

HMLOVÁ KOMORA

Vladimír Plášek

FMFI UK, Bratislava

Abstrakt: *Jedným z prvých detektorov elementárnych častíc bola hmlová komora. V čase svojho vzniku bola vlastne jediným detektorom pre vedcov, ktorí sa pokúšali objaviť záhady mikrosveta. Zostrojili sme hmlovú komoru a použili na zviditeľnenie kozmického žiarenia a tiež zviditeľnenie žiarenia alfa, beta a gama. Pripravili sme pracovný a metodický list použiteľný vo vyučovaní. Natočili sme video z pozorovania. Naša hmlová komora má 2 dôležité prednosti: jednoduchú konštrukciu a možnosť na vlastné oči vidieť pohyb častice.*

Kľúčové slová: hmlová komora, kozmické žiarenie, elementárne častice, aktivity, kompetencie.

Úvod

Vyučovanie fyziky na Slovensku prechádza výraznou zmenou. Z viacerých problémov, ktoré je potrebné čím skôr riešiť sme sa v tomto príspevku zamerali na znižovanie záujmu žiakov o fyziku. Dôvodov je asi viac, súvisia najmä s hĺbkou jej myšlienok a pochopením jej obsahu.

Podľa školskej reformy v rokoch 1975 až 1985 mal každý žiak získať úplný a ucelený obraz základných pojmov a zákonov fyziky, čo viedlo k prehusteniu osnov a k memorovaniu. Druhou myšlienkou bola idea jednotnej školy, t.j. každý žiak sa má naučiť tú istú látku. Podobne to bolo aj v zahraničí. Avšak tam išiel vývoj rýchlejšie. Postupne sa presadil názor, že nestačí len mať poznatky, ale je potrebné ich vedieť použiť pri riešení praktických problémov. Dôležitejšie ako naučené poznatky sú schopnosti a zručnosti, ktoré žiaci získajú a budú ich vedieť používať aj v iných situáciách ako sú tie, pri ktorých sa ich naučili. Tieto schopnosti a zručnosti nazývame kompetencie. Kompetencie sa najlepšie rozvíjajú pomocou vhodných aktivít na vyučovaní. Viaceré moderné zahraničné učebnice kladú dôraz na aktivity študentov a sú podľa toho aj štrukturované. Skladajú sa z dvoch častí. Jednou sú učebné texty pre študenta, ktoré obsahujú aj pracovné listy k jednotlivým aktivitám. Druhou časťou je metodická príručka pre učiteľa s podrobnejšími informáciami a poznámkami o tom, ako usmerňovať samostatnú prácu študentov pri jednotlivých aktivitách. [1]

Vyučovanie fyziky zamerané na rozvoj kompetencií musí byť založené na aktivitách študentov. Pokiaľ je študent pasívnym prijímateľom poznatkov, jeho kompetencie sa nerozvinú. Dôležité je, aby výsledky, ktoré sa dosahujú pri vyučovaní fyziky boli potešujúce a adekvátne vynaloženému úsiliu a investovanému času. Vyučovanie zamerané na rozvoj kompetencií by mohlo vyzerat' nasledovne: (podľa [2])

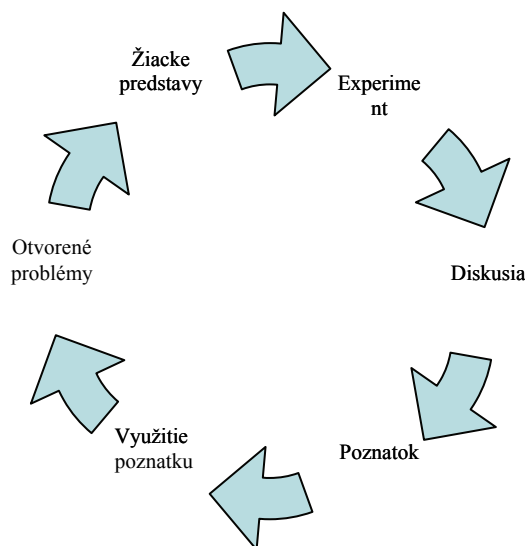


Diagram č.1: Postup pri vyučovaní.

Navrhovaný postup vyučovania teda zahŕňa:

1. Zistenie predstáv žiakov- sú rôzne formy, navrhujem začať novú tému brainstormingom s tým, že napíšeme len názov a píšeme otázky žiakov, na ktoré by chceli počas témy počuť odpoveď. Takto ich vtiahneme do danej témy, cítia sa jej spolutvorcovia.
2. Experiment- slúži ako motivácia (všetci žiaci majú radi experimenty) a zároveň poukazuje na praktickú tvár fyziky.
3. Diskusia o experimente- je dôležitá, tu sa formuje poznatok, tu môže učiteľ odovzdať to, čo kedysi odovzdával formou „chalk and talk“ (krieda a výklad). Hlboké porozumenie určitej konkrétnej fyzikálnej situácie, diskutovanie o problémoch, uvažovanie, odôvodňovanie a argumentovanie, toto všetko je veľmi užitočné.
4. Poznatok- dôležité je urobiť uzáver, ktorý má učiteľ mať jasný ešte pred hodinou.
5. Využitie poznatku- žiakov zaujíma, načo im bude to čo sa naučili, tu sa to dozvedia.
6. Otvorené problémy- sú to problémy z praxe, ktoré nemajú riešenie viditeľné na prvý pohľad.

Predkladaný príspevok sa môže uplatniť pri vyučovaní atómovej a jadrovej fyziky. Táto oblasť fyziky je náročná a dosť teoretická, na druhej strane dôležitá, nakoľko je východiskom celej modernej fyziky. Jednou z možností ako odstrániť prílišnú teoretickosť a náročnosť tejto oblasti fyziky je zaradenie vhodných aktivít do vyučovania. Aktivita s využitím hmlovej komory môže zvýšiť názornosť fyzikálnych javov, prispieť k zvýšeniu záujmu žiakov o fyziku, motivovať ich k zvýšenej aktivite a prispieť k rozvoju ich kompetencií.

Niečo o hmlových komorách

Hmlová komora je jedným z prvých detektorov. V čase svojho vzniku bola vlastne jediným detektorom pre vedcov, ktorí sa pokúšali objaviť záhady mikrosveta. Má podiel na objavení pozitronu, prvej objavenej antičastice. Existujú dva typy hmlových komôr: Willsonova hmlová komora, zostrojená v roku 1911 C.T.R. Willsonom a difúzna komora, zostrojená v roku 1936 A. Langsdorfom. Tento druhý typ

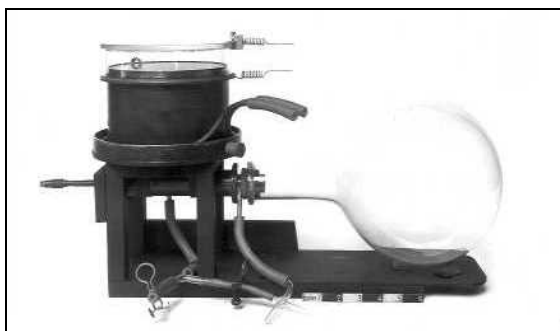
používame aj v našom experimente. V súčasnosti existuje mnoho iných, presnejších detektorov, ale nemajú dve dôležité prednosti našej hmlovej komory: jednoduchá konštrukcia a možnosť na vlastné oči vidieť pohyb častice.



Obr.1: Hmlová komora „Gargamelle“ v CERNe [7]

Hmlová komora predstavuje hermeticky uzavretú nádobu, v ktorej je plyn zbavený prachových častíc a malé množstvo vyparujúcej sa kvapaliny (alkohol). Kvapalina sa vyparuje pokiaľ nevznikne rovnováha medzi kvapalinou a jej parami. Množstvo pár závisí od teploty. Väčšia teplota znamená viac pár. Tieto pary sa nazývajú nasýtené. Ak sa teplota systému prudko zníži, nasýtené pary sa stanú presýtenými. Ak je para presýtená, musí skondenzovať. Na to aby skondenzovala však potrebuje kondenzačné jadrá – napr. prachové častice. Avšak kondenzačnými jadrami sa môžu stať aj kladné ióny vznikajúce ionizáciou nabitej častice letiacej komorou. Na týchto kladných iónoch vznikajú bublinky pozdĺž dráhy preletu častice. Súčasťou komory je nejaké okno, cez ktoré sa dajú pozorovať a fotografovať dráhy častíc. Ako dosiahnuť presýtenie? Pomocou expanznej (Willsonovej) komory alebo difúznej hmlovej komory.

Expanzné (Willsonove) komory: Zníženie teploty sa dosahuje pomocou adiabatickej expanzie. Pri expanzii plyn koná prácu na úkor svojej vnútornej energie a jeho teplota teda musí klesnúť. Z nasýtených pár sa na istý čas stanú presýtené – za tento čas môžeme registrovať stopy častíc. Tento krátky čas nazývame „senzitívny čas komory“, je to približne jedna sekunda.



Obr.2: Willsonova hmlová komora. [8]

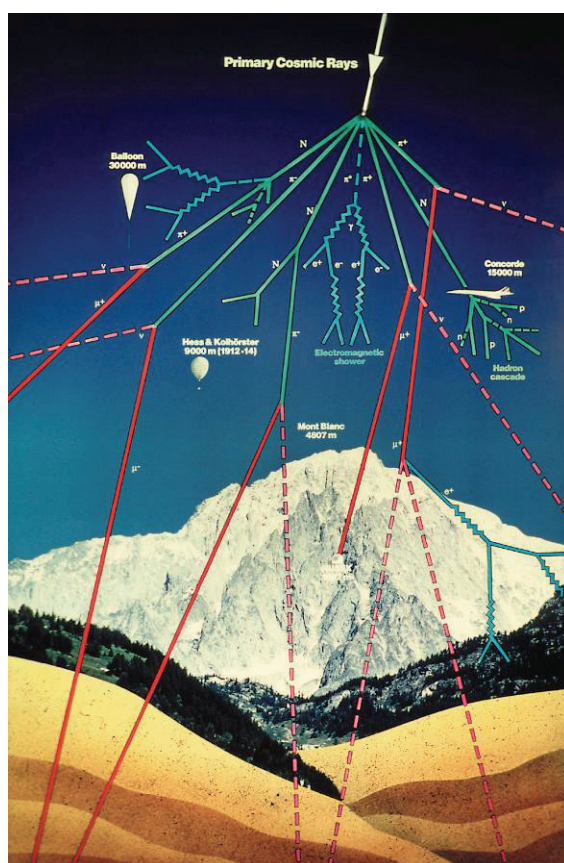
Difúzne hmlové komory: Stav presýtenia sa dosahuje rozdielom teploty medzi hornou a dolnou časťou komory, teplotným gradientom. V hornej časti komory je plst nasiaknutá alkoholom. Pod jej povrchom sa vytvoria nasýtené pary. Tieto difundujú k dolnej kovovej platni, ktorá sa ochladzuje. Na nej sa zrážajú a kondenzujú. V časti

priestoru nad kovovou platňou sa pary stávajú presýtenými. Tu vznikajú podmienky, kde sa na iónoch vznikajúcich pri prechode ionizujúcej častice plynom môžu vytvárať kvapôčky. Takto pripravená hmlová komora funguje nepretržite približne hodinu. Nevýhodou je, že iba v malej časti komory je vidno preletujúce častice. [3]

Hmlové komory možno umiestniť do magnetického poľa, ktorého vektor indukcie je kolmý na rovinu, v ktorej pozorujeme alebo fotografujeme stopy častíc. Dráhy častíc sú zakrivené a zmeranie polomeru krivosti umožňuje stanoviť náboj a hybnosť častice.

Niečo o kozmickom žiarení

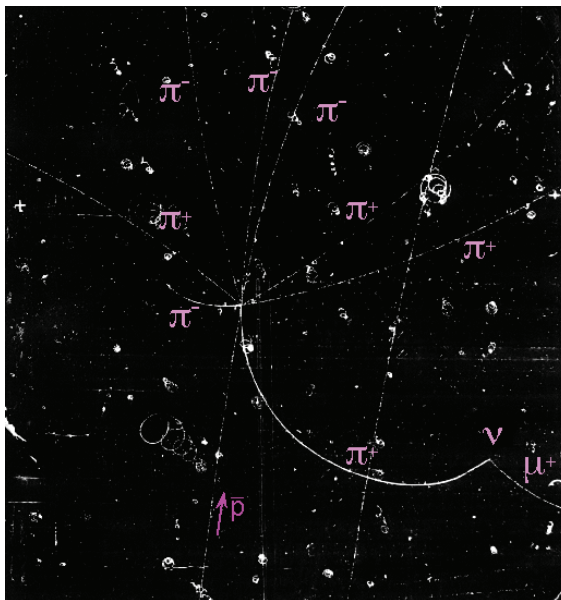
Kozmické žiarenie je tok energetických častíc, dopadajúcich z kozmu na Zem. Štúdium kozmického žiarenia zohralo veľkú úlohu pri vzniku fyziky elementárnych častíc. V 30-tych až 50-tych rokoch boli objavené prvé netradičné elementárne častice ako pozitron, mión, mezón π . Častice kozmického žiarenia dosahujú vysokých energií, až 10^{20} eV, ale len s malou početnosťou. Pre porovnanie, súčasný najväčší urýchľovač na svete LHC dokáže skúmať interakcie prebiehajúce pri energiách rádovo „len“ 10^{13} eV. V tejto oblasti je však hustota toku kozmického žiarenia len približne 10^{-3} č.m⁻².s⁻¹, v LHC je to až 10^{30} č.m⁻².s⁻¹. Kozmické žiarenie, ktoré pozorujeme za hranicami zemskej atmosféry sa nazýva primárna zložka kozmického žiarenia. Je tvorená najmä protónmi, alfa časticami, ľahkými jadrami s protónovým číslom $Z < 41$, fotónmi, elektrónmi, a malým množstvom pozitronov. [4]



Obr.3: Primárna a sekundárna zložka kozmického žiarenia [9]

Častice „primárneho kozmického žiarenia“, ktoré vstupujú do atmosféry Zeme sa zrážajú s atómami a ich jadrami. Pri interakciách sú z atómového obalu vyžiarené elektróny a z jadier nukleóny a ďalšie častice. Súbor týchto častíc nazývame „sekundárne kozmické žiarenie“. Pravdepodobnosť, že sa častica z primárnej zložky

kozmickeho žiarenia nezrazí so žiadnym jadrom a dopadne na povrch Zeme je veľmi malá, približne $1 \cdot 10^{-6}$. Pri zrážkach vznikajú nabité častice: fragmenty jadier, mezóny π^{\pm} , protóny, ale aj neutrálne častice napr. neutróny a mezóny π^0 . Všetky tieto častice sa ďalej rozpadajú, na úrovni mora väčšinu častíc tvoria mióny a miónové neutrína, ktoré vznikli rozpadom mezónov π^{\pm} podľa rovníc $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ a $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_{\mu}$ a majú strednú dobu života približne 10^{-6} s. [5]



Obr.4: Rozpad piónu. [10]

Ako sme zostrojili hmlovú komoru.

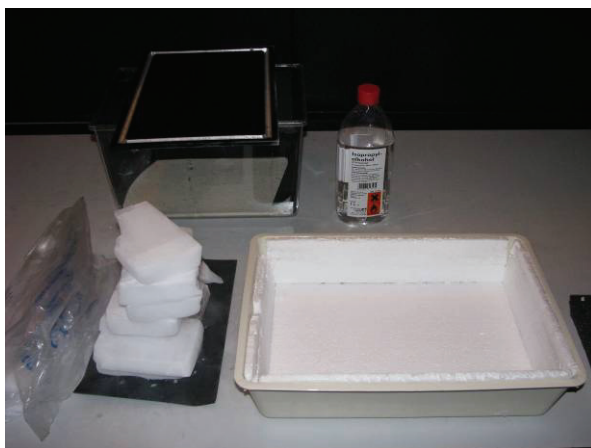
Pri zhotovovaní sme využili návod, ktorý pochádza zo sústredenia učiteľov v CERNe a nachádza sa aj na dvd z tohoto pracovného workshopu. [6]

1. Najprv pripravíme vrchnák hmlovej komory. Použili sme plastové akvárium s rozmermi 30x17x18cm.
2. Na dno akvária, z vnútornej strany, prilepíme plst', do ktorej na začiatku experimentu nalejeme alkohol, 99,5 % isopropyl, objednali sme ho cez internet na www.gsm-shop.sk.
3. Kovovú platňu dáme vyrezať z duralu, tvrdeného hliníka, s rozmermi o 1 cm väčšími ako rozmery akvária (hrúbka aspoň 5 mm).
4. Do platne vyfrézujeme drážku, do ktorej sa vloží akvárium hore dnom. Týmto je hlavná časť hmlovej komory pripravená.
5. Nájdeme sme vhodnú nádobu, ktorú sme vystelieme polystyrénom a do nej sa vložíme suchý ľad a prikrajeme kovovou platňou. Je dôležité zabezpečiť dobrý kontakt medzi suchým ľadom a kovovou platňou, aby bolo chladenie účinné. Suchý ľad sme objednali vo firme Messer v Šali.
6. Hmlovú komoru vhodne nasvietime pomocou „labutích krkov“ od firmy KVANT, spol. s r.o. Osvetlíme najmä spodnú časť hmlovej komory, tu budeme pozorovať najviac elementárnych častíc.

Príprava hmlovej komory

1. Do pripravenej hmlovej komory nalejeme izopropyl na plst' i do drážky na kovovej platni. Z plste sa bude alkohol vyparovať do hmlovej komory, v drážke slúži na utesnenie pred prípadným prienikom vzduchu do hmlovej komory.

2. Umelohmotnú nádobu otočíme a položíme na kovovú platňu, tak aby kovová platňa tvorila dno. Steny nádoby zapadnú do drážok na kovovej platni.
3. Do nádoby pod kovovú drážku, ktorá je súčasťou hmlovej komory dáme suchý ľad. Pri premiestňovaní ľadu používame ochranné rukavice. Teplota ľadu je mínus 57°C. Je dôležité, aby bol zabezpečený dobrý kontakt medzi suchým ľadom a kovovou platňou.
4. Zdroj svetla umiestnite tesne pri kovovej platni, miesto detekcie častíc kozmického žiarenia je práve tu, kde sa alkoholové pary nachádzajú v prechladenom stave.
5. Bude trvať niekoľko minút, kým bude možné sledovať prvé dráhy častíc. Vyzerajú ako pavúčie vlákna a ťahajú sa pozdĺž dna komory. Uvidíme ich približne po 10 minútach od prípravy hmlovej komory na meranie.



Obr.5: Zostrojenie hmlovej komory.

Výsledky merania

Atómová a jadrová fyzika je zložitá pre študenta, jednak v pochopení a jednak preto, že na školách je málo pomôcok, ktorými by sme demonštrovali aspoň základné javy. Hmlová komora je vhodným prostriedkom, aby študent efektným spôsobom pochopil, že okolo nás je kozmické žiarenie. Pritom si uvedomí, že aj pomocou jednoduchých pomôcok môžeme zviditeľniť dráhy elementárnych častíc, teda prakticky dokázať teoretické poznatky.

Hmlovú komoru sme použili viackrát, vždy s veľkým úspechom. Najprv na vedeckom seminári 3.10.2008 na FMFI UK v Bratislave. Pozorovali sme kozmické a rádioaktívne žiarenie. Niektorí účastníci považovali toto pozorovanie za lepšie ako to, s ktorým sa stretli v CERNe. Neskôr sme hmlovú komoru použili pri vyučovaní na strednej škole Novohradská u žiakov 2. ročníka gymnázia. Naposledy, 29.4.2009, sa na pozorovanie kozmického žiarenia prišli pozrieť žiaci tercie z fyzikálneho krúžku na osemročnom gymnáziu Bajkalská v Bratislave, pre ktorých sme vypracovali zjednodušenú verziu pracovného listu. Týchto žiakov pozorovanie kozmického žiarenia v hmlovej komore veľmi zaujalo a viedlo k mnohým otázkam. Metodický list pre učiteľa a pracovný list pre žiaka sú uvedené v elektronickej verzii zborníka. Nájdete tu aj elektronický záznam z pozorovania kozmického a rádioaktívneho žiarenia v podobe krátkeho videa.

Záver

Myslím, že uvedená učebná pomôcka „hmlová komora“ a s ňou spojená aktivita má svoje miesto vo vyučovaní fyziky. Jednoduchým spôsobom zviditeľňuje neviditeľné dráhy elementárnych častíc kozmického alebo rádioaktívneho žiarenia. V ďalšom

výskume by sa dalo uvažovať o chladení hmlovej komory pomocou Peltierových článkov, a meranie rozšíriť o aktivitu s pôsobením magnetického poľa na zakrivenie dráhy letiacej častice, čo by mohlo viesť k vypočítaniu hmotnosti a hybnosti nabitých častíc.

PodĎakovanie

Ďakujem Mgr. Miroslavovi Šedivému za pomoc s prípravou videa, prof. Pišúťovi za odborné rady a recenziu článku a frime KVANT, spol. s r.o. za zapožičanie osvetľujúceho zariadenia.

Literatúra

- [1] PIŠŮT, J. 2007. *Zmeny fyzikálneho vzdelávania- dôvody a cesty*. In: Zelenický, Ľ.: Zborník z konferencie DidFyz v Račkovej doline 2006. Nitra: 2007.
- [2] BANÍK, R. 2008. *Fyzika, veda experimentálna a exaktná v kontexte prírodovednej a technologickej gramotnosti*. In: Krupa, D.: Zborník z konferencie Tvorivý učiteľ fyziky v Smoleniciach 2008.
- [3] HLINKA, V. *Experimentálne metódy jadrovej fyziky I. semester*, skriptum
- [4] USAČEV, S. a kol. 1982. *Experimentálna jadrová fyzika*. Bratislava: SNTL, 1982. 544 s.
- [5] ÚLEHLA, I. a kol. 1990. *Atomy, jadra, častice*. Praha: Academia, 1990. 500 s.
- [6] JESKOVA, Z. 2008. *DVD Slovak Teachers programme CERN*. Košice, 2008. DVD 1.
- [7] obrázok hmlovej komory „Gargamelle“ v CERNe, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gargamelle.jpg>
- [8] obrázok Willsonovej komory, <http://www.life.com/image/3305379>
- [9] obrázok kozmického žiarenia, <http://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/FP/anleitungen/F13/jpg/cosmics.jpg>
- [10] obrázok rozpadu piónu, web.tuke.sk/feikf/castice/decay/bubble.gif

Adresa autora

Mgr. Vladimír Plášek

Katedra základov didaktiky fyziky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského

FMFI UK, Mlynská dolina, 842 48, Bratislava

9plaso@gmail.com