

A DIFFÚZIÓS KÖDKAMRA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A KÖZÉPISKOLAI MAGFIZIKA OKTATÁSBAN

USING DIFFUSION CLOUD CHAMBER IN THE TEACHING OF NUCLEAR PHYSICS AT SECONDARY SCHOOLS

Gyórfi Tamás

Eötvös József Főiskola, Műszaki és Gazdálkodási fakultás

ÖSSZEFOGLALÁS

A radioaktivitás törvényszerűségeit az atommagfizika kutatja, magyarázza, alkalmazza. A középiskolai atommagfizika oktatásban viszonylag kevés a kísérletezési lehetőség és a demonstrációs eszköz. Az előadásomban a PHYWE gyártmányú diffúziós ködkamra középiskolai oktatásban történő alkalmazásának néhány egyszerű példáját kívánom ismertetni. Ezen módszerek alkalmazása során számos lehetőség nyílik a tanulók gondolkodásának fejlesztésére, a magfizika iránti érdeklődésük növelésére.

ABSTRACT

The laws of radioactivity is investigated, explained and applied by nuclear physics. In the teaching of nuclear physics at secondary schools there is relatively little chance of experimentation and also the number demonstrational tools are few.

In my presentation I would like to show some simple examples of the usage of PHYWE made diffusion cloud chamber in secondary education. With the application of these methods numerous opportunities will be present for the expansion of the students' thinking and enhancing their interest towards nuclear physics.

KULCSSZAVAK

diffúziós ködkamra, atommagfizika, radioaktivitás
diffusion cloud chamber, nuclear physics, radioactivity

BEVEZETÉS

A radioaktivitás és az ennek kapcsán fellépő ionizáló sugárzások a természet részét képezik. Az ionizáló sugárzások az ember számára nem érzékelhetők, egyetlen érzékszervünkkel sem szerezhetünk közvetlen benyomást róluk, viszont nagyon jól és pontosan mérhetők. A sugárzásokat detektáló berendezéseknek számos típusa ismeretes. A diffúziós ködkamra segítségével mindenki a saját szemével győződhet meg arról, hogy a sugárzások jelen vannak a környezetünkben.

A radioaktivitás törvényszerűségeit az atommagfizika kutatja, magyarázza, alkalmazza. A középiskolai atommagfizika oktatásban viszonylag kevés a kísérletezési lehetőség és a demonstrációs eszköz. Kísérletek nélkül, főként az atommagfizikának, megmarad a félreérthető, kevéssé megfogható és ezért misztikus jellege. Az alábbiakban a PHYWE gyártmányú diffúziós ködkamra oktatásban történő alkalmazásának néhány egyszerű példáját

kívánom ismertetni. Ezen módszerek alkalmazása során számos lehetőség nyílik a tanulók gondolkodásának fejlesztésére, a magfizika iránti érdeklődésük növelésére.

A DIFFÚZIÓS KÖDKAMRA FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE

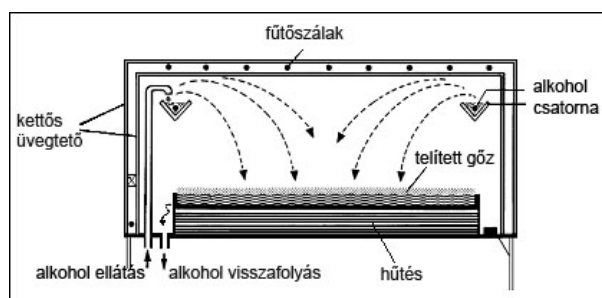
A ködkamra működési elve régóta ismert és egyszerű [1] [2]. Az elektromosan töltött részecskék az anyaggal való kölcsönhatásuk során a pályájuk mentén töltéspárokat (ionpárokat) hoznak létre, azaz ionizálnak. Ha ez a folyamat megfelelő közegben – jelen esetben a ködben, azaz egy stabilizált kolloid rendszerben – történik, az ionok kondenzációs magként szolgálnak és jól látható nyomokat hagynak.

A PHYWE gyártmányú diffúziós ködkamrát (1. ábra) a Göttingeni Egyetemen fejlesztették ki demonstrációs célokra [5], Magyarországon a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizika Tanszéke és a Paksi Atomerőmű Látogató Központja, valamint Budapesten a Csodák Palotája rendelkezik ilyen nagyfelületű detektorral, amely képes folyamatosan megjeleníteni a háttérsugárzás és a különféle radioaktív sugárzások nyomait.



1. ábra. A diffúziós ködkamra

A ködkamra alsó részén egy fekete fémlemez ($45 \times 45 \text{ cm}^2$ -effektív megfigyelési terület) található, melyet egy hűtőgép -30°C -ra hűt le. A felső rész dupla üvegtetőből áll, melyek között fűtőszálak helyezkednek el. Ezek funkciója kettős: melegítik a ködkamra felső területét, megakadályozva a lecsapódást, valamint nagyfeszültség alatt vannak, hogy elektromos mezőt hozzanak létre, ami az ionok kivonását eredményezi. A belső üvegbúra oldala mentén helyezkedik el az elektromosan melegített alkohol csatorna. Isopropyl-alkohol kering a csövekben, ami belecsepeg a csatornába. A fűtőszálak melegítő hatására az alkohol párologni kezd, majd szétterjed a felső (melegebb) rész felől az alsó (hidegebb) rész felé. Az alkoholgőz apró cseppek formájában lecsapódik, majd a cseppfolyós alkohol felett kialakul egy túltelített réteg. Magasságát egy alfa-forrás segítségével állapítottuk meg. Ez a kísérletek szerint kb. 1 cm. A működési elvet a 2. ábra mutatja [5].

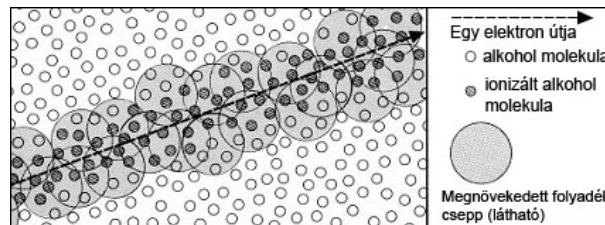


2. ábra. A diffúziós ködkamra keresztmetszete és működési elve

A túltelített rétegbe kerülő részecskék ionokat keltenek, melyek elősegítik a ködkiválást. A látható méretre növekvő ködcseppek képződését a túltelítettségi fok határozza meg. A

sugárzás „ködfonalszerű” nyomot hagy a ködkamrában. Ez hasonló ahhoz a jelenséghez, amikor egy repülő olyan nagy magasságban halad, hogy már nem látjuk, csak az általa húzott kondenzcsíkot vesszük észre.

A sugárzást kibocsátó részecskék nagyon kis méretűek, még a legjobb mikroszkóp alatt sem látszanak. Egy trillió ($1 \cdot 10^{12}$) protont egymás mellé sorakoztatva is csak egy 2 mm hosszú vonalat kapnánk. A diffúziós ködkamrában láthatóvá válik a részecskék pályája a 3. ábra szerint [5], információt szolgáltatva a típusáról és az energiájáról.



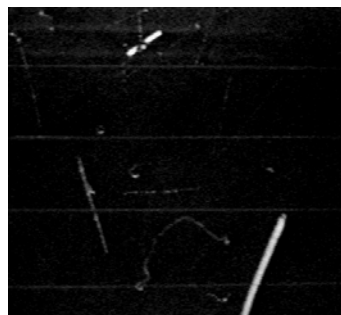
3. ábra. "Ködfonalak" kialakulása a ködkamrában

A belső térben kialakuló hőmérséklet eloszlást nehezen lehet vizsgálni, mert a ködkamra bemeneti nyílása kicsi, 20 mm. A hőmérsékletet egy vas-konstantán termoelempárral határoztam meg, melyet egy pálca segítségével helyeztem el különböző magasságokban. (A mérési eredmények, az említett okok miatt csak közelítő pontosságúak voltak.) Az egyértelműen látszik, hogy a geometria kialakítása és a fűtőszálak elhelyezkedése miatt nagy a hőmérséklet-gradiens az alsó 2-3 cm-es magasságban.

AZ ÁLTALAM VÉGZETT MEGFIGYELÉSEK, KÍSÉRLETEK

A háttérsugárzás nyomai a ködkamrában

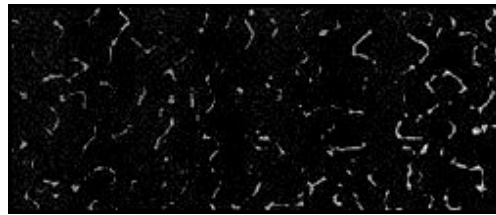
A légkör felső határát érő sugárzás 85,9%-a protonokból, 12,7%-a alfa-részecskékből és 1,4%-a nehéz atommagokból áll. A primer sugárzás jelentős része a levegő felső 100 g/cm^2 -es rétegében lévő atommagokkal lép kölcsönhatásba, töltött és semleges pionokat, nehéz mezonokat, barionokat és visszalökött magokat keltve. A semleges π -mezonok $8,4 \cdot 10^{-17}$ s-os élettidejével két gamma-fotonná bomlanak. A fotonok elektron-pozitron párokat, majd ezek újabb fotonokat keltenek, és az így létrejött lavina képezi a földfelszínen észlelhető sugárzás lágy komponensét [1] [3] [4]. A tengerszint magasságában észlelhető sugárzás főleg a primer sugárzás által kiváltott másodlagos részecskékből áll. Ez a „lágy” komponens elektronokból, pozitronokból és gamma-fotonokból tevődik össze. A „kemény” komponens főként müonok ($2,2 \cdot 10^{-6}$ s) alkotják, kisebb mértékben pionok és nukleonok. [4] A diffúziós ködkamrában láthatóvá válik a részecskék hatalmas sokasága. Mialatt ezt a pár soros szöveget elolvassuk, testünkön több tízezer töltéssel rendelkező részecske, és hárommilliónál is több neutrínó halad át. Az érzékeny térfogaton áthaladó, elektromosan töltött részecskék hagynak nyomot.



4. ábra. Háttérsugárzás nyomai a ködkamrában saját megfigyeléseim szerint

A háttérsugárzásban megjelenő rövidebb, vastagabb nyomvonalak az alfa-részecskék pályáját mutatják. A nyomok statisztikailag széteszlanak, ezért nem lehet előre megmondani, hogy hol és mikor fog megjelenni a következő nyom. Az úthosszuk levegőben kb. 5 cm és ez alkoholgőzben sem hosszabb. Az alfa-részecskéket egy vékony papírlap már elnyeli. Hogyan érik el mégis a ködkamra belsejét? Ezek a részecskék radioaktív bomlások során a ködkamra belsejében keletkeznek.

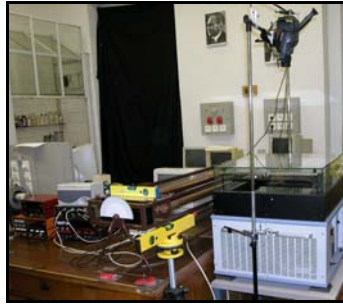
A vékony, hosszú röppályák gyors elektronokra utalnak. A lassú elektronoknak kisebb az energiájuk, pályájuk rövidebb és zeg-zugos az ütközések és az irányváltoztatások miatt. Ezt mutatja az 5. ábra [5]. Az elektronok a kamra térfogatában végbemenő béta-bomlásból származnak (radon és leányelemei) vagy kívülről bevitt forrásból. A müonok valamivel vastagabb, hosszú egyenes nyomot hagynak és pályájuk a kamrán kívül is folytatódik.



5. ábra. Kis energiájú elektronok nyomai

A fotonok úgy hozhatnak létre nyomokat, hogy pl. „kiütnek” egy elektront az atomból (fotoeffektus, Compton-szórás [3]). Ezek ismét zeg-zugos nyomot hagynak a korábban említettek folytán. Mivel a gamma-sugárzás alig gyengül a kb. 1 cm vastag üvegen vagy a kamra 1-2 mm-es fémdobozán történő áthaladás során, viszont a béta- és alfa-részecskék elnyelődnek azokban, a fotonok könnyen azonosíthatók.

A ködkamrában megjelenő müonok azonosítására egy GM csövekből összeállított teleszkópot alkalmaztam, amit az érzékeny térfogattal párhuzamosan helyeztem el. A teleszkóp két darab, 890 mm hosszú, 40 mm átmérőjű GM-csőből áll. A nagyfeszültséget egy közös tápegységből kapják. Mindkét detektorhoz erősítő csatlakozik, jeleiket egy un. koincidenca kör bemenetére kapcsoltam. A koincidenca kör olyan elektronikus berendezés, amelynek ha a bemenetére ΔT időn belül impulzusokat adunk, akkor a kimenetén egy számlálásra alkalmas un. TTL jel jelenik meg (ezek a jelek általában pozitív, vagy negatív, néhány μs szélességű négyyszögjelek). A ΔT időintervallumot a koincidenca kör idő feloldásának nevezzük ($\Delta T \leq 10^{-6} s$). A koincidenca kör számát egy impulzusszámlálóval mértem. A koincidenca kör csak akkor ad jelet a kimenetén, ha az 1-es és a 2-es detektor ΔT időintervallumon belül jelez. Ez akkor következik be, ha a müon mindkét detektoron áthalad és kölcsönhatásba kerül mindkét detektor anyagával. A ködkamra fölött videokamerát helyeztem el, a képeket folyamatosan rögzítettem és egy monitoron keresztül vizsgáltam a koincidencaakkal egy időben megjelenő nyomokat, amelyek így a detektorok és a ködkamra által meghatározott vízszintes síkban érkező müonoktól származnak. Az eddigi mérések során még nem lehetett egyértelműen megállapítani, hogy a koincidencaival egy időben megjelenő nyom a müontól származott. Ennek oka lehet a nagyon kevés eseményszám is, hiszen a vízszintes síkban a levegőréteg nagyobb vastagsága miatt kevés müon várható. Az általam használt kísérleti elrendezést a 6. ábra mutatja.



6. ábra. Mérési összeállítás a müonok megfigyelésére

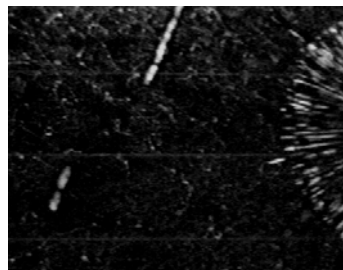
Mesterséges radioaktív források nyomai a ködkamrában

Radongázt juttatva a ködkamrába jól megfigyelhetők az alfa-részecskék nyomai. Ezt a kísérletet a 7. ábrán mutatom be. (A helyiség radonszintjét egy radonmérővel –PRASSI: Portable Radon gas Surveyor– folyamatosan ellenőriztem.)



7. ábra. Radongáz bomlásának nyomai

Tórium (B+C) forrást egy pálca segítségével helyeztem el a ködkamra érzékeny térfogatában, és a kilépő alfa-részecskék nyomait fényképeztem. Eredménye a 8. ábrán látható.



8. ábra. Tórium (B+C) forrásból kilépő alfa-részecskék nyomai

Magreakciókat egy PuBe-forrás neutronjaival hoztam létre. A neutronok közvetve keltenek nyomokat: az atommaggal való ütközés során a magból kilépő töltött részecskék nyomai jelennek meg. A neutronforrást a ködkamra oldalánál helyeztem el és az így kapott nyomokról készítettem felvételeket. A kamra gázában (alkohogőz+levegő) lévő hidrogén atommag (proton) meglökődik, ezek hosszú egyenes pályája jól látható a felvételeken (rugalmas szórás).

NYOMOK KIÉRTÉKELÉSE

A nyomvonalak hosszúsága függ a részecskék energiájától és irányától. A vastagságából a részecskék ionizációs képességre lehet következtetni. Amikor pl. a részecskék függőlegesen hatolnak a túltelített alkohol rétegbe, akkor csak egy pontot látunk. A ferdén érkező részecskéknek csak a vetületét látjuk. Maximális hosszúságú nyomokat a ködkamra síkjával

párhuzamosan érkező részecskék hagynak. Szabad szemmel történő megfigyelés alapján nehéz eldönteni, hogy miért rövidebb az adott nyom: kisebb energiájú részecske az érzékeny térfogatban ment végig, vagy egy nagyenergiájú ferdén haladt át. A hosszúságot egy saját fejlesztésű képkiértékelő program segítségével határoztam meg.

A különféle nyomkialakulásokról videofelvételeket készítettem, amelyeket digitalizáltam és a képeket egyenként értékeltem ki. Alfa- és béta-bomlást, gamma-fotonok keltette elektronokat (pl. Compton-szórás, fotoeffektust), magreakciókat, szóródó részecskék nyomait, „V” alakú nyomkialakulást lehet vizsgálni a ködkamrában. A felvételeket demonstrációs célokra lehet felhasználni (a képek felkerülnek az internetre), a mesterséges forrásokkal végzett kísérletekből pedig részecskeeloszlásokat és energiát lehet majd meghatározni. A későbbiek során, tervezem még a neutron indukált reakciók további megfigyelését, a Rutherford-szórás, elektronok mágneses térrel való eltérítésének vizsgálatát. A kiértékelésekhez útmutatót készítek, ami alapján az adatfeldolgozást a diákok is elvégezhetik, önállóan vagy órai keretek között.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Kiss Dezső, Kajcsos Zsolt: Nukleáris technika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1984.
2. Raics Péter: Atommag- és részecskefizika, Jegyzet, DE Kísérleti Fizikai Tanszék, 2002.
3. Fényes Tibor: Atommagfizika, Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2006.
4. Jánossy Lajos: A kozmikus sugárzás, Művelt Nép Könyvkiadó, Budapest, 1954.
5. Phywe series of publications: Visualisation of radioactive particles / Diffusion cloud chamber (Laboratory Experiments • Physics • PHYWE SYSTEME GMBH • Göttingen, Germany)

SZERZŐ

Gyórfi Tamás, főiskolai adjunktus, Matematika és informatika csoport, gyorfi.tamas@ejf.hu