

Radioaktív sugárzások webkamerafelvételeinek elemi alapokon nyugvó képfeldolgozása

GYÖRFFI TAMÁS - GÁLAI ANTAL

Bevezetés

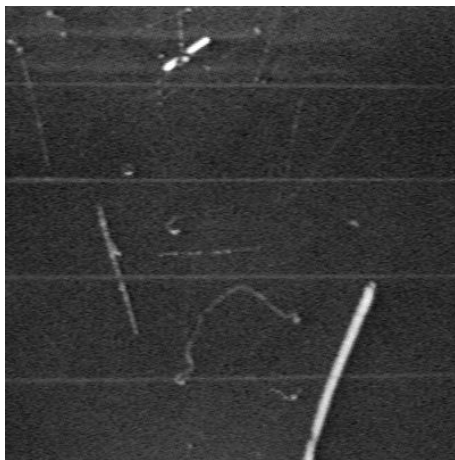
Az informatika fejlődése már több évtizede megteremtette az (álló és mozgó) képi információk rögzítését, tárolását, ezzel lehetővé vált a rögzített jelenségek numerikus kiértékelése. Az audiovizuális eszközök tömeges megjelenése és hálózatra szerveződése pedig mindenki számára elérhetővé tette az adatokat. Az oktatásban bekapcsolódó fiatalok kipróbálhatják magukat a képfeldolgozás világában. A mozgókép-anyag számos feladatnál jó néhány, a feldolgozást egyszerűsítő tulajdonsággal bír, vagyis a képfeldolgozást több nyilvánvaló tényező könnyíti. Az elvek a legtöbb tanuló számára érthető formában is vázolhatók, néhány kiragadható példa megkönnyíti a struktúra felismerését és követését. Az ilyen feladatok megoldását segítő elveket minimál-algoritmusként neveztük.

Az algoritmikus példák egyike a zajló jeget figyelő folyami webkamerák felvételeinek kiértékelése. Segítségével a jégborítottság becslése, a jégtáblák alak-felismerése is lehetséges, ezáltal a kapott elfordulások és elmozdulások értékeiből áramlástan vizsgálat is végezhető [1]. Az alak-felismerési feladat egyszerű geometriai jellemzők számításával, becslésével végezhető, ez egy további példaként használható minimál-algoritmus.

Az általunk ismertetett feladat előzetes tudást nem igénylő „minimál-algoritmus” azon alapul, hogy a mozgóképkockák jó közelítéssel egyenes szakaszokat mutatnak (1. ábra), melyek összefüggő pixelei egyrészt leszámolhatók, másrészt koordinátáik szélsőértékeivel jellemezhető álló téglalap átlóját képezik. A pixelek száma a vonaldarab „területét”, az átló hosszával osztva pedig a vastagság értékét adja. Ezt az egyszerű számítási elvet alkalmaztuk a diffúziós ködkamra webkamerafelvételeinek kiértékelésekor. Ehhez olyan képfeldolgozó mintaalkalmazást fejlesztettünk ki, amelynek segítségével a minimálalgoritmus bemutatásán túl lehetőség nyílik a radioaktív sugárzások jellemzőinek a meghatározására is.

A diffúziós ködkamra felépítése és működése

A radioaktivitás és az ennek kapcsán fellépő sugárzások a természet részét képezik. Az élet kialakulását, az emberi egyedfejlődést végigkísérte a sugárzások jelenléte. Az ionizáló sugárzások azonban ember számára nem érzékelhetők, egyetlen érzékszervünkkel sem szerezhetünk közvetlen tapasztalatot róluk, sem látható fény, sem érzékelhető hő nem keletkezik, viszont nagyon jól és pontosan mérhetők. A detektáló berendezéseknek számos típusa ismeretes. A ködkamra volt az első olyan eszköz, amellyel a részecskék pályája valós időben megjeleníthetővé vált. Az általunk használt PHYWE gyártmányú [2] diffúziós ködkamra segítségével mindenki saját szemével győződhet meg arról, hogy az ionizáló sugárzások jelen vannak a környezetünkben. Az 1. ábrán látható felvétel a háttérsugárzásról készült.



1. ábra. Háttérsugárzás nyomai diffúziós ködkamrában

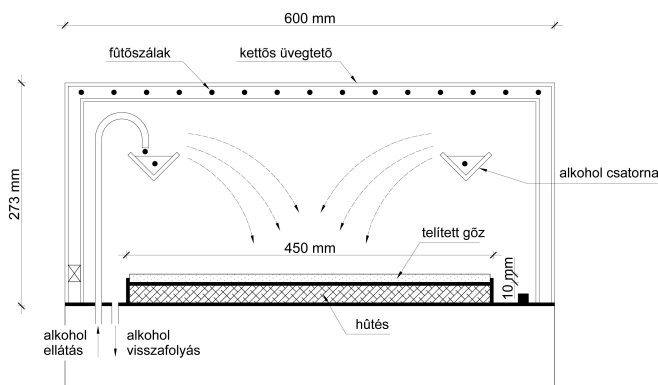
A ködkamrák működési elve azon alapul, hogy az elektromosan töltött részecskék anyaggal való kölcsönhatásuk során pályájuk mentén töltéspárokat (ionpárokat) hoznak létre, azaz ionizálnak. Ha ez a folyamat megfelelő közegben – jelen esetben a ködben, azaz egy stabilizált kolloid rendszerben – történik, akkor az ionok kondenzációs magként szolgálnak és jól látható nyomokat hagynak.

A felvételek során alkalmazott diffúziós ködkamrát (2. ábra) a Göttingeni Egyetemen demonstrációs célokra fejlesztették ki. Magyarországon a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizika Tanszéke, a Paksi Atomerőmű Tájékoztató és Látogató Központja, valamint a budapesti Csodák Palotája és a Miskolci Egyetem rendelkezik ilyen nagyfelületű detektorral, amely képes folyamatosan megjeleníteni a háttérsugárzás és más, különféle radioaktív sugárzások nyomait.



2. ábra. A diffúziós ködkamra

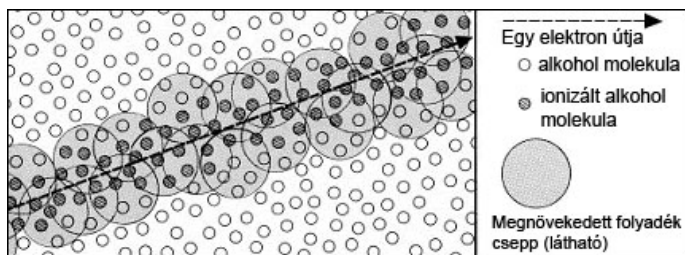
A ködkamra alsó részén (3. ábra) egy $45 \times 45 \text{ cm}^2$ -effektív megfigyelési területű fekete fémlemez található, melyet egy hűtőgép -30°C -ra hűt le. A felső rész dupla üvegtetőből áll, melyek között fűtőszálak helyezkednek el. Ezek funkciója kettős: egyrészt melegítik a ködkamra felső területét, ezzel megakadályozzák a lecsapódást, másrészt nagyfeszültségű elektromos mezőt hoznak létre, ami az ionok kivonását eredményezi. A belső üvegbúra oldala mentén helyezkedik el egy elektromosan melegített alkohol csatorna. Itt 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 csapódik le, majd a cseppfolyós alkohol felett kialakul egy kb. 1cm magasságú túltelített réteg.



3. ábra. A diffúziós ködkamra keresztmetszete és működési elve

E túltelített rétegbe kerülő elemi részecskék ionokat keltenek, melyek elősegítik a ködkiválást. A szemmel látható méretre növekvő ködcseppek képződése a túltelí-

tettség mértékétől függ. Kozmikus-, háttér- és radioaktív sugárzások „ködfonalszerű” nyomokat hagynak a ködkamrában. Ez hasonló ahhoz a jelenséghez, amikor egy repülő olyan nagy magasságban halad, hogy már nem is látjuk, csak az általa húzott kondenzcsíkot vesszük észre. Azonban a ködkamrán áthaladó részecskék nagyon kis méretűek, még a legjobb mikroszkóp alatt sem látszanak. Egy trillió (10^{12}) protont egymás mellé sorakoztatva is csak egy 2 mm hosszú vonalat kapnánk. A diffúziós ködkamrában a részecskék pályája válik láthatóvá (4. ábra), információt szolgáltatva az egyes részecske típusáról és energiájáról.



4. ábra. „Ködfonalak” kialakulása a ködkamrában

Képfeldolgozás

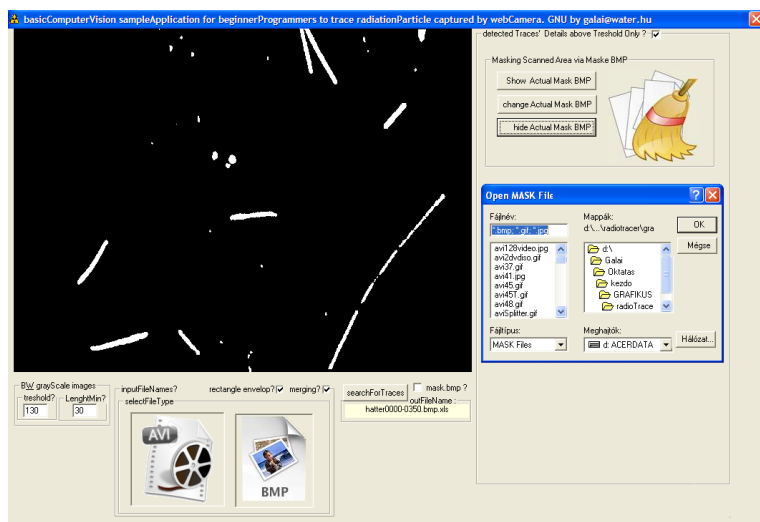
A vizsgált sugárzások nyomait egy, a ködkamra felett elhelyezett webkamera segítségével rögzítettük. A felvételek kiértékelését *Visual Basic* fejlesztői környezetben létrehozott képkértékelő-program segítségével végeztük.

Általában a képfeldolgozás az információ változatossága miatt rendkívül összetett, számszerű modellbe, formulákba nehezen kényszeríthető, ezért gyakran lehetetlen próbálkozás egységes feldolgozási elveket követni. A számítógépesített látás a mesterséges intelligencia s az informatika tudományának egyik legerőteljesebben fejlesztett és finanszírozott területe, annak minden katonai, politikai és polgári területén. A jelfogó-, rögzítő- és feldolgozó-berendezések elterjedését a kiértékelő alkalmazások nagyon lassan követik. Ennek oka a rendkívül sokrétű kiértékelési célhoz fejlesztendő alkalmazások hiánya és a kiértékelésben alkalmazott módszerek hétköznapi ember számára szinte követhetetlen bonyolultsága. Szerencsére felvételeink kiértékelését sok, a feldolgozást egyszerűsítő tulajdonság jellemzi.

A képfeldolgozó program (5. ábra) működése azon alapul, hogy a ködkamrában fehér (szürkés) színű részecskenyomok láthatóak fekete háttéren. A tömörített „avi” vagy „bmp” formátumban készített webkamerafelvételeken a pixelek színe alapján megkeressük a részecskenyomokat, megállapítjuk a nyom kezdő és végkoordinátáját, amelyből a hosszúság számolható. A keresés során, az RGB (Red Green Blue) 24 bites, alapszínenként egybájtos színbontású képek pixeleit az alapszínek 0-

tól 255-ig terjedő fényerejének átlagolásával szürkeskálásra konvertáltuk, majd egy változtatható küszöb szerint választottuk szét a fekete háttér előtti fehér fénypontokra. A részecskenyomot alkotó pixelek száma megadja az adott nyom területét, a terület és a hosszúság hányadosa pedig a részecskenyom vastagságát.

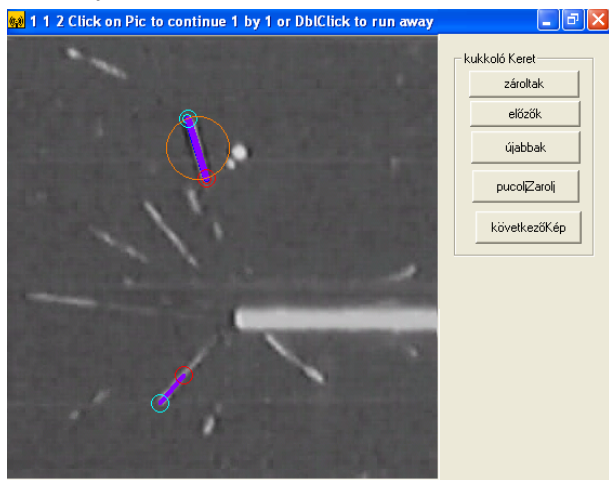
A fenti gondolatmenet részletesebben a következő: Két egymásba ágyazott ciklusban „letapogatjuk” a mozgókép, frame-nek nevezett állóképén a pixeleket. A vízszintes ciklus 0-tól képszélességig fut, egyesével balról-jobbra, míg a függőleges fentről lefelé 0-tól képmagasságig. Ha a pixel szürkére konvertált színe a küszöbértéknek beállított szürknél világosabb, vagyis nagyobb értékű, akkor megtaláltuk egy nyomvonal első pontját, a minimális és maximális vízszintes és függőleges értékként ezt a koordinátapárt egy-egy változóban beállítjuk a most megtalált első pont értékére, az egybefüggő terület összegzését is egyre állított számlálóval kezdjük, s egyben a pixel színét küszöb alatti szürkére váltjuk. (Ezzel biztosítjuk azt, hogy minden pixelt csak egyszer találjunk meg.) Majd minden megtalált, az előzővel szomszédos pontra elvégezzük ugyanazokat a lépéseket. Akár ciklusban, akár rekurzióval járjuk körbe az aktuális pontot középpontként magába foglaló 3×3 -as rács szélső 8 pontját, ha szürkésege a küszöbértéknél világosabb, akkor a területszámlálót eggyel növeljük, a koordinátát a vízszintes és függőleges minimum, maximumokkal összehasonlítjuk, majd ha kell, megjegyezzük, s a pixel színét küszöb alatti szürkére váltjuk. Ha elfogytak a pontok, mert már nem maradt olyan szomszéd, melyre továbblépünk, akkor a nyomvonal végére értünk, s a koordináta minimum-maximum értékeivel jellemzett befoglaló téglalap átlóhossza Pitagorasz-tétellel számítandó.



5. ábra. Képfeldolgozó program kezelőfelülete

A vizsgálni kívánt részecskenyomok minimális hosszúsága ($LenghtMin$) és halvány-sága ($threshold$) is beállítható. A fényerőküszöb változtatásával a vizsgálat érzékenysége szabályozható. A kapott adatok (részecskenyom kezdő- és végkoordinátája, hosszúsága, területe, vastagsága) egy Excel táblázatba kerülnek.

Mivel egy-egy részecskenyom több frame-en keresztül is látható ezért a kiértékelés (6. ábra) következő lépésében megkeressük az adott nyomvonal egymás utáni képei közül a legnagyobb hosszúságút és ennek jellemzőit külön mentjük. Problémát okoz, hogy a képeken egyidejűleg több részecskenyom (szakasz) található. A több képen látható szakaszok adatai közti párosítást aszerint végeztük, hogy az egymást követő pillanatfelvételek befoglaló téglalapjai egymásba ágyazottak és kis eltéréssel közös az átlójuk is.



6. ábra. Maximális hossz kiválasztása több képen látható részecskenyomok adatai közti párosításával

Maximális hosszúságú nyomokat a ködkamra síkjával párhuzamosan érkező részecskék hagynak. A ferdén érkezőknek csak a vetülete látható. Amikor pl. a részecskék függőlegesen hatolnak a túltelített alkoholrétegbe, akkor csak egy pontot látunk. Szabad szemmel történő megfigyelés alapján nehéz eldönteni, hogy miért rövidebb az adott nyom: kisebb energiájú részecske az érzékeny térfogatban ment végig, vagy egy nagyenergiájú haladt át ferdén. A *Bragg*-görbének megfelelően kiszélesedő nyom segít ennek eldöntésében [3] [4].

A nagy nyomsűrűség miatt, sok esetben, a nyomok kiértékelése egyesével nehezen végezhető el. Ezért az ilyen felvételeken a részecskenyomok területének az idő függvényében való változását vizsgáltuk. A képfeldolgozó programot úgy fejlesztettük tovább, hogy a vizsgálni kívánt részt ki kell jelölni az adott felvételen (7. ábra). Ezt követően előállítjuk a kijelölt képernyőrészen belül található részecskenyomok

területösszegének táblázatát.



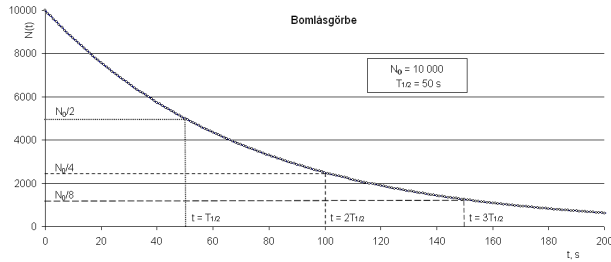
7. ábra. A kijelölt részen belül található részecskenyomok területének számítása

A hosszúság méréséből a részecskék energiája meghatározható ismert összetételű közegben. Energiaeloszlás, hatótávolság-energiafüggés számolható az adatokból. E mintafeladatban a képfeldolgozó program segítségével meghatározott adatokból csak a felezési idő kiszámítását mutatjuk be részletesen.

Felezési idő meghatározása

Manapság 2830 fajta atommag ismeretes. Ebből csak kb. 260 a stabil. Ezekből épül fel az összes létező anyag. Az atommagoknak a nagyobb része instabil, képes átalakulni más részecskévé, akár bármilyen külső hatás nélkül is, miközben részecske-kibocsátás, vagy sugárzás formájában energia szabadul fel. Ezt a spontán átalakulást nevezzük radioaktivitásnak. Az elnevezés Marie Curie-Sklodowska-tól származik. Maga a szó a latin „sugár” és „tevékenység” összetételből ered, sugárzóképességet jelent. Az elsőként megismert radioaktív sugárzásokat a görög ábécé első betűivel nevezték el. Alfa- (α), béta- (β), gamma-sugárzást (γ) különböztetünk meg.

A radioaktivitás karakterisztikus idejére a felezési időt használjuk, ez az az idő, ami alatt az el nem bomlott magok száma a felére csökken, jele $T_{1/2}$. A felezési idő befolyásolhatatlan, megváltoztathatatlan anyagi jellemző, értéke igen széles határok között változhat:

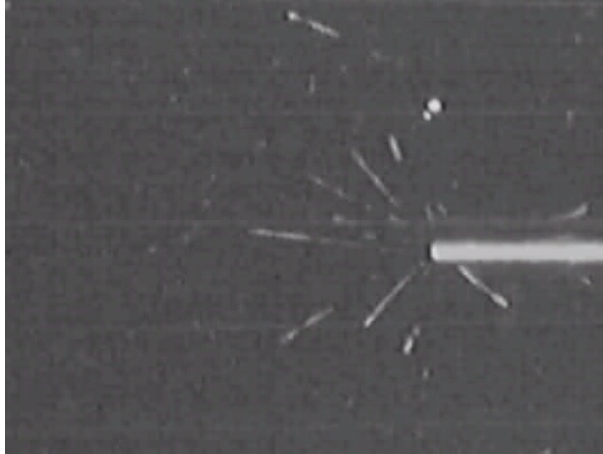


8. ábra. Exponenciális bomlásgörbe

$$(1) \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda},$$

ahol λ az adott atommagra jellemző bomlási állandó, $[\lambda] = 1/s$.

Az alfa-részecskék (${}^4_2\text{He}$) nyomai láthatók a legjobban a ködkamrában. Ezért a méréseinkhez, egy tórium (${}^{228}\text{Th}$) forrásból készített, alfa-sugárzást kibocsátó ún. Th(B+C) preparátumot használtunk, amelynek felezési ideje 10,6 h.



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

Két napon keresztül figyeltük meg és rögzítettük a Th(B+C) forrásból kilépő alfa-részecskék nyomait. Képfeldolgozó programunkkal megszámoltuk, hogy az adott képkockán hány részecskenyom látható, majd a kapott I számlálási sebességeket az idő függvényében ábráztoltuk Excel-munkalapon. Az adatokhoz exponenciális trendvonalat illesztettünk, melynek egyenletéből az

$$(2) \quad I = I_0 e^{-\lambda \cdot t} = I_0 e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_{1/2}}} = I_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

összefüggés segítségével meghatároztuk a felezési időt (és I_0 -at). Ellenőrzésképpen a felvételen a részecskenyomokat szemmel is leszámoltuk. A kiértékelést az előbbiek szerint végeztük el. A Th(B+C) forrást alkotó ^{212}Pb atommag felezési idejét alfa- és gamma-spektrometria, valamint béta-számlálás segítségével is meghatároztuk. Az eredményeket az 1. táblázatban hasonlítottuk össze.

Módszer	Ködkamra		Alfa-spektrometria	Béta-számlálás	Gamma-spektrometria
	Képfeldolgozás	Nyom-számlálás			
$T_{1/2}(h)$	6,5-11,1	11,71	10,75	10,77	10,86

1. táblázat. Különböző módon meghatározott Th(B+C) felezési idők összehasonlítása.

A számítási eredmények jó egyezést mutatnak a Th(B+C) 10,6 óra felezési idejével.

Összefoglalás

Az általunk készített képfeldolgozó program alkalmas a diffúziós ködkamra segítségével megfigyelhető háttérsugárzás és radioaktív sugárzások webkamera felvételeinek kiértékelésére. A képeken a részecskenyomok hosszúsága, vastagsága, láthatósága mérhető, ami megkülönbözteti őket. A program segítségével ismert forrás alkalmazása esetén meghatározhatjuk a felezési időt.

A diffúziós ködkamrában megjelenő nyomvonalak hosszúsága függ a részecskék energiájától és irányától. A nyomhosszúság méréseiből a részecskék energiája is meghatározható. Az energia-eloszlása és a hatótávolság-energia összefüggése számolható az adatokból. A részecskenyomok vastagságából pedig a részecskék ionizációs képességre lehet következtetni [5]. A ködkamrával kapcsolatos információk és az atommagfizika egyes jelenségeinek megértéséhez szükséges elméleti alapok egy általunk készített honlapon [6] megtalálhatók.

A fentiekben ismertetett példán keresztül vázoltuk eddigi legegyszerűbb képfeldolgozási algoritmusunkat. Sikertült egy minimális előismeretet (Pitagorasz-tétel, koordináták) igénylő lépéssorozatot ismertetnünk, amellyel akár egy érdeklődő középiskolás is, kezdő programozási gyakorlattal, máris hasznos eredményeket produkálhat. Ennél azért egy jókora lépéssel bonyolultabb, a térbeli koordináták és a perspektíva ismeretét is feltételező következő – még mindig minimális további ismeretet feltételező – feladat, a folyami jégzajlást rögzítő webkamera-felvételek feldolgozása, kiértékelése. Ez lesz majd – szándékunk szerint – következő algoritmusismertetőnk témaköre. Szerepelni fog benne a perspektivikus dekompozíció, a képpixelek mögötti víz- és jégfelület meghatározása, valamint a felszíni áramlás

jellemzéséhez a jégtáblák elmozdulás, elfordulás mértékét becslő alak-felismerési feladat. A percenkénti, esetleg még sűrűbb álló, vagy akár mozgókép rögzítés feldolgozásánál a perspektivikus kép felülnézetivé konvertálása ellenőrizhető, kalibrálható a naponkénti egy-kétszeres műholdfelvételekkel is. Az algoritmikus próbálkozásokat, majd a kezdeti feldolgozásokat Visual Basicben végeztük, részben azért, mert ez minden irodai programban elérhető. Azonban a mozgóképek ontják az adatot, emiatt több feladatot a szintén kezdőknek – az MIT-n - kifejlesztett <https://processing.org> programozási nyelvben kódoltunk, ami kb. 10-szeres gyorsulást hozott a Visual Basic exe-jével szemben.

Irodalomjegyzék

- [1] Gálai A., A web-kamerás folyami jégmegfigyelés alapjai, Hidrológiai Közlöny, 88. évf. 5. sz., 2008.
- [2] PHYWE series of publications: *Visualisation of radioactive particles / Diffusion cloud chamber* (Laboratory Experiments Physics, PHYWE SYSTEME GMBH, Göttingen, Germany), <http://www.phywe.com/>
- [3] Fényes T., *Atommagfizika*, 2. kiadás, Kossuth Egyetem Kiadó, Debrecen, 2009.
- [4] Raics P., *Atommag- és részecskefizika*, DE Kísérleti Fizikai Tanszék, 2002. <http://falcon.phys.klte.hu/kisfiz/RAICS/>
- [5] Győrfi T., *Atommagfizika az oktatásban. Környezeti radioaktivitás vizsgálata és szemléltetése*. Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, 2011. <http://w3.atomki.hu/PhD/these/Gy%C3%B6rfi%20Tam%C3%A1s/>
- [6] <http://falcon.phys.klte.hu/kisfiz/tavtanulas/>

Győrfi Tamás, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar,
gyorfi.tamas@uni-nke.hu

Gálai Antal, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kar,
galai@baja.hu