

Magyar–német (TKA–DAAD) kutatócsere projekt

Záró beszámoló

A projekt adatai:

Nyilvántartási szám: 64975

Projektcím: Szuszpenziók és szemcsés anyagok folyási tulajdonságai

Magyar projektvezető neve: Dr. Börzsönyi Tamás

Magyar intézmény neve: MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

Német projektvezető neve: Prof. Dr. Ralf Stannarius

Német intézmény neve: Otto–von–Guericke Universitaet Magdeburg

Támogatási időszak: 2015–2016

A. A projektidőszakban elvégzett munka összefoglalása (max. 2 oldal)

A kutatócsere projekt keretében a nanorészecskéket tartalmazó szuszpenziók és a makroszkopikus szemcsékből álló anyagok folyási tulajdonságait vizsgáltuk. Magyar oldalról minden németországi utazás lezárult, és a külföldön töltött napok száma pontosan megegyezik a tervezettel. Német oldalról a beutazások nagyobbik része már lezajlott, a fennmaradókat a projekt hátralevő részében fogjuk megvalósítani.

Az alábbiakban időrendi sorrendben számolunk be a megvalósult utazások részleteiről:

(1) Ahmed Ashour 2015 április-májusban 23 napot töltött a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban. Méréseket végzett Szabó Balázzsal és Börzsönyi Tamással, melyekben hosszúság, gömb és lapított alakú (lencse-szerű) részecskékből álló szemcsés anyagok folyását és torlódását vizsgálta kvázi 2 dimenziós silóban. A mérések eredményeiből 1 publikáció van előkészületben.

(2 és 3) Szabó Balázs és Börzsönyi Tamás 2015 májusában 7 napot töltött a magdeburgi Otto von Guericke Egyetemen, és Sandra Wegnerrel közösen röntgen tomográfias (CT) méréseket végeztek, melyben hosszúság, gömb és lapított alakú részecskék torlódási geometriáját térképeztük fel 3D siló geometriában. Ez a munka szorosan kapcsolódik az (1) látogatás során Budapesten végzett mérésekhez. Az eredményekből egy közös publikáció készült [3] – lásd alább.

(4-5) Lévay Sára és Szabó Bence 2015 júliusában 15 - 15 napot töltött a magdeburgi Otto von Guericke Egyetemen. Tilo Fingerrel és Ralf Stannariussal méréseket végeztek, melyekkel a különböző méretű részecskéket tartalmazó szemcsés keverékekben folyás során megfigyelhető szegregációt tanulmányozták. Ennek a látogatásnak az eredménye az alább megadott [1] sz. közös publikációban került bemutatásra.

(6 és 7) Szabó Balázs és Börzsönyi Tamás 2015 októberében 9 - 9 napra a magdeburgi Otto von Guericke Egyetemre utazott és David Fischerrel közösen röntgen tomográfias (CT) méréseket végzett, melyekben lapított (lencse) alakú részecskékből álló szemcsés anyag nyírása során

megfigyelhető másodlagos áramlást vizsgálják. Mindkét fiatal kutató (David Fischer és Szabó Balázs) mélyítette a CT berendezés használatához kapcsolódó tudását.

(8) Prof. Ralf Stannarius 2015 decemberében 6 napot töltött Budapesten, Börzsönyi Tamással közös publikációk előkészítésén dolgozott.

(9) Kirsten Harth 2015 decemberében 18 napot töltött a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban. Méréseket végzett Szabó Balázzsal és Börzsönyi Tamással, melyekben hosszúkás részecskékből álló szemcsés anyag folyási tulajdonságait vizsgálta.

(10) David Fischer 2015 decemberében 14 napot töltött a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban. A nyírásnak kitett, elnyújtott alakú részecskékből álló szemcsés anyag viselkedését vizsgálta. Az eredményekből az [5] sz. publikációban (lásd alább) számoltunk be.

(11) Lévay Sára 2016 júniusában 21 napot töltött a magdeburgi Otto von Guericke Egyetemen. David Fischerrel méréseket végzett, melyekben frusztrált kvázi-2D szemcsés rendszereket vizsgáltak, az adatok kiértékelése folyamatban van. Numerikus szimulációkat is végzett egy tartályban folyó szemcsés anyag modellezésére. Ennek a munkának az eredményeiből egy publikáció már benyújtásra került egy konferenciakiadványhoz (lásd alul: [7]).

(12) Nádasi Hajnalka 2016 augusztusában 6 napot töltött a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban, ahol Börzsönyi Tamással és Salamon Péterrel reológiai méréseket végeztek hosszúkás nanorészecskéket tartalmazó szuszpenziókkal. A mérések adatai feldolgozás alatt állnak.

(13) Kocsis Levente 2016 októberében 17 napot töltött a magdeburgi Otto von Guericke Egyetemen, ahol Ahmed Ashourral, Börzsönyi Tamással és Ralf Stannariussal a két-dimenziós szemcsés rendszerekben megfigyelhető torlódási jelenségeket vizsgáltak.

(14) Szabó Balázs 2016 októberében 8 napot töltött a magdeburgi Otto von Guericke Egyetemen, ahol Börzsönyi Tamással röntgen tomográfias méréseket végeztek melyekben szemcsés keverékekben nyírás hatására kialakuló szegregációt vizsgáltak, valamint David Fischerrel a frusztrált kvázi-2D szemcsés rendszerek viselkedésének kiértékelésére fejlesztett szoftvert (a fenti 11-es utazáshoz kapcsolódóan).

(15) Börzsönyi Tamás 2016 októberében 16 napot töltött a magdeburgi Otto von Guericke Egyetemen, ahol Szabó Balázzsal röntgen tomográfias méréseket végzett (szegregáció), Kocsis Leventével, Ahmed Ashourral és Ralf Stannariussal a két-dimenziós szemcsés rendszerekben megfigyelhető torlódási jelenségeket vizsgált, valamint Ralf Stannariussal a közös publikációk előkészítésén dolgozott.

A fennmaradó beutazások:

(16) Kirsten Harth 2016 decemberében 6 napot fog a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban tölteni, ahol Szabó Balázzsal és David Fischerrel a frusztrált kvázi-2D szemcsés rendszerek viselkedésének kiértékelését fogják folytatni.

(17) David Fischer 2016 decemberében 15 napot fog a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban tölteni, ahol Szabó Balázzsal a frusztrált kvázi-2D szemcsés rendszerek viselkedésének kiértékelését fogják folytatni.

(18) Ralf Stannarius 2016 decemberében 6 napot fog a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban tölteni, ahol Börzsönyi Tamással további publikációk előkészítésén fognak dolgozni, valamint egy intézeti szemináriumot fog tartani.

(19) Tina Hanselka 2017 januárjában 7 napot fog a budapesti Wigner Fizikai Kutatóközpontban tölteni, ahol szemcsés rendszerek folyási tulajdonságait fogja vizsgálni.

B. A közös projekt eredményei (max. 2 oldal)

A projekt eredményeit tudományos szempontból elemezve kiemelendők a magas impakt faktorú publikációkban közzétett eredmények:

Gömb alakú forgó tartályban megfigyelhető szegregációs jelenségeket vizsgáltunk kísérleti módszerekkel, és számszerűsítettük, hogy a két különböző szemcseméretű komponens tartalmazó mintában, a tartály forgatásának hatására, a töltési hányad és a keverék koncentrációjának függvényében milyen módon válik szét a két komponens. Ezeket az eredményeket a következő publikációban tettük közzé:

[1] T. Finger, F. Rueling, B. Szabó, S. Lévy, T. Börzsönyi, and R. Stannarius, *Segregation of granular mixtures in a spherical tumbler*, Phys. Rev. E **93**, 032903 (2016), IF: 2.288

Magneto-optikai kísérleteket végeztünk lapocskákat tartalmazó nanoszuszpenziókkal. Megfigyeléseink szerint az általunk vizsgált minta mágneses tér bekapcsolására nem mutat jelentős irányrendeződést. Ugyanezen minta kis mennyiségű mágneses nanorészecskével kiegészítve teljesen máshogy viselkedett: mágneses tér bekapcsolására különösen erős optikai választ adott. Az eredményeket a következő publikációban foglaltuk össze:

[2] K. May, A. Eremin, R. Stannarius, B. Szabó, T. Börzsönyi, I. Appel, S. Behrens, and S. Klein, *Exceptionally large magneto-optical response in dispersions of plate-like nanocrystallites and magnetic nanoparticles* Journal of Magnetism and Magnetic Materials (2016), Impakt faktor: 2.357

Kísérleti vizsgálatokat végeztünk az elnyújtott részecskékből álló szemcsés anyagok torlódási folyamatainak számszerűsítése. Megmutattuk, hogy a részecskék egy tartályból való kifolyás során az áramvonalakkal közel párhuzamosan orientálódnak. Ennek a rendeződésnek az ellenére torlódás valószínűségét nagyobbak találtuk, mint ugyanakkora térfogatú gömb alakú részecskékre. Ezeket az eredményeket a következő két folyóiratcikkben publikáltuk:

[3] T. Börzsönyi, E. Somfai, B. Szabó, S. Wegner, P. Mier, G. Rose and R. Stannarius, *Packing, alignment and flow of shape-anisotropic grains in a 3D silo experiment*. New J. Phys. **18**, 093017 (2016), Impakt faktor: 3.57

[4] A. Ashour, S. Wegner, T. Trittel, T. Börzsönyi, and R. Stannarius, *Outflow and clogging of shape-anisotropic grains in hoppers with small apertures*, Soft Matter (2016), IF: 3.798

Anizometrikus (elnyújtott vagy lapított) alakú részecskékből álló szemcsés anyagban nyírás hatására másodlagos konvekció alakulhat ki, melyben a részecskék az elsődleges áramlásra merőleges irányba is elmozdulnak. Ezt a jelenséget térképeztük fel különböző alakú részecskék esetében. Az eredményeket a következő publikációban tettük közzé:

[5] D. Fischer, T. Börzsönyi, D.S. Nasato, T. Pöschel, and R. Stannarius, *Heaping and secondary flows in sheared granular materials*, New J. Phys. **18**, 113006 (2016), IF: 3.57

A projekt keretében számos egyetemi, ill. PhD hallgató vett részt a két laboratórium kutatásaiban. A két csoport közötti együttműködés nagyon sikeresnek bizonyult, amit az is igazol, hogy 5 közös publikáció már meg is jelent magas színvonalú nemzetközi folyóiratban, és 2 további előkészületben van. Ezen kívül 3 kézirat került benyújtásra referált konferenciakiadványhoz. Az eredmények 6 alkalommal kerültek bemutatásra nemzetközi konferencia előadás, valamint 6 alkalommal poszter formájában. Ezen túl a kollaboráció témájából három PhD disszertáció és egy diplomamunka is készült.

C. Az együttműködés további szempontjai: (max. 3 oldal)

1. Mennyiben alapulnak a projekt elért eredményei a német–magyar együttműködésen?

A projekt eredményei tisztán ennek a két csoportnak a kutatócsere által segített együttműködésén alapulnak.

2. Hogyan befolyásolta a támogatás a projekt előmenetelét?

A MÖB–DAAD kutatócsere projekt anyagi támogatása alapvető fontosságú volt a két kutatócsoport sikeres együttműködésében. A fent említett utazások nélkülözhetetlenek voltak a közös mérések kivitelezéséhez, a diszkussiókhoz, a doktorandusz és egyetemista hallhatók tapasztalatszerzéséhez, valamint a számos közös publikáció szerkesztéséhez.

3. Hogyan csatlakozott a második évi munka az első év eredményeihez?

A második évi munka közvetlen folytatása az első évnek, a két éves projektben célirányosan haladtunk a kutatásban, folyamatosan építve az addig elért eredményekre.

4. Milyen szempontból volt jelentős a projekt a fiatal kutatók tapasztalatszerzése, szakmai fejlődése szempontjából?

A magyar fiatal kutatók a németországi látogatásukkor megismerkedhettek modern kísérleti technikákkal (pl. Röntgentomográfias mérések a szemcsés anyagok szerkezetének vizsgálatára), a német fiatal kutatók megismerkedtek a budapesti csoport mérési módszereivel (gyors kamerás mérések, reometriai vizsgálatok). A közös kutatás igen eredményes volt (lásd alább a közös publikációk és konferencia prezentációk listáját) – kiemelendő, hogy a kutatásban való részvételen túl a fiatalok saját maguk is előadták az eredményeket nemzetközi konferenciákon.

5. Sorolja fel azokat a hazai vagy külföldi tudományos közleményeket és publikációkat, amelyek az együttműködés eredményeként jelentek meg!

Publikációk:

[1] T. Finger, F. Rueling, B. Szabó, S. Lévy, T. Börzsönyi, and R. Stannarius, *Segregation of granular mixtures in a spherical tumbler*, Phys. Rev. E **93**, 032903 (2016), IF: 2.288

[2] K. May, A. Eremin, R. Stannarius, B. Szabó, T. Börzsönyi, I. Appel, S. Behrens, and S. Klein, *Exceptionally large magneto-optical response in dispersions of plate-like nanocrystallites and magnetic nanoparticles*, J. Magn. Magn. Mat. (2016), IF: 2.357

[3] T. Börzsönyi, E. Somfai, B. Szabó, S. Wegner, P. Mier, G. Rose and R. Stannarius, *Packing, alignment and flow of shape-anisotropic grains in a 3D silo experiment*. New J. Phys. **18**, 093017 (2016), Impakt faktor: 3.57

[4] A. Ashour, S. Wegner, T. Trittel, T. Börzsönyi, and R. Stannarius, *Outflow and clogging of shape-anisotropic grains in hoppers with small apertures*, Soft Matter (2016), IF: 3.798

[5] D. Fischer, T. Börzsönyi, D.S. Nasato, T. Pöschel, and R. Stannarius, *Heaping and secondary flows in sheared granular materials*, New J. Phys. **18**, 113006 (2016), IF: 3.57

Már benyújtott konferenciakiadvány kéziratok:

[6] T. Börzsönyi, E. Somfai, B. Szabó, S. Wegner, A. Ashour, R. Stannarius, *Elongated grains in a hopper*, Powders and Grains 2017 c. konferencia (Montpellier, France), Proceedings.

- [7] J. Török, S. Lévy, B. Szabó, E. Somfai, S. Wegner, R. Stannarius, *Archiving in three-dimensional clogging*, Powders and Grains 2017 c. konf. (Montpellier, France), Proceedings.
- [8] R. Stannarius, D. Fischer, T. Börzsönyi, *Heaping and secondary flows in sheared granular materials*, Powders and Grains 2017 c. konf. (Montpellier, France) Proceedings.

Előadások / poszterek nemzetközi konferenciákon:

- (1) S. Wegner, T. Börzsönyi, B. Szabó, and R. Stannarius, *Anisometric granular matter in a hopper*, Előadás a Német Fizikai Társaság DPG Spring Meeting c. konferenciáján, Berlin, Németország, 2015. március 15–20.
- (2) Y. Geng, P. Salamon, T. Börzsönyi, A. Eremin, R. Stannarius, and N. Éber, *Rheological study of anisometric pigment particle suspensions*, Előadás a következő konferencián: Working Group Meeting, COST Action IC1208, Integrating devices and materials: A challenge for new instrumentation in ICT, Ankara, Törökország, 2015. március 26–27.
- (3) R. Stannarius, *Sheared granular materials, dilation, flow alignment, and secondary flows*, Előadás a 19. Harzseminar Strukturbildung in Chemie und Biophysik c. konferencián, Goslar–Hahnenklee, Németország 2015. március 29–31.
- (4) P. Salamon, Y. Geng, A. Eremin, R. Bandyopadhyay, S. Klein, R. Stannarius and T. Börzsönyi, *Rheology of rod-like pigment particles and plate-like organo-clay particles suspended in nonpolar media*. Előadás a 2nd International Conference on Rheology and Modeling of Materials c. konferencián, Miskolc, 2015. október 5–9.
- (5) A. Eremin, K. May, Y. Geng, R. Stannarius, P. Salamon, T. Börzsönyi, and S. Klein, *Magneto-optical and magneto-rheological studies of the mixtures of colloidal suspensions of rod-shaped pigment particles*. Poszter prezentáció a következő konferencián: 3rd Colloquium of the DFG Priority Program 1681, Benediktbauern, Németország, 2015 szeptember 30 – október 2.
- (6) Y. Geng, P. Salamon, A. Eremin, R. Stannarius and T. Börzsönyi, *Rheological study of anisometric pigment particle suspensions*, Poszter a Német Fizikai Társaság DPG Spring Meeting c. konferenciáján, Berlin, Németország, 2015. március 15–20.
- (7) T. Börzsönyi, B. Szabó, E. Somfai, S. Wegner, and R. Stannarius, *Rotation and ordering of elongated particles under shear*, Meghívott előadás a XXXVI Dynamics Days Europe c. konferencián, Korfu, Görögország, 2016. június 6–10.
- (8) B. Szabó, Zs. Kovács, E. Somfai, D. Fischer, A. Ashour, S. Wegner, P. Mier, G. Rose, R. Stannarius, and Tamás Börzsönyi, *Continuous flow and clogging of anisometric particles in hoppers*, Poszter a Gordon Research Conference, Granular and Granular-Fluid flow c. konferencián, Stonehill College, Easton, MA, USA, 2016. július 24–29.
- (9) T. Börzsönyi, E. Somfai, B. Szabó, Gy. Tegze, F. Podmaniczky, J. Török, S. Wegner, and R. Stannarius, *Elongated particles in shear flow*, Előadás a Patterns in Nature, Functions variations and control c. konferencián, Bayreuth, Németország, 2016. október 9–12.
- (10) K. May, I. Appel, S. Behrens, B. Szabó, T. Börzsönyi, A. Eremin, R. Stannarius, *Magneto-optical Properties of Colloidal Mixtures of Platelet-shaped non-magnetic Pigment Particles and Spherical Magnetic Nanoparticles*, Poszter, 14th International Conference on Magnetic Fluids, Ekaterinburg, 2016. július 4 – 8.

- (11) K. May, I. Appel, S. Behrens, B. Szabó, T. Börzsönyi, A. Eremin, R. Stannarius *Magneto-optical Properties of Colloidal Mixtures of Anisometric Pigment Particles and Magnetic Nanoparticles*, 4. Kolloquium des SPP 1681, Benediktbeuern, 2016. 9. 28 – 30.
- (12) R. Stannarius, D. Fischer, T. Börzsönyi, *Heaping and secondary flows in sheared granular materials*, Poszter a Gordon Research Conference, Granular and Granular-Fluid flow c. konferencián, Stonehill College, Easton, MA, USA, 2016. július 24–29.

Jövőbeli konferenciaelőadások/poszterek:

- (1) A. Ashour, T. Börzsönyi, and R. Stannarius, *Outflow and clogging of shape-anisotropic grains in hoppers with small apertures*, Előadás a Német Fizikai Társaság DPG Spring Meeting c. konferenciáján, Drezda, Németország, 2017. március 19–24.

Disszertációk / Diplomamunkák:

- (1) Szabó Balázs, PhD disszertáció, ELTE TTK Budapest, 2015.
- (2) Kirsten Harth, PhD disszertáció, Otto-von-Guericke Universitaet Magdeburg, 2016.
- (3) Sandra Wegner PhD disszertáció, Otto-von-Guericke Universitaet Magdeburg, 2016.
- (4) David Fischer, Diplomamunka, Magdeburg 2015.

6. Milyen akadályokat vagy problémákat érzékelt a projekt végrehajtása során?

Nem voltak lényeges akadályok.

7. Mi a legjelentősebb szakmai eredmény, amit kiemelne a projektegyüttműködés kapcsán?

Kiemelendők a magas impakt faktorú publikációkban közzétett eredmények, úgymint a gömb alakú forgó tartályban megfigyelt szegregációs effektus [1], a lapocskákat tartalmazó nanoszuszpenzió különösen erős optikai válasza [2], az elnyújtott részecskékből álló szemcsés anyagok torlódási folyamatainak számszerűsítése [3–4], és a másodlagos konvekció kialakulásának feltérképezése nyírt szemcsés rendszerben [5].

8. Van-e olyan javaslat, amivel módosítaná a pályázati felhívás és végrehajtás szempontjait a jövőre nézve?

A pályázás és a projekt végrehajtás a jelenlegi formában gördülékenyen zajlik. Egy apró megjegyzés: a budapesti tartózkodás költségei (különösen a szálláslehetőségek árai) az utóbbi időben megemelkedtek, így a német vendégdiákok budapesti tartózkodásához kapott 8eft/nap napidíj kicsit szűkösen bizonyul.

Kelt:

2016.11.30

Aláírás

T. Börzsönyi