

Bírálat

Börzsönyi Tamás

Szemcsés anyagok folyási jelenségei

című MTA doktori értekezéséről

A disszertáció a szemcsés anyagok fizikáját a kísérleti fizikus szemszögéből tekinti át, számos új, saját eredményt bemutatva. A munka teljes terjedelme 143 o., amelyből 12 o. a 169 hivatkozás felsorolása.

A szerző a témakört rendkívül széleskörűen dolgozza fel, melynek során az utóbbi évtizedek eredményeit és nyitott kérdéseit elemzi, s ezekhez kapcsolja saját eredményeit. A disszertáció mindenütt nagyon jól olvasható, a szerző az ábrákat gondosan választotta meg, és helyezte is el az egyes oldalakon úgy, hogy a legjobban illeszkedjenek a fő szöveghez, mindenütt magyar felirattal. A dolgozat belső felépítése is nagyfokú odafigyelést sugall, igen tiszta logikát követ. Az egész mű élvezetes olvasmány.

A dolgozat egy részletes áttekintő fejezet után három fő témakört taglal: a lejtőn folyó szemcsés anyag viselkedését, a nyírásnak kitett anyaggal kapcsolatos jelenségeket (ezeknek két fejezetet is szentel) és a silóban kialakuló folyást.

Az áttekintő részből megtudjuk, hogy a szemcsés anyagok milyen sok természeti és ipari folyamattal kapcsolatosak, kutatásuk a modern anyagtudomány és statisztikus fizika fontos fejezete. A szerző sorra veszi a dolgozat fő témáinak megértéséhez szükséges alapismereteket, egyetemi hallgatók számára is jól érthető módon. Bemutatja a kutatás jelenlegi helyzetét, röviden említve azokat az irányokat is, melyeket ő nem fog követni a dolgozatban, s részletesen taglalja az aktuális kutatás által felvetett még nyitott kérdéseket, melyek az ő vizsgálatait motiválták. Mindezt olyan érdekesen megfogalmazva, hogy az olvasó már a 11. oldalon felsóhajt: „még több mint 20 oldalt kell elolvasnak, amíg a felvetett kérdésekre megtudhatom a választ” (a 37. oldalon kezdődő saját eredményekig). De a nyitott kérdéseknek ez, a feszültséget keltően izgalmas felvezetése az egész áttekintő részt jellemzi.

Az első, saját eredményeket ismertető, 3., fejezet a lejtőn folyó anyaggal kapcsolatos kutatásokról számol be. A szerző hangsúlyt helyez arra, hogy nemcsak a mások által vizsgált gömbszerű, hanem szabálytalan alakú részecskék folyását is tanulmányozza. Saját lejtős kísérleti berendezésével, lézeres mérésekkel meghatározta a felületi sebesség és a rétegvastagság közötti összefüggést, a folyási törvényt. A nagyobb sebességű folyások esetén megjelenő instabilitás másodlagos áramlási struktúráit precíz kísérletekkel mérte ki, s ennek révén kiderítette, hogyan függ az anyag effektív súrlódása az inerciális számtól. Számomra különösen érdekes volt a lavinákkal kapcsolatos megfigyelések bemutatása. A homokkal és üveggolyókkal végzett kísérletek jellegbeli különbségre utalnak: az üveggolyó-lavinákban tapasztalt sima magasságprofil a folyadékok nemlineáris hullámaival való hasonlóságra, a homoklavinák magas homlokfrontja a hullámtörésre emlékeztet.

A következő fejezet a nyírási zónák tulajdonságaival foglalkozik. A szerző itt már elnyújtott alakú részecskéket is használ, melyek nyírási áramlását saját forgótányéros kísérleteivel vizsgálta. Széles látókörére utal, hogy felismerte, a kiértékeléshez a fizika társterületein használt eszközöket, mágneses rezonancia képalkotású (MRI) és komputertomográfias (CT) berendezéseket érdemes használnia,

melyeket nemzetközi együttműködésben ért el. Kimérte, hogy a nyírási zóna mérete hogyan változik a folyamat során, s hogy a Reynolds-tágulás hogyan függ a részecskealaktól. Rétegzett elrendezésekben vizsgálta, hogy a nyírási zóna hogyan viselkedik a különböző súrlódású rétegek határán. Kimutatta, hogy a zóna nem feltétlenül törik meg, hanem el is hajolhat, így elkerülve a nagyobb súrlódású tartományt.

Az 5. fejezet témája a nyírási orientáció és annak következményei. A fejezet kísérletei az előzőekben használt forgótányéros elrendezéssel és nyújtott alakú részecskékkel történtek. A szerző kimérte, hogy a rendeződés mértéke hogyan függ a nyírási rátától, a részecskék elnyújtottságától, és hogyan változik meg a rendszer effektív súrlódása a rendeződés hatására. Újfajta másodlagos konvekciót fedezett fel, amelynek során bizonyos töltési magasságoknál az eredeti nyíró áramlásra merőleges mozgás alakul ki. CT-mérésekkel számszerűsítette az áramlási teret és a hozzá tartozó orientációs eloszlást, és kimutatta, hogy ez az áramlás a nyírási orientáció következtében létrejövő szimmetriasértéssel kapcsolatos.

A 6. fejezet a silókban kialakuló szemcsés folyást vizsgálja. A mérések saját kvázi-kétdimenziós és henger alakú modell-silókban készültek, az előzőben gyorskamerás felvételekkel, az utóbbiban CT vizsgálatokkal. A kétdimenziós folyási tér sebességprofilját a szerző a folyadékáramlások kapcsán kifejlesztett Particle Image Velocimetry (PIV) elemzéssel határozta meg. Kimutatta, hogy a részecskék elnyújtottságának növelésével a folyási tartomány egyre inkább a siló közepére koncentrálódik, a sebességprofil pedig egyre markánsabb platót mutat. A silóban kialakuló rezonancia, a siló zene kapcsán kimutatta, hogy a közegben ilyenkor sűrűség hullámok haladnak függőlegesen felfelé. A siló alján nagyobb sebességet talált, ami arra utal, hogy a rezonancia a cső alsó feléből ered. Megmutatta, hogy a falakkal való súrlódás fontos szerepet játszik a rezonancia kialakulásában.

A dolgozat egészében a szerző eredményeit szerényen, társszerzőire és elméleti kollégáira mindenütt korrekten hivatkozva mutatja be.

Összegzésképpen, a disszertáció az MTA doktori cím követelményeit messzemenően teljesíti, a jelölt munkássága koherens, egyúttal változatos, kísérletei egyediek, eredményei jelentősek. A dolgozat minden tézisét elfogadom. A jelölt tudományterületének nemzetközi szinten jól ismert vezető kutatója. A dolgozatban bemutatott eredményei alapján ezért - a kérdéseimre adott válaszoktól függetlenül - a védelem kitűzését javaslom, s a cím odaítélését őszintén támogatom.

Budapest, 2020. április 6.

Tél Tamás

ELTE TTK, Elméleti Fizikai Tanszék
tel@general.elte.hu
<http://theorphys.elte.hu/tel/magyar/magyar.html>

Kérdéseim:

1. 3.1.1 fejezet: A folyási törvényre kapott eredmények alátámasztják a Pouliquen-Jenkins-alakot, melyben nem lép fel additív konstans. A 2.3 a ábra az egyszerűbb Pouliquen-alakkal, mely homokra jelentős tengelymetszettel rendelkezik, jó egyezést mutat korábbi mérésekre. Hogy néznének ki ugyanezek az adatok a Pouliquen-Jenkins-ábrázolásban?
2. 3.1.2 fejezet: Lát-e hasonlóságot a lejtőn folyó anyag instabilitása következtében kialakuló vortex-mintázat, és a tengerek felszínén a szél hatására a szél irányában kialakuló vízszintes hengeres áramlás, az ún. Langmuir-cirkuláció között?
3. 3.1.2 fejezet: A 3.10 f ábra az effektív súrlódás függését mutatja az inerciális számtól, saját eredményekre alapozva. A bevezető rész 2.2 a ábrája azt sugallja, hogy μ_{eff} konstanshoz tart az $l \rightarrow 0$ határesetben, amit a következő, 2.3 b ábra nem feltétlenül támaszt alá. Saját eredményei alapján eldönthető-e μ_{eff} jellege ebben a tartományban?
4. 3.2 fejezet: Kérem, pontosítsa, mit ért a lavinák A területén. A szövegben $A^{1/2}$ a lavina lineáris méreteként fordul elő, de a 3.12 a, b ábrák szerint a lavinák nagy része elnyújtott, vagyis hosszúkás és szélességük jelentősen eltér. Nem lett volna célszerűbb a szélességet meghatározni?
5. 3.2 fejezet, analitikus megfontolások: miért a folyási törvény Pouliquen-alakját használja itt a szerző, ha saját mérései a Pouliquen-Jenkins-alakot támasztják alá?
6. 4.1 fejezet: a 4.4 c ábra kapcsán milyen magas a teljes repcemag réteg? A teljes magasságot mutatja az ábra?
7. 5.1 fejezet: az 5.7 b ábra illesztései esetén nem célszerűbb az exponenciális illesztést valamely γ_0 érték után kezdeni? A zöld görbe esetén nekem úgy tűnik, hogy a 0,3 érték után kezdődik csak az exponenciális csökkenés, vagyis γ_0 értéke 0,3 körüli.
8. 6.1 fejezet: A 6.2 d, e ábrák eredményei milyen z^*/d magasságokhoz tartoznak? Jelentős-e itt a magasságfüggés?
9. 6.2 fejezet: miért nem vizsgálta a szerző a silózene jelenségét elnyújtott részecskékkel?