiče, sníží se vodivost a hlásič ohlásí požár. Moderní hodinky někdy obsahují tritium nebo promethium 147, které v nich slouží jako zdroj

světla. V starších hodinkách (obyčejně před rokem 1970) byl pro stejný účel používán prvek radium 226. Keramické výrobky jako dlaždice nebo hrnčířské zejména glazurované produkty mohou obsahovat uran, thorium. Tyto prvky se vyskytují i v barevném žlutém a zeleném skle [6].

Alternativou pro pozorování záření β je i digitální kamera nebo fotoaparát. Jestliže před objektiv umístíme tmavou clonu, za kterou vložíme zářiče, budeme moci sledovat na obrazovce daného přístroje drobné záblesky. Je to scintilace, kterou vyvolává záření pronikající dovnitř přístroje.

Diskuse

Námětem pro diskusi, nebo otázky pracovních listů by mohla být tato témata:

1. Různé tvary trajektorií (kolik typů trajektorií bylo pozorováno, náskry jednotlivých stop, zastoupení jednotlivých tvarů).
2. Příčiny odlišnosti daných stop (co může mít vliv na tvar trajektorie).
3. Čím se stopy liší a co mají společné?
4. Jaký vliv mají zdroje jednotlivých typů záření na četnost a vlastnosti detekovaných stop?
5. Jak bychom mohli zjistit, zda pozorujeme záření α nebo β ?
6. Co nastane, když ke komoře přiložíme silný magnet?

Literatura

- [1] Nobelprize.org: C.T.R. Wilson – Biography. Online [4. 5. 2012]
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1927/wilson-bio.html
- [2] D. Bertola, M. Cirilli, J. Flammer, G. Schlager, S. Schuh, P. Schune: Cloud chamber workshop. Online [4. 5. 2012]
<http://teachers.web.cern.ch/teachers/document/cloud-final.pdf>
- [3] B N C Agu: Diffusion cloud chamber for demonstration purposes. In Phys. Educ. 1973, 8, 42.
- [4] F. Barradas-Solas, P. Alameda-Meléndez: Bringing particle physics to life: build your own cloud chamber. Science in School. 2010, 14: 36-40. Online
www.scienceinschool.org/2010/issue14/cloud
- [5] Radioactive minerals. Online [4. 5. 2012]
<http://www.galleries.com/minerals/property/radioact.htm>
- [6] Health Physics Society: Is Anything We Use in Everyday Life Radioactive? 2011. Online [4. 5. 2012]
<http://hps.org/publicinformation/ate/faqs/consumerproducts.html>