

OTKA T48489 PÁLYÁZAT ZÁRÓJELENTÉSE

VÁN PÉTER

Pályázatunk címe: Gyengén nemlokális mechanika
Futamidő: 2005. I. 1. - 2008 XII. 31. (4 év)
Részvevők: Ván Péter (témavezető), Matolcsi Tamás és Verhás József

1. EREDETI TERV

Az utóbbi évtizedekben a nemegyensúlyi termodinamikai kutatások egyik fő célkitűzése a lokális egyensúly hipotézisének meghaladásával általánosított anyagmodellek és mozgásegyenletek kidolgozása. Ennek egy módja, ha az anyagfüggvényeket az alapváltozók magasabbrendű deriváltjaitól is függővé tesszük. Annak ellenére, hogy az alapötlet nagyon régóta ismert (pl. Korteweg folyadékok, 1901), megfelelően univerzális és a gyakorlatban használható anyagmodelleket csak akkor eredményez, ha a legfontosabb fizikai alapelveket, elsősorban a termodinamika második főtételét és az anyagi objektivitás elvét is figyelembe vesszük. A kutatási időszakot megelőzően kidolgoztunk egy *módszert*, hogy gyengén nemlokális - azaz az alapváltozók magasabbrendű térderiváltjaitól is függő - anyagfüggvényekre vonatkozóan a termodinamika második főtételéből adódó megszorításokat kiszámolhassuk. A módszer alkalmazásával elért eredményekre alapozva azt terveztük, hogy közismerten nemlokális tulajdonságokra visszavezethető jelenségeket mutató anyagokat, elsősorban gyengén nemlokális folyadékokat (Korteweg folyadékok, illetve fázisszeparált szemcsés anyagok, mint Goodman-Cowin folyadékok) vizsgálunk. A legfontosabb kihívást egy olyan egyesített anyag- és mozgásegyenlet származtató konstruktív elmélet kidolgozása jelenti, amely mindkét alapelvet, a második főtételt és az anyagi objektivitás elvét is figyelembe veszi.

Terveztük az ilyen módon kapott anyagegyenletek és mozgásegyenletek univerzalizálásának és teljesítő képességének kísérleti ellenőrzését is lehetőleg a mérnöki gyakorlatban is fontos rendszerekben. Ezen kívül, a kutatás utolsó szakaszában az időbeli nemlokális - azaz a magasabb rendű időderiváltak anyagegyenletekbe történő beépítésének kérdését kívántuk még vizsgálni kiterjesztve vizsgálatainkat szilárd testek reológiai tulajdonságaira, illetve relativisztikus folyadékokra, ahol a tér és idő szétválaszthatatlansága miatt az időbeli nemlokális objektív (vonatkoztatási rendszer független) vizsgálata elvileg könnyebb kérdés.

A előzetesen elért kutatási eredményekre vonatkozó publikációk a pályázat időszakában [1,4,5,8].

2. ELÉRT TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A pályázat első évében a témavezető (VP) munkahelyet változtatott, a BME, Kémiai Fizika Tanszékéről (időközben megszűnt) a KFKI Részecske és Magfizikai Kutató Intézet Elméleti Fizika Főosztályára, azon belül a Nehézionfizikai Osztályra került. Ezért a kutatási programunkban a szemcsés anyagok vizsgálata helyett az időbeli nemlokális kérdéskörére helyeztük a hangsúlyt. Ezzel párhuzamosan a

klasszikus kontinuumok kutatását az Asszonyi Csaba által ebben az időszakban alapított Montavid Termodinamikai Kutatócsoport keretei között folytattuk.

Fő tudományos eredményeinket ugyan az alábbiakban a könnyebb áttekinthetőség kedvéért részcsoportokra osztottuk, de ezek a csoportok összefüggenek, számos publikációt nem is lehet egyetlen csoportba sorolni. Például, a (2.2)-ben tárgyalt relativisztikus folyadékok újonnan javasolt belső energiáját a gyengén nemlokális nemrelativisztikus esetben kidolgozott eljárás - (2.3)-ban részletezett - általánosítása eredményezte, a (2.1)-ben tárgyalt objektivitási követelmények figyelembe vételével [25].

2.1. Objektivitás. Megadtuk a fizikai mennyiségek objektivitásának egy új megfogalmazását és rámutattunk a hagyományos, Noll-tól származó definíció problémáira [7,16]. Ennek egyes kontinuum mechanikai folyományait [13]-ban ismertettük, illetve [19]-ben stacionárius egyszerű nyírás reológijára vonatkozóan vizsgáltuk. Elméletileg tiszta modellünk a kísérletekkel összhangba hozható vizskometrikus függvényeket ad - az irodalomban egyedülálló módon mindenféle extra anyagi paraméter, vagy illesztő függvény bevezetése nélkül. Elkezdtük az ennek megfelelő kontinuumelmélet formalizmusának kidolgozását [26], illetve ezeknek a munkáknak a tapasztalataira és módszertanára épít a bevezetésben említett módszerünknek relativisztikus folyadékokra történő általánosítása [25].

2.2. Relativisztikus folyadékok. Disszipatív relativisztikus folyadékokban új belső energiasűrűség bevezetésével megadtuk a klasszikus Eckart elmélet minimális és generikusan stabil kiterjesztését [28]. Ennek az eredménynek az alapját a gyengén nemlokális anyagtörvényekre nemrelativisztikus esetre kifejlesztett módszerünk [4] relativisztikus általánosítása adta, megadva a második főtétel és az alapmérlegek rendszerének (energia-impulzus mérleg) kompatibilitási feltételeit [25]. Bebizonyítottuk, hogy az így kapott folyadékmodell generikusan stabil, azaz homogén egyensúlya lineárisan aszimptotikusan stabil, függetlenül a sebességmező rögzítésétől, analóg módon a nem relativisztikus esethez. A generikus stabilitás feltételei csak a termodinamika által megkövetelt természetes fizikai feltételek - a vezetési együtthatók mátrixának pozitív definitása és a termodinamikai stabilitás [32]. A disszipatív relativisztikus folyadékok stabilitás szempontjából az irodalomban eddig megvizsgált többi elmélete (pl. Israel-Stewart elmélet) ezzel szemben bonyolult egyenlőtlenségrendszert követel meg a termodinamikai feltételeken kívül. Folyadék elméletünket kiterjesztettük és megoldottuk nehézionfizikai ütközésekben tipikus kezdeti feltételekkel is [22].

A speciális relativisztikus objektív, megfigyelőtől független leírási módot számos más publikációban demonstrált módon vizsgáltuk illetve alkalmaztuk részben a fenti munkák előkészítéseként [2,3,17,24]. Elkezdtük az elektromágneses terek problémakörének bevonását is [31].

2.3. Klasszikus kontinuumok. Kidolgoztuk a véges deformációs mechanika kiterjesztéseként a reológiai hatások kezelésére alkalmas termomechanikai kontinuumelméletet. Képlékenységi feltételt is beépítettük a termodinamikai keretek közé [11,13] és vizsgáltuk sok paramétert tartalmazó elméletünk egyszerűsítési lehetőségeit [27]. Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményeként új reológiai modellcsaládot kapunk, ahol a nyírás klasszikus Poynting-Thomson modell mellett a térfogatváltozásokra vonatkozó hasonló modell is fellép, illetve mindkét modell egy tehetetlenségi

taggal egészítődik ki. A kapott anyagi differenciálegyenleteket összevetettük laboratóriumi kísérletekkel [11,13] illetve vizsgáltuk a reológiai alapelemek ad-hoc kapcsolásaiból adódó reológiai modellek és a következetes termodinamikai megközelítés viszonyát. Megállapítottuk, hogy a tehetetlenségi modellelem nem helyettesíthető a rugalmas és a viszkózus elemek kombinációjával [21]. Egyszerűsített esetekben az egyenleteket megoldottuk egy alagútnyitási problémára [9], illetve laboratóriumi próbatetek véges deformációit is vizsgáltuk [23]. Ezeknek a tisztán mechanikai kölcsönhatásra vonatkozó kutatásoknak kiterjesztéseként elkezdjük a termikus és mechanikai kölcsönhatás kutatását [30].

Bebizonyítottuk, hogy G. A. Maugin mechanikai motivációjú, Lagrange függvényekre és disszipációs potenciálokra alapozott dinamikai szabadsági fokok elmélete speciális esete a nemegyensúlyi termodinamikai belső változós elméletnek duális és gyengén nemlokális belső változók esetén [29].

A gyengén nemlokális kontinuum elméletek másik nagy családja a mezoszkópikus elmélet (ennek speciális esetei a hiperkontinuumok, pl. Mindlin-féle). Ilyen modelleken dolgoztunk a kvark-gluon plazma esetén (ideális Fermi gáz + folytonos tömegeloszlás) [6,14] illetve egy egyszerű mikrorepedezéssel károsodási modellcsaládban (rugalmas kontinuum + károsodási változó) [18].

2.4. Alkalmazás központú kutatások. Az tisztán elméleti kutatások illetve ezeknek kísérleti igazolására és alkalmazására irányuló kutatásainkat elsősorban a közetmechanika területére koncentráltuk. Ezeknek a vizsgálatok sok esetben csak annyiban kapcsolódnak a fenti elvi modellekhez, hogy azok alkalmazhatóságát kutattuk a mérnöki gyakorlat bizonyos kérdéseit áttekintve. Néhány ilyen publikált eredményünk az anyagok megismerésére vonatkozik, ezért az OTKA pályázatba illeszthető. Ilyen munkákban vizsgáltuk a víztartalom hatását vizsgáltuk a közetek szilárdságára [10], a közettestek jellemzésére bevezetett Hoek-Diederich formula nagy érzékenységét (használhatatlanságát) mutatják meg [20], illetve kövek nyírásitönkrementelére vonatkozó kísérleteket elemeztünk [12].

3. PUBLICITÁS, HASZNOSÍTÁS

Az elért eredmények egy része még csak magyar nyelvű publicitást kapott. Ezek terjedelme és összefogása miatt a nem relativisztikus mechanikai-reológiai-képlékeny kontinuumokra vonatkozó eredményeinket is már egy könyvben foglaltuk össze [13]. Az objektív, gyengén nemlokális kontinuumelmélet teljes kiépítése, következményeinek feltárása felé számos jelentős lépést tettünk mind a relativisztikus, mind a nem-relativisztikus esetben. Ez óriási szakirodalom (például a teljes nemrelativisztikus kontinuumelmélet) alapos feldolgozását és áttekintését, a felmerülő kérdések megoldását, kísérleti igazolását és egyes gyakorlati következmények feltárását követeli meg. Ennek teljes megértése és összefoglalása, majd angol nyelvű publikációja (természetesen végül könyv formájában) egy következő kutatási időszak feladata.

Végül egyébként lehetőség hiányában itt jegyezzük meg, hogy a kutatásaink hasznosítására vonatkozóan számos lépést tettünk. Ezek a lépéseink roppant tanulságosak voltak, de nem voltak sikeresek abban az értelemben, hogy beírhatóak legyenek a "hasznosítás" rovat megfelelő rubrikáiba. Röviden talán megemlíthetőek itt. Konkrét magyarországi tervezési és tervezés előkészítési folyamatok esetén igyekeztünk rámutatni azok reológiai vonatkozásaira és a vonatkozó mérések és számítások elvégzésének esetleges gazdasági hasznára. A publikációs jegyzékben részben

tükröződik, hogy ezt a fajta, kimondottan alkalmazási szakértelmünket is fejlesztjük és a megfelelő fórumokon, konferenciákon kutatásainkat bemutatjuk.