

Doktori (PhD) értekezés tézisei
Thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

Mikrofókuszált protonnyaláb terelése szigetelő kapillárisal

**Guiding of microfocused proton beam with insulator
capillary**

Nagy Gyula

Témavezető/Supervisor: Dr. Rajta István



Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskola

University of Debrecen
Doctoral School of Physics

Debrecen, 2019

Készült
a Debreceni Egyetem Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának
Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban
programja keretében
az MTA Atommagkutató Intézetben

Prepared at
the University of Debrecen Doctoral School of Physics
and the Institute for Nuclear Research,
Hungarian Academy of Sciences

Bevezetés

Az ionok szigetelő kapillárisokon történő tereléses átvezetése során a beérkező ionnyaláb tengelye a kapilláris tengelyével akkora szöget zár be, hogy a kapilláris a nyaláb számára geometriailag átlátszatlan. Ennek köszönhetően a bejövő nyaláb először a kapilláris belső falának ütközik és egy töltésfoltot épít fel azon. Ennek a töltésfoltnak az elektrosztatikus tere a nyalábot a kapilláris kijárata felé irányítja, miközben megakadályozza az ionok anyaggal történő ütközését, ezáltal pedig a töltés- és energiaátadást. Közben további töltésfoltok is felépülhetnek a belső felületen, amelyek helye és erőssége is dinamikusan változik az idő előrehaladtával. A tereléssel átjutó nyaláb ütközések hiányában megőrzi a bejövő nyaláb energia- és töltésállapotát.

Az ionterelést a szakirodalom önszerveződő jelenségként tartja számon. A töltésfoltok dinamikus viselkedése, és a rendszer paramétereinek nagy száma (pl. ionenergia, tömeg, töltés, beesési szög, kapilláris átmérő, hossz, elektromos tulajdonságok, stb.) miatt az adott rendszer pontos viselkedésének leírása bonyolult feladat. A folyamat tervezhetősége miatt ezért a kutatók régóta vizsgálják kísérletileg a különböző paraméterek hatását, és elméleti modellek felállításával, számítógépes szimulációkon keresztül

vetik össze a kísérleti eredményeket az elméleti megfontolásokkal.

PhD dolgozatomban az MTA Atommagkutató Intézetben végzett iontereléssel kapcsolatos munkámról számolok be. A kísérleti munka során az Intézet 5 MV névleges terminálfeszültségű Van de Graaff gyorsítójára telepített pásztázó proton mikroszonda nyalábvéget, a számítógépes szimuláció fejlesztéséhez pedig a C programnyelvet használtam.

Új tudományos eredmények

Doktori munkám során 1 MeV energiájú, fókuszált protonnyaláb terelhetőségét vizsgáltam kísérleti és számítógépes szimulációs módszerekkel. A munkával elsőként mutattam meg, hogy lehetséges az 1 MeV energiájú protonnyaláb szigetelő kapillárisal történő tereléses átvitele. Kutatási eredményeimet az alábbi tézispontokban foglalom össze:

1. A kísérleti elrendezés összeállítása és számítógépes szimuláció fejlesztése

a) Kulcsszerepet játszottam egy olyan kísérleti elrendezés fejlesztésében, amellyel lehetővé vált az Atomki pásztázó proton mikroszondáján a gyors protonnyaláb szigetelő kapillárisal történő terelhetőségének kísérleti vizsgálata. Az elrendezéssel az ionterelés egy minden eddiginél átfogóbb vizsgálatára nyílt lehetőség. Az elrendezéssel elsőként sikerült kimutatni, hogy a MeV energiatartományban is lehetséges az ionok szigetelő kapillárison keresztüli tereléses átvitele [7].

b) Molekuláris dinamikai és Monte-Carlo módszereket alkalmazó, hibrid szimulációs kódot fejlesztettem, amellyel lehetővé vált a kísérletek számítógépes modellezése és értelmezése. A szimulációval lehetőség nyílt olyan folyamatok vizsgálatára is, amelyek vagy a kísérleti megvalósíthatóság,

vagy a felhasznált műszerek érzékenysége miatt problémát jelentettek volna [8].

2. Az átvezetés hatásfokának időbeli fejlődése és intenzitásfüggése

a) Kimutattam, hogy az átvitelben egy kezdeti emelkedő szakaszt követően nagy hatásfokú stabil átvezetés alakul ki. Megállapítottam, hogy a kísérletileg vizsgált intenzitástartományban a stabil átvezetés kialakulásához szükséges időtartam a bejövő nyalábárammal megközelítőleg fordítottan arányos, tehát a kapillárisba közel állandó mennyiségű töltést szükséges beinjektálni [1].

b) Szimulációkkal kimutattam, hogy a mérésekkel elérhetőnél alacsonyabb bejövő intenzitások esetén is kialakul a stabil átvitel, amely azonban kisebb hatásfokú. Optimális esetben ideiglenesen 100% átviteli hatásfokot is megfigyeltem. Kellően nagy intenzitások esetén azonban részleges blokkolás mutatkozott. A folyamat során instabillá vált az átvitel, amely az átvezetés hatásfokának lecsökkenésében nyilvánult meg [3].

3. Az energiaspektrum időbeli fejlődése

a) Az energiaspektrumok alapján az ionterelés három karakterisztikus szakaszát azonosítottam. A nyaláb beengedésekor csak szóródott, energiaveszteséget szenvedett részecskék jutottak át a kapillárison. Később, az átvitel hatásfokának emelkedése közben megjelent az átvezetett

nyalábban az eredeti nyalábenergiának megfelelő csúcs, amely egyre szignifikánsabbá vált. Végül, a stabil átvitel kialakulása után csak energiaveszteség nélküli protonok jutottak át a kapillárison, a részecskedetektor energiafeloldásának megfelelő energiaszórással [1],[5].

b) A számítógépes szimuláció jól reprodukálta az átvezetés három jól elkülönülő szakaszra tagolódását, valamint az ionenergia-spektrumok időbeli fejlődését is. A részecsketrajektóriák analizálásával megállapítottam, hogy ebben kulcsfontosságú szerepet játszik a nyaláb divergenciája. Azok a részecskék, amelyek a névleges beesési szögnél kisebb szög alatt érkeznek, hamarabb tudnak tereléssel átjutni a kapillárison, ugyanis a kisebb transzverzális sebességkomponensük miatt alacsonyabb potenciál is elég az elektrosztatikus eltérítésükhöz. Ha a kialakuló elektromos tér a legnagyobb beesési szög alatt érkező protonok eltérítéséhez is elég nagy, akkor kialakulhat a 100% hatásfokú átvezetés. Megállapítottam, hogy annak ellenére, hogy a tereléssel átjutó nyaláb energiaszórása megegyezik a bejövő nyalábéval, a kapilláris belsejében a protonok kinetikus energiája a kialakult potenciáltérnek megfelelően dinamikusan változik [5].

4. Az emissziós szög és annak intenzitásfüggése

a) Kísérletekkel kimutattam, hogy néhány pA bejövő intenzitás esetén az átvezetett nyaláb átlagos emissziós szöge a kapilláris döntési szögével közel megegyezik [2]. A szimuláció jóslatai

alaján 110 pA intenzitást használva kimutattam, hogy az átjutó nyaláb kilépési szöge az átvezetés emelkedésével dinamikusan növekszik, majd az átvezetés stabilizálódásával telítésbe megy [4].

b) A szimulációkkal megfigyeltem, hogy nagyobb bejövő intenzitás esetén az átvezetett nyaláb emissziós szöge dinamikus viselkedést mutat. Kezdetben a kapilláris tengelyével párhuzamosan haladnak tovább az ionok, később azonban egyre nagyobb eltérést szenvednek, míg ki nem kialakul egy, a bejövő intenzitástól függő egyensúlyi emissziós szög [3].

5. Az átvezetett nyaláb töltésállapota

Elektrosztatikus szeparációval kísérletileg bebizonyítottam, hogy a stabilizálódott átvezetés során a nyaláb teljes egészében megtartja eredeti töltésállapotát, az átjutó ionok nem semlegesítődnek a minta elektronjainak felvételével [2].

6. Az átvezetett ionok térbeli eloszlása

a) Azonosítottam egy elektrosztatikus kvadrupól lencséhez hasonló fókuszáló hatást. Mérésekkel meghatároztam, hogy az átvezetett nyaláb divergenciája a kapilláris forgatási síkjában a harmadára csökken, míg a merőleges síkban a duplájára emelkedik [4].

b) A szimulációval megmutattam, hogy az átvezetési folyamat során a tereléssel és a szóródással átjutó ionok emissziós szöge különböző. Az átvitel első fázisában, amíg csak előre szóródással – és ezáltal energiaveszteséggel – jutnak át a protonok, az emissziós szög tág tartományt fog át, azon belül kicsi intenzitásúrással. Később, amint megjelenik a tereléssel átjutó, energiaveszteség nélküli frakció, az már egy jól koncentrált nyalábfoltot alkot, azon belül jóval nagyobb intenzitásúrással. Közben a szóródással átjutó részecskék továbbra is a tág szögtartományba érkeznek. Végül a stabilizálódott átvitel szakaszában a nyaláb legnagyobb része tereléssel jut át, a kis nyalábfoltba koncentrálódva, nagy intenzitásúrással. Ha az átvitel nem éri el a 100%-ot, akkor továbbra is jelen vannak szóródott részecskék, de az intenzitásúrássuk elhanyagolható [6].

Introduction

During the guided transmission of ions through insulator capillaries, the incident beam axis forms large enough angle with the capillary axis so that the capillary is geometrically non-transparent for the beam. Due to this, the incident beam first hits the inner wall of the capillary and builds up a charge patch. The electrostatic field of this charge patch deflects the beam to the direction of the capillary exit, while inhibiting the collisions of the beam with material, and thus, the charge- and energy transfer. Further charge patches might form on the inner surface, whose position and strength dynamically change with time. The guided beam, in the lack of collisions, preserves the energy and charge state of the incoming beam.

Ion guiding is considered as a self-organized phenomenon, according to the literature. Due to the dynamic behavior of the charge patches, and the large number of the system parameters (e.g. ion energy, mass, charge, angle of incidence, capillary diameter, length, electric properties, etc.), exact description of a given system is a challenging task. For the plannability of the process, researchers have been investigating experimentally the effect of different parameters for a long time, and they compare the experimental results with theoretical considerations through computer simulations.

In my PhD thesis I am reporting on my work connected to ion guiding done at the Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences. For the experimental work I used the scanning nuclear microprobe beamline installed on the 5 MV Van de Graaff accelerator of the Institute, while for the development of computer simulations I used the C programming language.

New scientific results

In my PhD work, I investigated the guiding possibilities of 1 MeV, focused proton beam by means of experimental and computer simulation methods. With this work I showed for the first time that the guided transmission of 1 MeV proton beam through an insulating capillary is possible. I am summarizing my research results in the following thesis points:

1. Set-up of the experimental arrangement and development of computer simulation

a) I played a key role in the development of an experimental setup where the investigation of the guiding of swift proton beam became possible on the scanning nuclear microprobe of Atomki. The setup made the investigation of the ion guiding possible in a more comprehensive manner than ever before. Using this setup it was shown for the first time that the guided transmission of ions through an insulating capillary is possible even in the MeV energy range [7].

b) I have developed a hybrid simulation code that employs molecular dynamics as well as Monte-Carlo methods, with which the modeling and interpretation of the experiments became possible. This simulation gave me the opportunity to examine processes that would have been challenging to

observe due to either the experimental feasibility or the sensitivity of the instruments [8].

2. Temporal evolution and intensity dependence of the transmission efficiency

a) I showed that in the transmission process, after an initial phase of increase, high efficiency, stable transmission forms. I determined that in the experimentally investigated incident beam intensity range, the time needed for the formation of the stable transmission is approximately inversely proportional to the incoming beam current. This means that approximately constant charge needs to be injected into the capillary [1].

b) I showed with simulations that stable transmission forms even with low incoming intensities, but the efficiency will also be lower. In optimal situations I observed 100% transmission efficiency temporarily. In case of sufficiently high intensity I identified partial blocking. During this process the transmission became unstable, resulting in the decrease of the transmission efficiency [3].

3. Temporal evolution of the energy spectrum

a) Based on the energy spectra, I identified three characteristic stages of the guiding process. Upon entering the capillary, only scattered particles that suffered energy loss were able through the capillary. Later, with increasing transmission efficiency, the

peak according to the initial beam energy appeared in the transmitted beam, and it became more and more significant. Finally, after the stable transmission evolved, only protons without energy loss passed through the capillary, with energy spread equal to the energy resolution of the particle detector [1],[5].

b) The computer simulation reproduced well that the transmission divides into three, well separated stages, and the temporal evolution of the ion energy spectra, too. With the analysis of the particle trajectories I identified that beam divergence plays a key role in this process. Particles that have incident angle smaller than the nominal angle of incidence can be guided through the capillary earlier, since lower potential is enough for their electrostatic deflection due to their lower transversal velocity component. If the formed electric field is large enough to deflect protons that arrive in the largest angle of incidence, 100% efficiency transmission might form. I found that, although the energy spread of the guided beam equals to that of the incoming beam, the kinetic energy of protons dynamically changes along their trajectory according to the formed potential field inside the capillary [5].

4. The emission angle and its intensity dependence

a) I experimentally showed that, in case of few pA incident intensity, the mean emission angle of the transmitted beam equals to that of the capillary tilting angle [2]. Based on the

forecast of the simulation I experimentally showed, using 110 pA incoming intensity, that the emission angle of the transmitted beam dynamically rises with increasing transmission, and then with the stabilization of transmission it becomes saturated [4].

b) Using simulations I found that using larger incident intensity, the emission angle of the transmitted beam shows a dynamic behavior. First, ions pass through parallel to the capillary axis, but later as they suffer larger and larger deflection, a stable, incident intensity dependent emission angle is going to form [3].

5. Charge state of the transmitted beam

Using electrostatic separation I experimentally proved that in the phase of stabilized transmission, the whole beam keeps its initial state of charge, the transmitted ions are not neutralized by capturing electrons from the sample [2].

6. Spatial distribution of the transmitted ions.

a) I identified a focusing effect similar to that of an electrostatic quadrupole lens. I determined that the divergence of the transmitted beam decreases to one third in the capillary tilting plane, while doubles in the perpendicular plane [4].

b) I showed with simulation that, during the transmission process, the emission angle of the guided and scattered ions differ from each other. In the first stage of the transmission, while protons pass through the capillary only due to forward scattering, the emission angle covers a broad range with low intensity density. Later, when the guided beam fraction appears, it forms a well concentrated beam spot with significantly larger intensity density. The scattered particles still arrive into the broad angular range. Finally, in the stage of the stabilized transmission, the majority of the beam passes the capillary due to ion guiding, and it is concentrated into the small beam spot, with high intensity density. If the transmission does not reach 100%, scattered particles are still present, but their intensity density is negligible [6].

A PhD értekezés alapjául szolgáló impakt faktoros közlemények / Publications with impact factor related to the dissertation

- [1] **G.U.L. Nagy**, I. Rajta, R.J. Berezky, K. Tókési, *Incident beam intensity dependence of the charge-up process of the guiding of 1 MeV proton microbeam through a Teflon microcapillary*, Eur. Phys. J. D, **69**: 102 (2015).
<https://doi.org/10.1140/epjd/e2015-50718-3>
- [2] I. Rajta, **G.U.L. Nagy**, R.J. Berezky, K. Tókési, *Interaction of proton microbeam with the inner surface of a polytetrafluoroethylene macrocapillary*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, **354** (2015) 328-331.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2014.12.042>
- [3] **G.U.L. Nagy**, S.Z. Szilasi, I. Rajta, K. Tókési, *Simulation of the time evolution of 1 MeV proton microbeam transmission through an insulating macrocapillary*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, **406** (2017) 417-420.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.02.025>
- [4] **G.U.L. Nagy**, E. Giglio, I. Rajta, K. Tókési, *Transmission dynamics of 1 MeV H^+ microbeam guided through an insulating macrocapillary*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, In Press, Corrected Proof.
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.11.045>

Az értekezés alapjául szolgáló, beküldés vagy előkészítés alatt álló publikációk / Publications related to the dissertation, under submission or preparation

- [5] **G.U.L. Nagy**, I. Rajta, R.J. Berezky, K. Tókési, *Temporal evolution of the energy distribution of protons guided through an insulating macrocapillary*, Beküldve a Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B folyóiratba.
- [6] **G.U.L. Nagy**, I. Rajta, K. Tókési, *Spatial distribution of protons guided through an insulating macrocapillary*, Publikáció előkészítés alatt.

Az értekezés alapjául szolgáló egyéb közlemények / Other publications related to the dissertation

- [7] **G.U.L. Nagy**, I. Rajta, R.J. Berezky, K. Tókési, *Experimental setup for guiding of 1 MeV proton microbeam*, AIP Conf. Proc. **1525** (2013) 40.
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4802286>
- [8] **G.U.L. Nagy**, I. Rajta, K. Tókési, *2D simulation of 1 MeV proton microbeam transmission through an insulating macrocapillary*, In: Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures, 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG 2016) 29 August - 2 September 2016, Belgrade, Serbia. Eds.: Dragana Marić, Aleksandar

Milosavljević, Bratislav Obradović and Goran Poparić.
(2016) 172-173.

<http://www.spig2016.ipb.ac.rs/spig2016-book-online.pdf>

Az értekezéshez nem kapcsolódó impakt faktoros közlemények / Publications with impact factor not related to the dissertation

- [9] I. Bányász, I. Rajta, **G.U.L. Nagy**, Z. Zolnai, V. Havranek, S. Pelli, M. Veres, S. Berneschi, G. Nunzi-Conti, G.C. Righini, *Fabrication of optical channel waveguides in crystals and glasses using macro- and micro ion beams*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, **331** (2014) 157-162.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2013.12.042>
- [10] W. Kuznik, I. Fuks-Janczarek, A. Wojciechowski, I.V. Kityk, V. Kiisk, A. Majchrowski, L.R. Jaroszewicz, M.G. Brik, **G.U.L. Nagy**, *Absorption, fluorescence and second harmonic generation in Cr³⁺-doped BiB₃O₆ glasses*, Spectrochim. Acta A, **145** (2015) 325-328.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2015.03.041>
- [11] **G.U.L. Nagy**, I. Rajta, R.J. Bereczky, K. Tókési, *Energy distribution of proton microbeam transmitted through two flat plates*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, **354** (2015) 317-320.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.01.020>
- [12] I. Rajta, R. Huszánk, A.T.T. Szabó, **G.U.L. Nagy**, Sz. Szilasi, P. Fürjes, E. Holczer, Z. Fekete, G. Járvás, M.

Szigeti, L. Hajba, J. Bodnár, A. Guttman, *Tilted pillar array fabrication by the combination of proton beam writing and soft lithography for microfluidic cell capture: Part 1 Design and feasibility*, *Electrophoresis* **37** (2016) 498-503.

<https://doi.org/10.1002/elps.201500254>

- [13] A. Ponomarov, I. Rajta, **Gy. Nagy**, O.V. Romanenko, *Single-stage quintuplet for upgrading triplet based lens system: Simulation for Atomki microprobe*, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, **404** (2017) 34-40.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.01.057>

- [14] **G.U.L. Nagy**, V. Lavrentiev, I. Bányász, S.Z. Szilasi, V. Havranek, V. Vosecek, R. Huszánk, I. Rajta, *Compaction of polydimethylsiloxane due to nitrogen ion irradiation and its application for creating microlens arrays*, *Thin Solid Films*, **636** (2017) 634-638.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2017.07.015>

- [15] E. Giglio, S. Guillous, A. Cassimi, H.Q. Zhang, **G.U.L. Nagy**, K. Tókési, *Evolution of the electric potential of an insulator under charged particle impact*, *Phys. Rev. A* **95** (2017) 030702(R).

<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.95.030702>

- [16] T. Nichol, **Gy. Nagy**, R. Huszánk, D. Tenne, M.N. Kozicki, H.J. Barnaby, I. Rajta, M. Mitkova, *Proton Beam Effects on Ge–Se/Ag Thin Films*, *Phys. Status Solidi B*, **255** (2018) 1700453.

<https://doi.org/10.1002/pssb.201700453>

- [17] I. Rajta, **G.U.L. Nagy**, I. Vajda, S.Z. Szilasi, G.W. Grime, F. Watt, *First resolution test results of the Atomki nuclear nanoprobe*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. **449** (2019) 94-98.
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2019.03.056>
- [18] O. Romanenko, M. Cutroneo, V. Havranek, A. Mackova, M. Davidkova, A.G. Ponomarev, **Gy. Nagy**, J. Stammers, *Performance and application of heavy ion nuclear microbeam facility at the Nuclear Physics Institute in Řež, Czech Republic*, Rev. Sci. Instr. **90** (2019) 013701.
<https://doi.org/10.1063/1.5070121>
- [19] **G.U.L. Nagy**, R. Kerékgyártó, A. Csík, L. Daróczi, I. Rajta, *Morphological changes of poly(tetrafluoroethylene) surface due to low current density proton irradiation*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B **449** (2019) 71-74.
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2019.04.050>



Nyilvántartási szám: DEENK/259/2019.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Nagy Gyula
Neptun kód: XFWWYS
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10034251

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

1. **Nagy, G.**, Giglio, E., Rajta, I., Tőkési, K.: Transmission dynamics of 1 MeV H⁺ microbeam guided through an insulating macrocapillary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. [Epub], 1-4, 2019.
ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.11.045>
IF: 1.323 (2017)
2. **Nagy, G.**, Szilasi, S., Rajta, I., Tőkési, K.: Simulation of the time evolution of 1 MeV proton microbeam transmission through an insulating macrocapillary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 406, 417-420, 2017. ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.02.025>
IF: 1.323
3. **Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Incident beam intensity dependence of the charge-up process of the guiding of 1 MeV proton microbeam through a Teflon microcapillary.
Eur. Phys. J. D. 69 (102), 1-4, 2015. ISSN: 1434-6060.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epjd/e2015-50718-3>
IF: 1.208
4. Rajta, I., **Nagy, G.**, Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Interaction of proton microbeam with the inner surface of a polytetrafluoroethylene macrocapillary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 354, 328-331, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2014.12.042>
IF: 1.389





Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

- Nagy, G.**, Rajta, I., Tőkési, K.: 2D simulation of 1 MeV proton microbeam transmission through an insulating macrocapillary.
In: Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures. Eds.: Dragana Marić, Aleksandar Milosavljević, Bratislav Obradović, Goran Poparić, University of Belgrade, Belgrade, 170-173, 2016. ISBN: 9788684539146
- Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Experimental setup for studying guiding of proton microbeam.
AIP Conf. Proc. 1525, 40-42, 2013. ISSN: 0094-243X.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

- Tőkési, K., Rajta, I., **Nagy, G.**, Bereczky, R. J.: Can the ions be guided with MeV/amu energies? The case of the 1 MeV proton microbeam.
J. Phys.: Conf. Ser. 488, 132019, 2014. ISSN: 1742-6588.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/488/13/132019>
- Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Guiding of MeV ion beams.
In: CEPAS 2014 : Contributed Papers. Eds.: Štefan Matejíček, Peter Papp, Ondrej Bogár, Comenius University, Bratislava, 11-12, 2014. ISBN: 9788081470219

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (11)

- Rajta, I., **Nagy, G.**, Vajda, I., Szilasi, S., Grime, G. W., Watt, F.: First resolution test results of the Atomki nuclear nanoprobe.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 449, 94-98, 2019.
ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2019.03.056>
IF: 1.323 (2017)
- Nagy, G.**, Kerégyártó, R., Csik, A., Daróczy, L., Rajta, I.: Morphological changes of poly(tetrafluoroethylene) surface due to low current density proton irradiation.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 449, 71-74, 2019.
ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2019.04.050>
IF: 1.323 (2017)





11. Romanenko, O. V., Cutroneo, M., Havranek, V., Mackova, A., Davidkova, M., Ponomarev, A. G., **Nagy, G.**, Stammers, J.: Performance and application of heavy ion nuclear microbeam facility at the Nuclear Physics Institute in Řež, Czech Republic.
Rev. Sci. Instrum. 90 (1), 1-12, 2019. ISSN: 0034-6748.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5070121>
IF: 1.428 (2017)
12. Nichol, T., **Nagy, G.**, Huszánk, R., Tenne, D., Kozicki, M. N., Barnaby, H. J., Rajta, I., Mitkova, M.: Proton beam effects on Ge-Se/Ag thin films.
Phys. Status Solidi B-Basic Solid State Phys. 255 (6), 1-7, 2018. ISSN: 0370-1972.
DOI: <https://doi.org/10.1002/pssb.201700453>
IF: 1.729 (2017)
13. **Nagy, G.**, Lavrentiev, V., Bányász, I., Szilasi, S., Havranek, V., Voseček, V., Huszánk, R., Rajta, I.: Compaction of polydimethylsiloxane due to nitrogen ion irradiation and its application for creating microlens arrays.
Thin Solid Films. 636, 634-638, 2017. ISSN: 0040-6090.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2017.07.015>
IF: 1.939
14. Giglio, E., Guillous, S., Cassimi, A., Zhang, H. Q., **Nagy, G.**, Tőkési, K.: Evolution of the electric potential of an insulator under charged particle impact.
Phys. Rev. A. 95, 1-5, 2017. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.95.030702>
IF: 2.909
15. Ponomarov, A., Rajta, I., **Nagy, G.**, Romanenko, O. V.: Single-stage quintuplet for upgrading triplet based lens system: Simulation for Atomki microprobe.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 404, 34-40, 2017. ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.01.057>
IF: 1.323
16. Rajta, I., Huszánk, R., Szabó, A. T. T., **Nagy, G.**, Szilasi, S., Fűrjes, P., Holczer, E., Fekete, Z., Járvas, G., Szigeti, M., Hajba, L., Bodnár, J., Guttman, A.: Tilted pillar array fabrication by the combination of proton beam writing and soft lithography for microfluidic cell capture: Part 1 Design and feasibility.
Electrophoresis. 37 (3), 498-503, 2016. ISSN: 0173-0835.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/elps.201500254>
IF: 2.744





17. Kuznik, W., Fuks-Janczarek, I., Wojciechowski, A., Kityk, I. V., Kiisk, V., Majchrowski, A., Jaroszewicz, L. R., Brik, M. G., **Nagy, G.**: Absorption, fluorescence and second harmonic generation in Cr³⁺-doped BiB₃O₆ glasses.
Spectroc. Acta Pt. A-Molec. Biomolec. Spectr. 145, 325-328, 2015. ISSN: 1386-1425.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2015.03.041>
IF: 2.653
18. **Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tókési, K.: Energy distribution of proton microbeam transmitted through two flat plates.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 354, 317-320, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.01.020>
IF: 1.389
19. Bányász, I., Rajta, I., **Nagy, G.**, Zolnai, Z., Havranek, V., Pelli, S., Veres, M., Berneschi, S., Nunzi-Conti, G., Righini, G. C.: Fabrication of optical channel waveguides in crystals and glasses using macro- and micro ion beams.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 331, 157-162, 2014. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2013.12.042>
IF: 1.124

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 25,127

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre): 5,243

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2019.06.11.





Registry number: DEENK/259/2019.PL
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Gyula Nagy
Neptun ID: XFWWYS
Doctoral School: Doctoral School of Physics
MTMT ID: 10034251

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (4)

1. **Nagy, G.**, Giglio, E., Rajta, I., Tőkési, K.: Transmission dynamics of 1 MeV H⁺ microbeam guided through an insulating macrocapillary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. [Epub], 1-4, 2019.
ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.11.045>
IF: 1.323 (2017)
2. **Nagy, G.**, Szilasi, S., Rajta, I., Tőkési, K.: Simulation of the time evolution of 1 MeV proton microbeam transmission through an insulating macrocapillary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 406, 417-420, 2017. ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.02.025>
IF: 1.323
3. **Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Incident beam intensity dependence of the charge-up process of the guiding of 1 MeV proton microbeam through a Teflon microcapillary.
Eur. Phys. J. D. 69 (102), 1-4, 2015. ISSN: 1434-6060.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epjd/e2015-50718-3>
IF: 1.208
4. Rajta, I., **Nagy, G.**, Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Interaction of proton microbeam with the inner surface of a polytetrafluoroethylene macrocapillary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 354, 328-331, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2014.12.042>
IF: 1.389





Foreign language conference proceedings (2)

5. **Nagy, G.**, Rajta, I., Tőkési, K.: 2D simulation of 1 MeV proton microbeam transmission through an insulating macrocapillary.
In: Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures. Eds.: Dragana Marić, Aleksandar Milosavljević, Bratislav Obradović, Goran Poparić, University of Belgrade, Belgrade, 170-173, 2016. ISBN: 9788684539146
6. **Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Experimental setup for studying guiding of proton microbeam.
AIP Conf. Proc. 1525, 40-42, 2013. ISSN: 0094-243X.

Foreign language abstracts (2)

7. Tőkési, K., Rajta, I., **Nagy, G.**, Bereczky, R. J.: Can the ions be guided with MeV/amu energies? The case of the 1 MeV proton microbeam.
J. Phys.: Conf. Ser. 488, 132019, 2014. ISSN: 1742-6588.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/488/13/132019>
8. **Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tőkési, K.: Guiding of MeV ion beams.
In: CEPAS 2014 : Contributed Papers. Eds.: Štefan Matejčík, Peter Papp, Ondrej Bogár, Comenius University, Bratislava, 11-12, 2014. ISBN: 9788081470219

List of other publications

Foreign language scientific articles in international journals (11)

9. Rajta, I., **Nagy, G.**, Vajda, I., Szilasi, S., Grime, G. W., Watt, F.: First resolution test results of the Atomki nuclear nanoprobe.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 449, 94-98, 2019.
ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2019.03.056>
IF: 1.323 (2017)
10. **Nagy, G.**, Kerégyártó, R., Csik, A., Daróczi, L., Rajta, I.: Morphological changes of poly(tetrafluoroethylene) surface due to low current density proton irradiation.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 449, 71-74, 2019.
ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2019.04.050>
IF: 1.323 (2017)





11. Romanenko, O. V., Cutroneo, M., Havranek, V., Mackova, A., Davidkova, M., Ponomarev, A. G., **Nagy, G.**, Stammers, J.: Performance and application of heavy ion nuclear microbeam facility at the Nuclear Physics Institute in Řež, Czech Republic.
Rev. Sci. Instrum. 90 (1), 1-12, 2019. ISSN: 0034-6748.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5070121>
IF: 1.428 (2017)
12. Nichol, T., **Nagy, G.**, Huszánk, R., Tenne, D., Kozicki, M. N., Barnaby, H. J., Rajta, I., Mitkova, M.: Proton beam effects on Ge-Se/Ag thin films.
Phys. Status Solidi B-Basic Solid State Phys. 255 (6), 1-7, 2018. ISSN: 0370-1972.
DOI: <https://doi.org/10.1002/pssb.201700453>
IF: 1.729 (2017)
13. **Nagy, G.**, Lavrentiev, V., Bányász, I., Szilasi, S., Havranek, V., Voseček, V., Huszánk, R., Rajta, I.: Compaction of polydimethylsiloxane due to nitrogen ion irradiation and its application for creating microlens arrays.
Thin Solid Films. 636, 634-638, 2017. ISSN: 0040-6090.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2017.07.015>
IF: 1.939
14. Giglio, E., Guillous, S., Cassimi, A., Zhang, H. Q., **Nagy, G.**, Tőkési, K.: Evolution of the electric potential of an insulator under charged particle impact.
Phys. Rev. A. 95, 1-5, 2017. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.95.030702>
IF: 2.909
15. Ponomarov, A., Rajta, I., **Nagy, G.**, Romanenko, O. V.: Single-stage quintuplet for upgrading triplet based lens system: Simulation for Atomki microprobe.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 404, 34-40, 2017. ISSN: 0168-583X.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.01.057>
IF: 1.323
16. Rajta, I., Huszánk, R., Szabó, A. T. T., **Nagy, G.**, Szilasi, S., Fűrjes, P., Holczer, E., Fekete, Z., Járvas, G., Szigeti, M., Hajba, L., Bodnár, J., Guttman, A.: Tilted pillar array fabrication by the combination of proton beam writing and soft lithography for microfluidic cell capture: Part 1 Design and feasibility.
Electrophoresis. 37 (3), 498-503, 2016. ISSN: 0173-0835.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/elps.201500254>
IF: 2.744





17. Kuznik, W., Fuks-Janczarek, I., Wojciechowski, A., Kityk, I. V., Kiisk, V., Majchrowski, A., Jaroszewicz, L. R., Brik, M. G., **Nagy, G.**: Absorption, fluorescence and second harmonic generation in Cr³⁺ -doped BiB₃O₆ glasses.
Spectroc. Acta Pt. A-Molec. Biomolec. Spectr. 145, 325-328, 2015. ISSN: 1386-1425.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2015.03.041>
IF: 2.653
18. **Nagy, G.**, Rajta, I., Bereczky, R. J., Tókési, K.: Energy distribution of proton microbeam transmitted through two flat plates.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 354, 317-320, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.01.020>
IF: 1.389
19. Bányász, I., Rajta, I., **Nagy, G.**, Zolnai, Z., Havranek, V., Pelli, S., Veres, M., Berneschi, S., Nunzi-Conti, G., Righini, G. C.: Fabrication of optical channel waveguides in crystals and glasses using macro- and micro ion beams.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 331, 157-162, 2014. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2013.12.042>
IF: 1.124

Total IF of journals (all publications): 25,127

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 5,243

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

11 June, 2019

