

Abstract of PhD Thesis
Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Investigations of nuclear decay half-lives relevant to nuclear astrophysics

Atommagbomlások felezési idejének vizsgálata a nukleáris asztrofizika szempontjából

János Farkas

Supervisor / Témavezető
Dr. Zsolt Fülöp



University of Debrecen
PhD School in Physics
Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskolája

Debrecen
2011

Prepared at
the University of Debrecen
PhD School in Physics
and
the Institute of Nuclear Research
of the Hungarian Academy of Sciences
(ATOMKI)

Készült
a Debreceni Egyetem Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának magfizikai
programja keretében a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató
Intézetében (ATOMKI)

New scientific results

I have prepared my thesis as a member of the Nuclear Astrophysics Group of Atomki (Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Debrecen, Hungary) from 2008 to 2011. The results of my research can be summarized in the following thesis points:

1. I took a key part in the experiments of the group with which we could disprove the applicability of the classical Debye – Hückel plasma model to nuclear decay in metallic environments.
 - (a) We performed a novel relative measurement in which we could observe no changes of the half-life of ^{74}As in metallic and semiconductor environments compared to the half-life in insulators. The upper limit of a possible lifetime change was only a fraction of the predicted change.
 - (b) We applied our new method to embedded ^{74}As cooled down to temperatures as low as 250 mK. We observed no changes of the half-life. As temperature sensitivity is a crucial part of the Debye – Hückel model which predicted orders of magnitude changes of the half-life at subkelvin temperatures, we decisively disproved the model’s applicability to predict half-life changes in metallic environments.
2. I played significant role in measuring the lifetimes of two radioactive isomers. The precise half-lives were needed to perform activation based nuclear reaction cross section measurements for the investigation of the astrophysical γ -process.
 - (a) The half-life of the isomeric state of ^{133}Ce was measured.
 - (b) The half-life of the first isomeric state of ^{154}Tb was measured.
3. I refuted the claims that the Newcomb – Benford law can be of use in testing nuclear decay models. I have also drawn attention to the fact that the compliance of the law is not a signature of self-organization of the atomic nucleus.

A discussion of these results and my role in achieving them can be read in the following section.

Discussion

1a. γ intensity ratio measurements of embedded ^{74}As

Nuclear astrophysics aims at explaining the synthesis of elements and energy generation of stars. As we cannot experiment with stars, observations are compared to the results of computer simulations. These simulations rely heavily on nuclear physics input. This input comes either directly from nuclear measurements or from theoretical calculations, where the theories are constrained by the results of nuclear experiments.

Low energy nuclear reaction cross section measurements showed that the electronic environment of the target isotope affects the measured cross sections below a center of mass energy of ~ 10 keV. The effect was pronounced when the targets were embedded into metals. The phenomenon has been attributed to the electromagnetic screening of metallic electrons, and it has been described by the classical Debye–Hückel plasma model. Later the model was extended to nuclear decay: it was suggested that α and β^+ decays are enhanced while β^- decay is suppressed when the radionuclides decay in a metallic environment (for electron capture decay no clear conclusion was drawn). If half-lives can really be modified by the electronic environment, this effect shall be taken into account in astrophysical calculations. It could also be of use in nuclear technology either to hasten the decay of nuclear waste or to decrease its activity by slowing down its decay.

Several experiments were performed recently to verify the predictions of the Debye–Hückel model. The results of these measurements were contradictory: some could show evidence of altered half-lives, while others saw no signs of half-life modification. Our group set out to conduct two decisive high precision measurements to either confirm or disprove the applicability of the Debye–Hückel model to nuclear decay.

We used ^{74}As in our experiments as it undergoes both β^- and β^+/ε decays. By utilizing γ ray spectrometry we could differentiate between these decay modes, as the different types of decay were followed by the emission of γ rays with different characteristic energies. As the model predicts a change in the half-lives in opposite directions for these decay modes, high precision could be achieved by monitoring the β^+/ε activity ($E_\gamma = 596$ keV) relative

to the β^- activity ($E_\gamma = 635$ keV).

In our first experiment we produced ^{74}As at the cyclotron of Atomki by the $^{74}\text{Ge}(p,n)^{74}\text{As}$ reaction and embedded it into metals (tantalum and aluminum), semiconductor (germanium) and insulator (mylar foil) host materials. We used a high purity germanium detector to follow the decay of the samples. The measured relative γ intensities were compatible with each other and with the literature value, no matter what the host of the arsenic was. Our measurement supports that the half-lives of the three decay modes of ^{74}As was unaffected by the electronic environment within 3% precision. This measurement strengthened the view that the Debye–Hückel model is not adequate to describe enhanced nuclear decay of embedded radionuclides, as it predicted an at least 4% enhancement for the β^+ decay and an at least 12% suppression for the β^- decay. [P1, C1, C2]

Participation of the author. I participated in the preparation of the targets, in setting up the equipment both at the beamline and at the counting room, the calibration of the detector, the installation and testing of the acquisition system, the irradiation process and the recording of the spectra.

1b. γ intensity ratio of embedded ^{74}As at low temperatures

A key concept in the Debye–Hückel decay screening theory is the screening energy U_e . As $U_e \sim T^{-1/2}$, Debye screening predicts a spectacular enhancement of electron screening at very low temperatures. This was studied in many experiments, in which the samples consisting of radionuclides embedded in metals were cooled down to temperatures of usually 10 K–20 K. In an outstanding experiment researchers could investigate the decay of the α emitter ^{253}Es in iron at 50 mK temperature.

The outcome of the experiments of the literature was again ambiguous: some observed a change in the half-lives but some did not. Our group joined the debate by extending our relative intensity ratio measurement technique to low temperatures.

The production of the radioactive samples was similar to that described above. This time we used only tantalum and germanium as host materials, as mylar can be damaged at low temperatures. The samples were cooled at the Cryophysics Laboratory of Atomki with a $^3\text{He}/^4\text{He}$ dilution refrigerator.

The activity of the samples was followed again by a HPGe γ detector, while the samples were cooled to 77 K, 4.2 K, ≈ 1 K and ≈ 250 mK.

Within our precision (which was similar to the precision of our room temperature measurement) we could not observe any change in the half-lives of ^{74}As at any temperature with any host material, though – according to the Debye–Hückel model – the half-lives should have changed by orders of magnitude at subkelvin temperatures. As the dependence of the screening on temperature is a crucial part of the Debye–Hückel model, based on our results we could clearly refute the claims that the Debye–Hückel model gives a suitable description of electron screening of nuclear decay. [P2, C1, C2, C3, A1]

Participation of the author. I played a key role in the experiment. I participated in the target preparation, in setting up the instruments, the irradiation and the recording of the spectra. I performed the complete analysis of the data from the peak fitting to preparing the final results. I wrote a paper, a proceedings and a popular article about our measurement and gave a talk at an international conference.

2. High precision half-life measurements of $^{133\text{m}}\text{Ce}$ and $^{154\text{m}}\text{Tb}$

In order to support the theoretical work on the astrophysical γ process, we measured the cross section of α induced reactions on ^{130}Ba , as experimental data on these reactions were absent in the literature. The (α, γ) reaction cross section can directly be used to enhance γ process models, while the (α, n) reaction is used to constrain the Hauser–Feshbach model calculations used in such models.

We used the activation technique in our measurement: we activated the ^{130}Ba target with an α beam and detected the γ photons emitted by the decaying reaction products. In order to perform the cross section measurement one needs the precise half-lives of the created nuclei. We realized that the half-life of one of the products of the $^{130}\text{Ba} + \alpha$ reaction, $^{133\text{m}}\text{Ce}$ is known with high uncertainty ($t_{1/2}^{\text{lit}} = 4.9 \text{ h} \pm 0.4 \text{ h}$). We also found evidence that this half-life value is underestimated. As the compilations were based on a single measurement published back in 1967, we decided to perform a half-life measurement of $^{133\text{m}}\text{Ce}$ the precision of which is suitable for our needs.

The irradiations were performed at the cyclotron of Atomki and the decay of $^{133\text{m}}\text{Ce}$ was followed with a HPGe γ detector. By analysing the 58.4 keV, 130.8 keV and 477.2 keV peaks we found the half-life to be $t_{1/2} = 5.326 \text{ h} \pm 0.011 \text{ h}$. As this value is consistent with the literature value and its uncertainty is lower by almost a factor of 40, we suggested its use in the nuclear data compilations to-come. This new half-life value was successfully used in the cross section measurement of the $^{130}\text{Ba}(\alpha, n)^{133\text{m}}\text{Ce}$ reaction.

We also measured the half-life of $^{154\text{m}}\text{Tb}$. In this case the motivation was to measure the cross section of the $^{151}\text{Eu}(\alpha, n)^{154\text{m}}\text{Tb}$ reaction. We used a similar technique as in the cerium measurement. The half-life was found to be $t_{1/2} = 9.994 \text{ h} \pm 0.039 \text{ h}$, which is an order of magnitude more precise than the literature value of $t_{1/2}^{\text{lit}} = 9.4 \text{ h} \pm 0.4 \text{ h}$. [P3, P5, C4]

Participation of the author. I took significant part in the measurement of the half-life of $^{133\text{m}}\text{Ce}$. I participated in the assembly of both the beamline and the detection setup and also in the irradiation and the detection processes. I arranged the automatic data analysis. I was responsible for the complete evaluation process and the publication of the results. I had a minor role in the $^{154\text{m}}\text{Tb}$ half-life experiment. I took part in the irradiation procedure and in the analysis of the data. Some of my programs were used for the data analysis.

3. The applicability of the Newcomb – Benford law in testing nuclear decay models

The Newcomb – Benford law (NBL) gives the distribution of the first significant digits of numbers coming from various data sources. It was found to describe well the distribution of the first significant digits of nuclear decay half-lives. Based on this and the scale invariant nature of the law it was recently suggested that the compliance of the law is an evidence of the self-organizing nature of the atomic nucleus. The law was also proposed as a tool to test nuclear decay models: if the first digits of calculated half-lives do not obey the NBL, then the given nuclear model cannot be complete.

Many mathematicians tried to solve the conundrum of the NBL for decades. Though only partial success has been achieved it became clear that the problem can be approached from a mathematical point of view and mystical explanations shall be rejected. A new, Fourier analysis based

theorem was published in 2008. This gives the conditions when the NBL is satisfied for number sequences having a given probability density function.

In my work I have confirmed that the NBL can be applied for half-lives with two techniques: direct check and the method called ‘ones scaling test’. Then I examined both the probability distribution function of the half-lives and its Fourier transform. I found that the distribution function automatically satisfies the law. This means two things. On the one hand the idea that the NBL indicates self-organizing behavior can no longer be held. On the other hand if a nuclear decay model provides the same half-life distribution as nature, then it automatically satisfies the NBL, while the satisfaction of the NBL does not mean at all that the predicted half-life distribution is correct. This way the NBL cannot be used to test nuclear decay models. [P4]

Participation of the author. I wrote programs to perform the NBL’s compliance to half-lives and ran them on a half-life database. I performed the Fourier transformation and drew consequences based on the literature of the NBL, the half-life probability distribution function and its Fourier transform. I was also responsible for the publication of the results.

Új tudományos eredmények

Disszertációm az Atomki Nukleáris asztrofizikai csoportjának tagjaként készítettem 2008 és 2011 között. Kutatási eredményeim az alábbi tézispon-
tokban foglalhatók össze:

1. Kulcsszerepet játszottam azokban a kísérletekben, amelyek eredmé-
nyeképpen elvetettük a klasszikus plazmafizika Debye – Hückel-modell-
jének alkalmazhatóságát fémekbe ágyazott radioizotópok felezési idő
változásának kiszámítására.
 - (a) Egy új, relatív mérési módszert vezettünk be, amellyel fémes,
félvezető és szigetelő közegbe ágyazott ^{74}As bomlását vizsgáltuk.
Méréseink alapján a felezési idő változása legfeljebb töredéke
lehet a jóslott változásnak.
 - (b) Új módszerünket alacsony hőmérsékletre (akár 250 mK) lehűtött
 ^{74}As -re is alkalmaztuk. Ekkor sem tapasztaltunk felezési idő
változást, annak ellenére sem, hogy a modell szerint a felezési
időknek 1 K alatti hőmérsékleten már nagyságrendet kellett volna
változnia. Mivel az érzékeny hőmérsékletfüggés a Debye – Hückel-
modell szerves részét képezi, ezért ezzel a kísérlettel sikerült vég-
legesen kizárni a modell alkalmazhatóságát beágyazott atom-
magok bomlására.
2. Jelentős szerepem volt két izomer felezési idejének megmérésében. A
pontos felezési időket az asztrofizikai γ -folyamat néhány reakciójának
aktiváció alapú hatáskeresztmetszet-mérésében használtuk fel.
 - (a) Megmértük a ^{133}Ce izomer állapotának felezési idejét.
 - (b) Megmértük a ^{154}Tb első metastabil állapotának felezési idejét.
3. Megcáfoltam azt az állítást, hogy a Newcomb – Benford-törvény se-
gíthet a magfizikai felezési idők elméleti modelljeinek tesztelésében.
Felhívtam a figyelmet arra is, hogy a törvény felezési időkre való tel-
jesülése nem az atommag önszerveződésének a jele.

Az eredmények kifejtése és a kutatásokban játszott szerepem a következő
részben olvasható.

Az eredmények kifejtése

1a. Beágyazott ^{74}As γ intenzitásarányának mérése

A nukleáris asztrofizika célja, hogy megmagyarázza a kémiai elemek keletkezését és a csillagok energiatermelését. Mivel a csillagokkal nem tudunk kísérletezni, így a megfigyeléseinket számítógépes szimulációk eredményeivel hasonlítjuk össze. A szimulációk eredményei erősen függenek a magfizikai bemenő paraméterektől, amelyek vagy közvetlenül magfizikai mérésekből vagy kísérletileg ellenőrizhető elméleti számításokból származnak.

Alacsony energiás magreakció hatáskeresztmetszet-mérésekből tudjuk, hogy a ~ 10 keV középponti energia tartományban a céltárgy atommagjai körül elhelyezkedő elektronok befolyásolják a hatáskeresztmetszetet. Ez a hatás fémbe helyezett céltárgyak esetén különösen meghatározó. A jelenséget a fémek delokalizált elektronjainak elektrosztatikus árnyékolásával magyarázták és a klasszikus plazmafizika Debye–Hückel-féle modelljével írták le. Később a modellt kiterjesztették a radioaktív bomlásra is: felvetették, hogy a fémekbe ágyazott α és β^+ bomló izotópok felezési ideje csökken, míg a β^- bomló magok felezési ideje nő (az elektronbefogásos bomlás élettartamának válatozására nem született egyértelmű jóslat). Ha a felezési időket valóban befolyásolják a bomló magok körüli elektronok, akkor ezt figyelembe kell venni az asztrofizikai számításoknál. Ráadásul a jelenség rendkívül hasznos volna a nukleáris ipar számára, például a nukleáris hulladékokat fémbe ágyazva azok felezési ideje (és így a veszélyességük ideje) csökkenthető volna, vagy a felezési idejük növelésével csökkenthető volna az aktivitásuk.

A Debye–Hückel-modell ellenőrzésére számos kísérletet hajtottak végre a közelmúltban. A kísérletek eredményei azonban ellentmondásosak voltak: néhány kísérletben képesek voltak kimutatni a felezési idők megváltozását, míg más kísérletekben ennek jelét sem látták. A kutatásokhoz a csoportunk is csatlakozott. Célunk az volt, hogy két nagy pontosságú kísérletsorozatot végrehajtva egyértelműen megerősítsük vagy elveszünk a Debye–Hückel-modell beágyazott bomlásra való alkalmazhatóságát.

Kísérleteinkhez a β^- és β^+/ε bomlásmódokkal is átalakuló ^{74}As izotópot használtuk. Mivel a különböző típusú bomlásokat különböző energiájú γ -sugárzás kibocsátása kíséri, ezért azok γ -spektrometriával elkülöníthetők

egymástól. Mivel a modell a két bomlásmódra eltérő irányú felezési idő változást jósol, így nagy pontosságot érhetünk el azzal, ha a β^+/ε bomlást követő $E_\gamma = 596$ keV energiájú γ -vonal és a β^- bomlást követő $E_\gamma = 635$ keV energiájú vonal erősségének arányát mérjük.

Az ^{74}As izotópot a $^{74}\text{Ge}(p,n)^{74}\text{As}$ reakció segítségével állítottuk elő az Atomki ciklotronjával. Első kísérletünkben az arzént fémekbe (tantál és alumínium), félvezetőbe (germánium) és szigetelőbe (milár fólia) ágyazva vizsgáltuk. A minták bomlását nagy tisztaságú germánium (HPGe) detektorral figyeltük. A mért relatív γ -intenzitások egymással és az irodalmi értékkel is összhangban voltak, attól függetlenül, hogy az arzént milyen anyag vette körül. A Debye–Hückel-modell a β^+ felezési idő legalább 4%-os növekedését és a β^- felezési idő legalább 12%-os csökkenését jósolta, míg a mérés alapján a felezési idők legfeljebb 3%-kal változhattak meg. Eredményeink szerint tehát a Debye–Hückel-modell az irodalomban ismertetett módon nem alkalmazható beágyazott felezési idők változásának számítására. [P1, C1, C2]

A szerző szerepe. Részt vettem a céltárgyak készítésében, a kísérleti berendezések beállításában mind az aktivációnál mind a γ -detektálásnál, a detektor kalibrálásában, az adatgyűjtő rendszer beállításában és tesztelésében, a besugárzásban és a spektrumok felvételében.

1b. Beágyazott ^{74}As γ intenzitásarányának mérése alacsony hőmérsékleteken

A Debye–Hückel-féle bomlásárnyékolási modell egyik kulcsfogalma az U_e árnyékolási energia. Mivel $U_e \sim T^{-1/2}$, ezért a modell a felezési idők látványos változását jósolja alacsony hőmérsékleten. Ezt a jelenséget több olyan kísérletben is vizsgálták, ahol a fémes környezetbe ágyazott radioaktív izotópokat alacsony, általában 10 K–20 K hőmérsékletre hűtötték. A legalacsonyabb hőmérsékletű kísérletben vasba ágyazott α -bomló ^{253}Es -ot hűtötték le 50 mK hőmérsékletre.

Akárcsak a szobahőmérsékletű mérések esetén, a kísérleti eredmények itt sem voltak egyértelműek: volt amikor sikerült kimutatni felezési idő változást, volt amikor nem. Csoportunk a fent ismertetett relatív kísérleti technika segítségével igyekezett eldönteni a kérdést.

A radioaktív mintákat az előzőekben leírtakhoz hasonlóan állítottuk elő,

de a keletkezett arzént most csak tantál és germánium mintákba ágyasztuk be, mivel a milár alacsony hőmérsékleten könnyen sérül. A mintákat egy $^3\text{He}/^4\text{He}$ keverési hűtőgéppel hűtöttük le az Atomki Hidegfizikai Laboratóriumában. A minták bomlását ismét egy HPGe γ -detektorral követtük, miközben 77 K, 4.2 K, ≈ 1 K és ≈ 250 mK hőmérsékletre hűtöttük őket.

A Debye – Hückel-modell a felezési idők több nagyságrenddel való változását jósolja 1 K alatti hőmérsékleteken. Ennek ellenére a méréseink most sem mutattak ki változást a különböző bomlásmódokhoz tartozó γ -intenzitások arányában. Mivel a hőmérsékletfüggés a Debye – Hückel-modell szerves részét képezi, ezért a kísérletünkből egyértelműen arra lehet következtetni, hogy a modell alkalmatlan a beágyazott radioizotópok felezési idő (nem) változásának helyes kiszámítására. [P2, C1, C2, C3, A1]

A szerző szerepe. A kísérletben jelentős szerepet játszottam. Részt vettem a céltárgyak elkészítésében, a berendezések beállításában, a besugárzásban és a spektrumok felvételében. Elvégeztem az adatok kiértékelését a csúcstillesztésektől a végső eredmények elkészítéséig. Írtam egy szakcikket, egy konferencia-cikket és egy ismeretterjesztő cikket, valamint előadást tartottam egy nemzetközi konferencián.

2. A $^{133\text{m}}\text{Ce}$ és a $^{154\text{m}}\text{Tb}$ izotópok felezési idejének nagypon-tosságú mérése

Az asztrofizikai γ -folyamat elméleti kutatásának előmozdításához szükséges a benne szereplő magreakciók kísérleti vizsgálata. Csoportunk a ^{130}Ba -on lezajló α -indukált reakciók hatáskeresztmetszetének meghatározását tűzte ki célul. Az (α, γ) reakció hatáskeresztmetszete közvetlenül paraméterezheti a γ -folyamatot szimuláló programokat, míg az (α, n) reakció hatáskeresztmetszetének ismerete segíthet a Hauser – Feshbach-moddal végzett számítások ellenőrzésében és fejlesztésében.

Méréseinkben az aktivációs technikát használtuk: a ^{130}Ba izotópot α -részecskékkel bombáztuk, majd a keletkezett reakciótermékek aktivitását γ -detektorral mértük. A hatáskeresztmetszet méréséhez tudnunk kell, hogy az aktiváció végén mennyi reakcióterméket sikerült előállítani. Ehhez a reakciótermékek felezési idejének pontos ismerete szükséges. A kísérlet kiértékelésekor észrevettük, hogy a $^{130}\text{Ba} + \alpha$ reakciók egyik végtermékének, a $^{133\text{m}}\text{Ce}$ -nek a felezési ideje nagy relatív hibával szerepel az irodalomban

($t_{1/2}^{\text{ir}} = 4.9 \text{ h} \pm 0.4 \text{ h}$). Ráadásul bizonyítékot találtunk arra, hogy az irodalmi érték egyértelműen kisebb, mint a valós érték. Mivel az irodalmi érték egyetlen egy mérésen alapul, amit még 1967-ben végeztek el, úgy döntöttünk, hogy egy új mérés elvégzésével pontosítjuk a $^{133\text{m}}\text{Ce}$ felezési idejét.

A besugárzást az Atomki ciklotronjával végeztük, és a $^{133\text{m}}\text{Ce}$ bomlását HPGe γ -detektorral követtük. Az 58.4 keV, 130.8 keV és 477.2 keV energiájú csúcsok elemzésével azt találtuk, hogy az izotóp felezési ideje $t_{1/2} = 5.326 \text{ h} \pm 0.011 \text{ h}$. Mivel ez az érték összhangban van az irodalmi értékkel, de annál majdnem 40-szer pontosabb, ezért az új érték felvételét javasoltuk a magfizikai adatbázisokba. Az új érték használata a $^{130}\text{Ba}(\alpha, n)^{133\text{m}}\text{Ce}$ hatáskeresztmetszet-mérésénél felmerült problémáinkat is megoldotta.

A $^{154\text{m}}\text{Tb}$ felezési idejét is sikerült az irodalminál pontosabban meghatározni. Ebben az esetben az volt a célunk, hogy megfelelő felezési idő értéket tudjunk használni a $^{151}\text{Eu}(\alpha, n)^{154\text{m}}\text{Tb}$ reakció hatáskeresztmetszetének aktivációs méréséhez. A felezési idő meghatározásához használt technika hasonló volt a cérium kísérletnél bemutatotthoz. A felezési idő új értéke $t_{1/2} = 9.994 \text{ h} \pm 0.039 \text{ h}$ lett, ami egy nagyságrenddel pontosabb, mint az irodalmi érték ($t_{1/2}^{\text{ir}} = 9.4 \text{ h} \pm 0.4 \text{ h}$). [P3, P5, C4]

A szerző szerepe. A $^{133\text{m}}\text{Ce}$ felezési idejének mérésében jelentős szerepem volt. Részt vettem a forráskészítésben és a mérőeszközök beállításában, a besugárzásban és a γ -detektálásban. Programokat készítettem az adatok automatikus elemzéséhez. Én voltam a felelős a kiértékelésért és az eredmények közzétételéért. A $^{154\text{m}}\text{Tb}$ felezési idejének mérésében csak kisebb szerepet játszottam. Részt vettem a besugárzásban és az adatelemzésben. Az adatok elemzése részben az általam készített programokkal történt.

3. Használható-e a Newcomb–Benford-törvény radioaktív bomlásmodellek tesztelésére?

A Newcomb–Benford-törvény (NBT) a természetben előforduló számok első értékes jegyének eloszlását adja meg, függetlenül attól, hogy a számok természeti állandókból, napilapokból vagy adóbevallásokból származnak. A törvény a nukleáris felezési idők első értékes számjegyének eloszlására is érvényes. Figyelembe véve a törvény skálainvarianciáját, nemrég azt a következtetést vonták le, hogy a törvény teljesülése az atommagok ön-

szerveződésére utal. Egyes szerzők szerint a törvény arra is alkalmas, hogy segítségével teszteljük a magfizikai bomlásmodelleket: ha egy modell alapján számított felezési idők első értékes számjegyeinek eloszlása nem követi a NBT-t, akkor a modell nem lehet teljes.

A NBT talányával az elmúlt évtizedekben sok matematikus foglalkozott. Bár a törvény magyarázatában csak részleges sikereket értek el, azt már ezek alapján is kijelenthetjük, hogy a törvény természetfeletti eredetével manipuláló magyarázatok elvethetők. 2008-ban Fourier-analízis segítségével sikerült a törvény teljesülési feltételeit új formába önteni. Az új tétel olyan esetben alkalmazható, mikor a vizsgált számok egy adott valószínűségi sűrűségfüggvénnyel írhatók le.

Munkámban megerősítettem, hogy a felezési idők valóban leírhatók a NBT-el. Ehhez két technikát használtam: a közvetlen ellenőrzést és a „skalázott egyesek” próbát. Ezek után megvizsgáltam mind a felezési idők eloszlását, mind a sűrűségfüggvény Fourier-transzformáltját. Azt találtam, hogy a felezési idők eloszlása olyan, hogy az automatikusan teljesíti a NBT-t. Ez két dolgot jelent. Egyrészt azt, hogy a NBT teljesülése nem utal önszerveződésre, másrészt azt, hogy a törvény nem használható bomlásmodellek tesztelésére. Ugyanis ha egy bomlásmodell képes a felezési idők sűrűségfüggvényének helyes előállítására, akkor automatikusan megfelel a NBT-nek is, míg attól, hogy teljesíti a törvényt, még nem biztos, hogy megfelelő a vele számított felezési idők eloszlása. [P4]

A szerző szerepe. Programokat írtam a NBT teljesülésének ellenőrzésére, majd futtattam őket a felezési idő adatainkon. Előállítottam a felezési idő sűrűségfüggvényét és annak Fourier-transzformáltját, majd az irodalom alapján ezekből levontam a következtetéseket. Az eredményeket egy szakcikkben közöltem.

Publications / Közlemények

Scientific papers / Tudományos közlemények

- P1 Gy. Gyürky, **J. Farkas**, C. Yalçın, G. G. Kiss, Z. Elekes, Zs. Fülöp and E. Somorjai,
Investigation of ^{74}As decay branching ratio dependence on the host material, Europhys. Lett. **83**, 42001 (2008)
- P2 **J. Farkas**, Gy. Gyürky, C. Yalçın, Z. Elekes, G. G. Kiss, Zs. Fülöp, E. Somorjai, K. Vad, J. Hakl and S. Mészáros,
Measurement of embedded ^{74}As decay branching ratio at low temperatures, J. Phys. G **36**, 105101 (2009)
- P3 Gy. Gyürky, G. Rastrepina, Z. Elekes, **J. Farkas**, Zs. Fülöp, G. G. Kiss, E. Somorjai, T. Szücs,
Precise half-life measurement of the 10 h isomer in ^{154}Tb , Nucl. Phys. A **828**, 1 (2009)
- P4 **J. Farkas**, Gy. Gyürky,
The significance of using the Newcomb – Benford law as a test of nuclear half-life calculations, Acta Phys. Pol. B **41**:6 (2010)
- P5 **J. Farkas**, Gy. Gyürky, Z. Halász, T. Szücs, Zs. Fülöp, E. Somorjai,
Half-life measurement of $^{133\text{m}}\text{Ce}$ with γ -spectrometry, Eur. Phys. J. A **47**, 7 (2011)

Conference proceeding, talk and posters
Konferencia szereplések

- C1 Gy. Gyürky, **J. Farkas**, C. Yalçın, G. G. Kiss, Z. Elekes, Zs. Fülöp, E. Somorjai, K. Vad, J. Hakl and S. Mészáros,
Study of ^{74}As decay in different host materials and at different temperatures. Poster / Poszter.
 10th International Symposium on Nuclei in the Cosmos, NIC X.
 Mackinac Island, Michigan, USA, 27 July – 1 August, 2008
- C2 **J. Farkas**, Gy. Gyürky, C. Yalçın, G. G. Kiss, Z. Elekes, Zs. Fülöp, E. Somorjai, K. Vad, J. Hakl and S. Mészáros,
Study of ^{74}As decay in different host materials and at different temperatures. Proceedings / Konferencia kiadvány.
 PoS NIC X (2009)
- C3 **J. Farkas**, Gy. Gyürky, C. Yalçın, Z. Elekes, G. G. Kiss, Zs. Fülöp, E. Somorjai, K. Vad, J. Hakl and S. Mészáros,
Temperature dependence of β^- and β^+/ε decay branching ratio of embedded ^{74}As . Talk / Előadás.
 European Nuclear Physics Conference, EuNPC.
 Bochum, Germany, 16–20 March, 2009
- C4 **J. Farkas**, Gy. Gyürky, Z. Halász, T. Szücs, Zs. Fülöp, E. Somorjai,
Half-life determination of $^{133\text{m}}\text{Ce}$ for activation cross section measurements. Poster / Poszter.
 11th International Symposium on Nuclei in the Cosmos, NIC XI.
 Heidelberg, Germany, 19–23 July, 2010

Popular article / Népszerű cikk

- A1 **J. Farkas**,
Változik-e a radioaktív atommagok felezési ideje?
 (Do the half-lives of radioactive nuclei change?) [in Hungarian],
 Természet Világa **142**(3) 135 (2011)