

Abstract of PhD Thesis
Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Methods to measure low cross sections for nuclear astrophysics

Mérési módszerek asztrofizikailag jelentős magfizikai hatáskeresztmetszetek meghatározására

Tamás Szücs

Supervisor / Témavezető
Dr. Zsolt Fülöp



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

Debrecen
2012

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)

Introduction

Charged particle induced reactions in stars occur at low energies (deep below the Coulomb barrier), thus their cross sections are very low. Usually the reaction parameters are well known at higher energies (above the Coulomb barrier), but the extrapolation from these experimental data is quite uncertain. One aim of experimental nuclear astrophysics is to measure these parameters below the Coulomb barrier – close to the stellar energies (Gamow window) – to reduce the uncertainties. Below the Coulomb barrier the cross sections are dropping exponentially with decreasing energy, therefore very low reaction yields should be measured.

To measure these low yields the sensitivity of the detection system should be enhanced, which can be done either by suppressing the laboratory background of the used γ -detectors or by detection of increased signal. In my thesis I deal with these two ways of sensitivity improvement.

I made the measurements presented in this work as a member of the Nuclear Astrophysics Group of ATOMKI between 2008 and 2012. I made part of my measurements in Dresden, Germany in Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf /HZDR/ and in the Felsenkeller underground laboratory. Further measurements were done in Gran Sasso, Italy in Laboratori Nazionali del Gran Sasso /LNGS/.

New scientific results

1. I made laboratory background measurements at overground and underground locations with different depths. I investigated the effect of the active shield on the high energy ($E_\gamma > 3 \text{ MeV}$) laboratory background with the findings as follows:
 - (a) The active shield has no effect on the high energy laboratory background at deep underground (3800 m water equivalent depth).
 - (b) At shallow underground (110 m water equivalent depth) the active shield causes a big reduction in the high energy laboratory background. With the combination of the active shield and the shallow underground location, the high energy laboratory count rate is only a factor of 2–3 higher than that at deep underground. I made feasibility studies of several astrophysically relevant reaction cross section measurements. I found, that these reactions – which are not measurable at Earth’s surface – become measurable already at shallow underground.
2. Cross section measurement by activation method based on characteristic X-ray counting.
 - (a) I chose a suited detector (LEGe) for the X-ray countings. I designed and built up a multilayer shielding for this detector, and studied it. I measured the sensitivity of the LEGe, which was found to be ≈ 3.5 times higher in the X-ray energy region than that of a HPGe with 100 % relative efficiency. I found also, that the LEGe is more suited to count γ -rays up to 350 keV than the 100 % HPGe. Using the measured background count rates I studied the feasibility of the measurement of several reaction cross sections important for the astrophysical γ -process with the X-ray counting method.
 - (b) We measured α induced reaction cross sections with low bombarding energies on ^{169}Tm with X-ray counting method.

Discussion

1. Effect of the active shield at underground laboratories

On the surface of Earth the active shielding is the most common way to exclude the cosmic ray induced counts from the experimental spectra. For this purpose, usually a scintillator is placed above the experimental setup, and its signals are used as an anticoincidence gate. If the veto detector is close and surrounds the detector used for the measurement, then it acts also as a Compton suppressor.

First part of my dissertation deals with sensitivity improvement by background reduction. For this purpose, I studied the high energy ($E_\gamma > 3 \text{ MeV}$) laboratory background of the actively shielded high purity germanium (HPGe) Clover detector of ATOMKI at different underground places. Its active shield is a bismuth germanate (BGO) scintillator surrounding the detector. Using the same detector at different places, the effects not attributed to the location can be excluded.

On the surface the high energy laboratory background is dominated by the signals of cosmic-ray muons. These events are vetoed most efficiently by an active shield. At underground the flux of the muons are decreasing, therefore less muon signal should be vetoed by the active shield.

1.(a) Effect of the active shield at deep underground

The deep underground measurements were done in LNGS. This laboratory is at a depth of 1400 m, located at the side of the highway tunnel passing through the Gran Sasso mountain. The shielding effect of this overburden is equivalent to that of 3800 m of water (3800 m.w.e). As a comparison I measured the laboratory background on Earth's surface at ATOMKI, too.

I show in my thesis, that the active shield causes no further reduction in the high energy laboratory background at deep underground. At this site the muons are highly attenuated by the overburden (their flux is reduced by a factor of 10^6), therefore the dominant background component in the high energy region is the (n,γ) reactions, which can not be suppressed by an active shield. At deep underground the only non-negligible effect of the active shield is the Compton suppression. [R1, C1]

1.(b) Effect of the active shield at shallow underground

The shallow underground measurements were done in Felsenkeller. The laboratory is situated in Dresden at a depth of 47 m (110 m.w.e). At this location I made measurements with the Clover detector and with a lanthanum bromide (LaBr_3) scintillator equipped also with an active shield. As a comparison I measured the laboratory background on Earth's surface at the HZDR and deep underground at LNGS with both detectors, too.

I show in my thesis, that the active shield causes similar reduction in the high energy laboratory background to that of the Earth's surface, despite the fact that at shallow underground the high energy background rate is already reduced by a factor of ≈ 40 .

The combination of the active shield and the shallow underground location results in a similar order of magnitude high energy background rate to that at deep underground. The difference is only a factor of 2–3.

I compare the measured laboratory background rates with the yields of those reactions, which produce γ -rays in the high energy region. It can be concluded from my estimations, that these reactions are not measurable at the surface even if an active shield is applied, however, at shallow underground, if active shield is applied, the background is low enough to measure them. [R4, P1, P2, P4, T1, T2, C2, C3, C4, C6]

2. Activation method used for cross section measurements based on characteristic X-ray counting

One of the ways to measure nuclear reaction cross sections is the activation technique. In this method the target is irradiated by an ion beam provided by an accelerator, while radioactive final nuclei are produced. After the irradiation the activity of the sample is measured with a shielded detector. From the measured activity and from the parameters of the irradiation the number of the produced radioactive nuclei during the irradiation can be derived, thus the reaction cross section can be determined.

Second part of my dissertation deals with sensitivity improvement by the signal enhancement. For this purpose I combined the activation technique with the counting of characteristic X-rays following the decay of the produced radioactive nuclei instead of counting the γ -rays.

2.(a) Construction of the shield of the X-ray detector, and comparison of its sensitivity with that of a γ -ray detector

For the X-ray counting I used a LEGe (Low Energy Germanium) detector. For which I designed and built up a multi-layer shield consisting of 4 mm copper, 2 mm cadmium, 8 cm lead from inside out. To prove the applicability of the LEGe detector, I compared its sensitivity to that of a HPGe with 100 % relative efficiency in 10 cm thick lead shield. As a sensitivity measure I used the minimum detectable activity. In my thesis I show, that the LEGe in the home made shield has ≈ 3.5 times higher sensitivity in the energy range of X-rays than the 100 % HPGe detector. Furthermore, the LEGe is more suited to count γ -rays up to 350 keV energy.

Using the laboratory background count rates of these detectors, I made feasibility studies of several α -induced reaction cross sections related to astrophysical γ -process. I estimated the minimum reaction energy where the experimental γ - or X-ray yield in the detectors is higher than the detection limit. I proved that in almost every case the measurable energy range is lowered – closer to the astrophysically relevant energy range – with the X-ray detection, furthermore for some reactions the Gamow window can also be reached. [R3, T3]

2.(b) $^{169}\text{Tm}(\alpha, n)^{172}\text{Lu}$ and $^{169}\text{Tm}(\alpha, \gamma)^{173}\text{Lu}$ reaction cross sections at low bombarding energies

To demonstrate the applicability of the activity determination via characteristic X-ray detection, we measured α -induced reaction cross sections on ^{169}Tm . The element thulium has only one stable isotope, thus the enrichment is naturally guaranteed. In the energy range where the experimental yield is higher than the detection limit (above 12 MeV), both reactions which produce the same element $/(\alpha, n)$ and $(\alpha, \gamma)/$ take place. The two produced lutetium isotopes can be separated thanks to their very different half-lives (6.7 days and 500 days). Right after the irradiation the activity of the (α, n) reaction product dominates the X-ray peak, while after a few months only the activity of the (α, γ) reaction product remains. With X-ray detection reaction cross section could be measured which was considered not measurable via γ -rays, because of the very long half life of the reaction product. [R2, P3, C5]

Bevezetés

Az asztrofizikai szempontból fontos, töltött részecskékkel létrehozott magreakciókat a csillagokban kis reakcióenergia (jóval a Coulomb gát alatti) és így kis hatáskeresztmetszet jellemzi. A reakciók paraméterei általában jól ismertek nagyobb energiákon (a Coulomb gát felett), de a mért adatokból végzett extrapoláció bizonytalansággal terhelt. A kísérleti nukleáris asztrofizika egyik célja, hogy a Coulomb gát alatt szolgáltatson reakció paramétereket – közel a csillagokbeli energiákhoz (Gamow ablak) – csökkentve az extrapoláció bizonytalanságát. A Coulomb gát alatt az energiával exponenciálisan csökkenő hatáskeresztmetszetek miatt nagyon kis reakcióhozamokat kell detektálni.

A kis hozamok mérése fontossá teszi az érzékenység növelését, ami a γ -detektorokban fellépő laboratóriumi háttér csökkentésével vagy a jel nagyságának növelésével érhető el. Dolgozatomban mindkét érzékenységnövelő módszerrel foglalkozom.

A dolgozatban felhasznált méréseket az ATOMKI Nukleáris Asztrofizikai csoportjának tagjaként 2008 és 2012 között hajtottam végre. A méréseim egy részét a német drezdai kutatóintézetben (Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf /HZDR/) és a Felsenkeller földalatti laborban, valamint az olasz Gran Sasso-i intézetben (Laboratori Nazionali del Gran Sasso /LNGS/) végeztem.

Új tudományos eredmények

1. Laboratóriumi háttér méréseket végeztem földfeletti és különböző mélységű földalatti laboratóriumokban. Vizsgáltam az aktív árnyékolás hatását a nagyenergiás ($E_\gamma > 3 \text{ MeV}$) háttérre a következő eredményekkel:
 - (a) Méréseim szerint az aktív árnyékolásnak nincs hatása a nagyenergiás laboratóriumi háttérre mély földalatti laborban (3800 m víz ekvivalens mélység).
 - (b) Sekély földalatti mélységben (110 m víz ekvivalens mélység) az aktív pajzs jelentősen csökkenti a nagyenergiás laboratóriumi háttérrel. Megállapítottam, hogy sekély földalatti laborban aktív árnyékolással a nagyenergiás laboratóriumi háttér csupán 2–3-szorosa a mély földalatti helyszínen mértnek. Megbecsültem egyes asztrofizikailag fontos magreakciók hatáskeresztmetszetének mérhetőségét, és megállapítottam, hogy a sekély földalatti helyszínen tapasztalt háttérviszonyok közt mérhetővé válnak a felszínen még nem mérhető reakciók.
2. Aktivációs hatáskeresztmetszet-mérési technika karakterisztikus röntgensugárzás detektálásával.
 - (a) Kiválasztottam a mérésekhez megfelelő detektort (LEGe), amelyhez illeszkedő árnyékolást terveztem, állítottam össze és tanulmányoztam hatását. Megmértem a LEGe detektor érzékenységét, ami a röntgen energiatartományban $\approx 3,5$ -szer nagyobbak bizonyult, mint egy 100 %-os HPGe detektoré. Azt is megállapítottam, hogy a LEGe detektor 350 keV γ -energiáig alkalmasabb az aktivitás mérésre, mint a nagykristályos detektor. A mért háttérbeütésszámokkal becslést adtam különböző, az asztrofizikai γ -folyamathoz fontos magreakciók hatáskeresztmetszetének mérhetőségi határára a karakterisztikus röntgensugárzás detektálásal kombinált aktivációs mérési technikával.
 - (b) α indukált magreakciók hatáskeresztmetszetét mértük kis bombázó energiáknál ^{169}Tm izotópon karakterisztikus röntgensugárzás detektálási technikával.

Az eredmények kifejtése

1. Aktív árnyékolás hatása földalatti laboratóriumokban

Földfelszínen végzett kísérleteknél a kozmikus sugárzás okozta beütések kiszűrésére elterjedt az aktív árnyékolás használata. Ehhez legtöbbször egy szcintillátort helyeznek a kísérleti elrendezés fölé, és jeleit antikoincidenca kapujelként használják fel. Ha a vétó detektor szorosan körbeveszi a mérést végző detektort, akkor így a Compton események is szűrhetőek.

Dolgozatom első része a háttérscsökkentés útján elérhető érzékenységnövelést mutatja be. Ehhez az ATOMKI aktív árnyékolással rendelkező nagytisztaságú germánium (HPGe) Clover detektorával vizsgáltam a nagyenergiás ($E_\gamma > 3 \text{ MeV}$) laboratóriumi háttérrel különböző mélységű földalatti helyszíneken. Az aktív pajzs bizmut germanát (BGO) szcintillátor, mely teljesen körbeveszi a detektort. Egyazon detektor használatával elkerülhetőek a helyszínnel össze nem függő háttér befolyásoló hatások.

A felszínen a nagyenergiás háttértartományt a kozmikus sugárzásból származó müonok jelei dominálják, az aktív árnyékolás éppen ezek jeleit tiltja a legnagyobb hatékonysággal. Föld alatt a müonok intenzitása gyengül, így kevesebb müon jelét kell kiszűrnie az aktív árnyékolásnak.

1.(a) Aktív árnyékolás hatása mély földalatti laboratóriumban

Mély földalatti méréseimet az LNGS-ben végeztem. A labor 1400 m mélyen a Gran Sasso hegy alatti autópálya alagút mellett helyezkedik el, ez a mélység 3800 m víz árnyékolásával egyenértékű (3800 m.w.e). Összehasonlításképpen laboratóriumi háttér méréseket végeztem földfelszínen is az ATOMKI-ben.

Dolgozatomban megmutatom, hogy a mély földalatti helyszínen nem jelent további háttérscsökkentést az aktív árnyékolás a nagyenergiás laboratóriumi háttértartományban. Itt a müonokat szinte teljesen kiszűri a vastag kőzet (fluxusukat milliomod részére csökkenti), így a nagy energiás háttérrel főként az (n, γ) reakciók okozzák, melyekre nincs hatással az aktív pajzs. A Compton elnyomás továbbra is hasznos lehet a kísérleteknél, de ha erre nincs szükség, akkor az aktív árnyékolás szerepe elhanyagolható ebben a mélységben. [R1, C1]

1.(b) Aktív árnyékolás hatása sekély földalatti laboratóriumban

Sekély földalatti méréseimet a Felsenkeller laboratóriumban végeztem. A labor Drezda egyik külkerületében, 47 m mélyen helyezkedik el (110 m.w.e). Ezen a helyszínen méréseimet az ATOMKI Clover detektorával, és egy ugyancsak aktív árnyékolással ellátott lantán-bromid (LaBr_3) szcintillátorral végeztem. Összehasonlításként mindegyik detektorral rögzítettem a laboratóriumi háttérrel a földfelszínen a drezdai kutatóintézetben (HZDR), és mélyen a föld alatt a korábban említett LNGS-ben.

Dolgozatomban megmutatom, hogy az aktív árnyékolás hasonló arányban csökkenti a nagyenergiás laboratóriumi háttérrel a sekély földalatti helyszínen, mint a felszínen, annak ellenére, hogy a sekély földalatti helyszínen az aktív pajzs nélkül is több mint másfél nagyságrenddel kisebb ebben a háttértartományban az időegység alatti beütésszám.

Megállapítottam, hogy a sekély földalatti elhelyezkedés és az aktív pajzs együttes alkalmazása a mély földalattal azonos nagyságrendbe eső beütésszámokat eredményez a nagyenergiás laboratóriumi háttértartományban. Az egységnyi időre vett összes beütésszám aránya 2–3-nak adódott.

A mért laboratóriumi háttér beütésszámokat összehasonlítottam olyan reakciók várható hozamával, amikből a nagyenergiás tartományban várunk γ -sugarakat. Elemzéseimből megállapítható, hogy a földfelszínen még az aktív pajzs használatával sem mérhető reakciók sekély földalatti elhelyezkedés és az aktív árnyékolás eredményezte háttérviszonyok mellett már mérhetőek. [R4, P1, P2, P4, T1, T2, C2, C3, C4, C6]

2. Aktivációs hatáskeresztmetszet-mérési technika karakterisztikus röntgensugárzás detektálással

Magreakciók hatáskeresztmetszet mérésének egyik módszere az aktivációs technika. Lényege, hogy a céltárgymagok a gyorsított ionnyaláb bombázás hatására, radioaktív végmagokká alakulnak. A besugárzás után a keletkezett aktivitást egy árnyékolt detektorral mérjük. Az aktivitásból és a besugárzás paramétereiből a besugárzás során keletkezett magok száma kiszámolható, így a reakció hatáskeresztmetszet meghatározható.

Dolgozatom második része a jelnöveléssel elérhető érzékenységnövelést mutatja be. Ehhez az aktivációs technikát a bomlást követő karakterisztikus röntgensugárzás detektálásával használtam a γ -sugárzás detektálása helyett.

2.a. A röntgendetektor árnyékolásának összeállítása, és a detektor érzékenységének összehasonlítása egy γ detektorával

A röntgensugárzás méréséhez egy LEGe (Low Energy Germanium) detektort használtam, amihez több rétegű árnyékolását terveztem és építettem. Az árnyékolás belülről kifelé haladva: 4 mm réz, 2 mm kadmium, 8 cm ólom. A detektor használhatóságának bizonyítására érzékenységét összehasonlítottam egy 100 % relatív hatásfokú HPGe detektorával, amit 10 cm ólomárnyékolás vett körül. Az érzékenység mérőszámaként a minimum detektálható aktivitást használtam. Dolgozatomban megmutatom, hogy az összeállított árnyékolásban a LEGe detektor a röntgen energiatartományban $\approx 3,5$ -szer érzékenyebb, és 350 keV γ -energiáig alkalmasabb az aktivitás mérésére, mint a 100 %-os HPGe detektor.

A vizsgált detektorok laboratóriumi háttér beütésszámait felhasználva megbecsültem az asztrofizikai γ -folyamathoz fontos α -indukált reakciók minimális energiáját, ahol a karakterisztikus röntgen- vagy a γ -sugárzás várható hozama még meghaladja a detektálási küszöböt. Megállapítottam, hogy a karakterisztikus röntgensugárzás detektálásával minden esetben kisebb energián mérhetők a reakciók – közelebb az asztrofizikailag fontos tartományhoz – sőt néhány reakciónál a Gamow ablak is elérhetővé válik. [R3, T3]

2.b. $^{169}\text{Tm}(\alpha, n)^{172}\text{Lu}$ és $^{169}\text{Tm}(\alpha, \gamma)^{173}\text{Lu}$ reakciók kisenergiás hatáskeresztmetszetének mérése

A karakterisztikus röntgensugárzás detektálásával végzett aktivációs módszer használhatóságát a ^{169}Tm izotóp α indukált hatáskeresztmetszeteinek mérésével demonstráltam. Az elem egyetlen stabil izotóppal rendelkezik, így a dúsítás természetesen megoldott. A detektálási küszöböt meghaladó hozamot eredményező α energiákon (12 MeV felett) az (α, n) és (α, γ) reakciók is lejátszódnak. A két keletkező lutécium izotópot nagy felezési idő különbségük segítségével (6,7 nap és 500 nap) választottuk szét. A besugárzás után az (α, n) csatorna reakciótermékének aktivitása okozta túlnyomóan a röntgen csúcsot, míg hónapokkal később már csak az (α, γ) reakciótermék aktivitása maradt a mintában. Ezúton röntgensugárzás detektálásával megtudtunk mérni egy olyan izotópon lejátszódó reakciót, amiből a keletkezett radioaktív elem aktivitásának mérése a hosszú felezési ideje miatt γ -sugárzás detektálása útján lehetetlennek mutatkozott. [R2, P3, C5]

Publications / Közlemények

Refereed scientific papers / Referált tudományos közlemények

- R1 **T. Szücs**, D. Bemmerer, C. Broggini, A. Caciolli, F. Confortola, P. Corvisiero, Z. Elekes, A. Formicola, Zs. Fülöp, G. Gervino, A. Guglielmetti, C. Gustavino, Gy. Gyürky, G. Imbriani, M. Junker, A. Lemut, M. Marta, C. Mazzocchi, R. Menegazzo, P. Prati, V. Roca, C. Rolfs, C. Rossi Alvarez, E. Somorjai, O. Straniero, F. Strieder, F. Terrasi, and H. P. Trautvetter (LUNA Collaboration),
An actively vetoed Clover γ -detector for nuclear astrophysics at LUNA,
European Physical Journal A **44**, 513 (2010)
- R2 G. Gy. Kiss, T. Rauscher, **T. Szücs**, Zs. Kertész, Zs. Fülöp, Gy. Gyürky, C. Fröhlich, J. Farkas, Z. Elekes, and E. Somorjai,
Determining reaction cross sections via characteristic X-ray detection: α -induced reactions on ^{169}Tm for the astrophysical γ -process,
Physics Letters B **695**, 419 (2011)
- R3 G. Gy. Kiss, **T. Szücs**, Gy. Gyürky, Zs. Fülöp, J. Farkas, Zs. Kertész, E. Somorjai, M. Laubenstein, C. Fröhlich, and T. Rauscher,
Activation method combined with characteristic X-ray counting: A possibility to measure (α, γ) cross sections,
Nuclear Physics A **867**, 52 (2011)
- R4 **T. Szücs**, D. Bemmerer, T. Cowan, D. Degering, Z. Elekes, Zs. Fülöp, Gy. Gyürky, A. Junghans, M. Köhler, M. Marta, R. Schwengner, A. Wagner, and K. Zuber,
Shallow-underground accelerator sites for nuclear astrophysics: Is the background low enough?
European Physical Journal A **48**, 8 (2012)

Conference proceedings and other papers / Konferencia kiadványok és egyéb közlemények

P1 **T. Szücs,**

Laboratory background of an escape-suppressed Clover γ -ray detector overground, shallow underground, and deep underground,
AIP Conference Proceedings **1213**, 246 (2010)

P2 **T. Szücs,**

Laboratory background of an escape-suppressed clover γ -ray detector at different environments, Acta Physica Debrecina **44**, 141 (2010)

P3 **T. Szücs,**

α induced cross section measurement on ^{169}Tm for the astrophysical γ -process, Acta Physica Debrecina **45**, 218 (2011)

P4 **T. Szücs,** D. Bemmerer, T. Cowan, and K. Zuber,

A possible underground accelerator in the Dresden Felsenkeller,
Journal of Physics: Conference Series **337**, 012032 (2012)

Presentations / Prezentációk

Talks / Előadások

T1 **T. Szücs,**

Laboratory background of an escape-suppressed Clover γ -ray detector overground, shallow underground, and deep underground,
5th European Summer School on Experimental Nuclear Astrophysics,
Santa Tecla, Catania, Italy, 20–27 September, 2009

T2 **T. Szücs,**

Laboratory γ -background studies with an actively shielded High Purity Germanium (HPGe) detector in Felsenkeller,
Work in Progress Seminar. Forschungszentrum Dresden Rossendorf,
Dresden, Germany, 2 October, 2009

T3 **T. Szücs,**

Current status of ATOMKI measurements, and future plans,
Workshop on Data Requirements in Nuclear Astrophysics,
Darmstadt, Germany, 25–27 July, 2010

Posters / Poszterek

- C1 **T. Szücs**, *et al.* (LUNA Collaboration)
An escape-suppressed Clover γ -ray detector overground and underground,
 Nuclear Physics in Astrophysics IV (NPA4),
 Frascati, Italy, 8–12 June, 2009
- C2 **T. Szücs**,
An escape-suppressed germanium gamma-ray detector at the Felsenkeller Underground Laboratory,
 4th PhD Seminar, Forschungszentrum Dresden Rossendorf,
 Dresden, Germany, 16–18 September, 2009
- C3 **T. Szücs**,
An escape-suppressed germanium γ -ray detector at the Felsenkeller underground laboratory,
 Underground Nuclear-Reaction Experiments for Astrophysics and Applications, Dresden, Germany, 28–30 April, 2010
- C4 D. Bemmerer, K. Zuber, and **T. Szücs**,
A possible accelerator laboratory in the Dresden Felsenkeller,
 11th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC XI),
 Heidelberg, Germany, 19–23 July, 2010
- C5 G. Gy. Kiss, Gy. Gyürky, T. Rauscher, **T. Szücs**, Zs. Kertész, J. Farkas, Zs. Fülöp, and E. Somorjai,
Measuring alpha-induce cross sections in the region of heavy p-nuclei: The case of $^{169}\text{Tm}+\alpha$,
 11th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC XI),
 Heidelberg, Germany, 19–23 July, 2010
- C6 D. Bemmerer, T. Cowan, **T. Szücs**, and K. Zuber,
A possible accelerator laboratory in the Dresden Felsenkeller,
 Nuclear Physics in Astrophysics V. (NPA5),
 Eilat, Israel, 3–8 April, 2011