

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен “доктор”  
в професионално направление 4.2 „Химически науки” (Физикохимия)

Дисертант: Иван Тихомиров Иванов

Катедра Физикохимия, Факултет по химия и фармация (ФХФ), СУ „Св. Кл. Охридски”

Тема: “Статика и динамика на капилярен мост”

Рецензент: акад. проф. дфзн Петър Атанасов Кралчевски, ФХФ, СУ „Св. Кл. Охридски”

Представената ми за рецензиране дисертация е с научни ръководители проф. дхн Борян Радоев и гл. ас. д-р Михаил Аврамов. Материалите по дисертацията са публикувани в една глава от книга (международен сборник *Surface Energy*, M. Aliofkhazraei, Ed., InTech, London, 2015) и в една статия в международно реферирано списание (*Colloids and Surfaces A* **505** (2016) 98–105). Дисертантът е трети съавтор на първата публикация и втори съавтор на втората публикация. Тези публикации са в съавторство с научния ръководител, проф. дхн Борян Радоев и д-р Пламен В. Петков. Вторият научен ръководител, д-р Михаил Аврамов, не е съавтор на публикациите по дисертацията. Резултатите от дисертацията са докладвани на 9 конференции и семинари под формата на 4 доклада и 5 постера, като от тях 6 са представени в България, а другите 3 – в Германия. Самата дисертация е в обем от 56 страници; илюстрирана е с 24 фигури; цитирани са 73 литературни източника.

В Глава 2 на дисертацията е описана експерименталната установка и използваната процедура за обработка на образите на капилярни мостове. В Глави 4 и 5 са докладвани, съответно, резултатите по статика и динамика на капилярни мостове.

Темата на дисертацията е свързана с границата на стабилност на капилярни мостове образувани между две паралелни твърди повърхности. Темата е от значение за обяснението и количествената интерпретация на механичните и реологични свойства на трифазни дисперсни системи, в които твърди частици са свързани с капилярни мостове (гранулирани материали; пасты; материали използвани в хранителната и строителната индустрии, и козметиката). Основната нова идея в дисертацията е свързана с факта, че зависимостта на равновесната дължина на капилярния мост от радиуса на контактната линия (върху твърдата повърхност),  $R$ , пресметната чрез решаване на капилярното уравнение на Лаплас, притежава максимум,  $H_{\max}$ , при фиксирани обем на моста и контактен ъгъл. При дължина на моста  $H > H_{\max}$  той става нестабилен; преминава в динамичен режим и накрая се къса. Както е отбелязано в дисертацията, тази идея е аналогична на обяснението на откъсването на *висящи капки* с

максимума в равновесната зависимост на обема на капката от нейната дължина; вж. E. Pitts, *Inst. Maths Applies* **17** (1976) 387–397.

При капилярни мостове, идеята за обяснение на прехода стабилност/ нестабилност с максимума в зависимостта  $H(R)$  е нова и оригинална, въпреки че въпросът за стабилността на капилярните мостове е бил обект на изследване от много други автори. Преди това са публикувани различни други критерии за границите на стабилност на капилярни мостове, например критерии свързани с повратните точки (turning points) на налягането  $P$  и обема  $V$  на  $PV$ -диаграмите на моста; вж. В. J. Lowry, P. H. Steen, *Proc. R. Soc. London A*, **449** (1995) 411–439. В дисертацията липсва литературен преглед и сравнение на новия критерий за граница на стабилност с критериите предложени преди това от други автори.

Всъщност, въпросният критерий е предложен за пръв път в статия от съавторите на докторанта, В. Р. Radoev, P. V. Petkov, *Colloids and Surfaces A*, **460** (2014) 18–27, където са приведени и първите данни по експериментално потвърждение на критерия с водни мостове. Очевидно, задачата на докторанта е била да получи набор от системни експериментални данни в подкрепа на новия критерий за стабилност. Задачата включва компютърна обработка на получените образи на капилярните мостове; изчисляване на съответните теоретични криви чрез числено интегриране на капилярното уравнение на Лаплас (което е нелинейно обикновено диференциално уравнение от втори ред), и сравнение на теория с експеримент. Понеже теоретичните криви се изчисляват при постоянен обем на течността, дисертантът е провел експерименти с капилярни мостове от три йонни течности, които са практически нелетливи, и така обемът на моста не намалява поради изпарение в хода на експеримента. Получено е много добро съгласие между теория и експеримент, което е илюстрирано на Фиг. 4.2 и 4.3 в дисертацията.

При достатъчно големи размери на капилярния мост, неговата форма е повлияна от гравитацията, т.е. от теглото на течността в моста. При *вдълбнати* („вталени“) капилярни мостове, този ефект е сравнително по-малък и се изразява в лека асиметрия на моста – неговата долна част става малко по-обемиста от горната поради стичане на течност надолу под действие на теглото ѝ. Обаче при *изпъкнали* мостове, ефектът от гравитацията става силно изразен – удебелената част (която би трябвало да е в средата на моста без гравитация) се стича в неговата долна част и мостът добива характерната форма на бутилка. От тази гледна точка, на Фиг. 4.3 не е правилно теоретичните криви за изпъкнали мостове, които са изчислени при предположение за липса на гравитационна деформация, да се илюстрират със снимки на гравитационно-деформирани бутилковидни капилярни мостове.

В дисертацията е направен опит да бъде отчетен теоретично ефектът от *гравитационната деформация*. Изчисленията са опростени с допускане за двумерен

(2D) капилярен мост с *транслационна* симетрия, вместо тримерен (3D) капилярен мост с *ротационна* симетрия. Приближението е в сила при достатъчно къси и дебели мостове, при които азимуталната кривина е пренебрежима спрямо меридианната кривина. Това се вижда и от сравнението на теория и експеримент на Фиг. 4.10 за вдлъбнати капилярни мостове, деформирани от гравитацията, където съгласие е постигнато само при най-малките числа на Бонд. Дисертантът правилно е обяснил отклоненията при по-големите числа на Бонд с невалидност на 2D приближението в тази област. При поява на инфлексна точка в профила на деформирания мост, е установена разходимост във формулите, която отново е обяснена като особеност на 2D приближението.

В Глава 5 „Динамика“, с високоскоростна камера е изследвано поведението на неравновесния мост след надвишаване на критичната му дължина. Установено е, че в централната част на моста се образува течна нишка – тънък капилярен цилиндър; вж. Фиг. 5.2. По аналогия със задачите за течението на Поазьой в цилиндрична тръба и на приближението на смазката при изтъняващи плоско-паралелни филми, е направена оценка за поведението на налягането в капилярния цилиндър. За разлика от течението на Поазьой (и в съгласие със симетрията на задачата) е получена параболична, а не линейна, зависимост на налягането от аксиалната координата  $z$ .

Имам следните два въпроса към дисертанта:

1) Какъв е смисълът от нанасяне на кривите за катеноид и сфера на Фиг. 4.2, за които е споменато, че пресечните им точки с „изогоните“ отразяват „специални точки от поведението на капилярния мост“?

2) В т. 4 на раздел „Основни резултати и изводи“ е казано, че е резултатите от предложения модел за изтъняване е в добро съгласие с експерименталните данни. В дисертацията няма сравнение на теория и експеримент в това отношение. Сравнение има на Фиг. 8 в статията в *Colloids Surf. A*. Какъв е смисълът на величината  $V_m$ , нанесена на тази фигура и на самото сравнение теория/експеримент илюстрирано там?

Дисертацията и статиите към нея не са написани ясно и се четат трудно. Отчасти, това се дължи на многобройните математически означения, някои от които не са обяснени. В текста на дисертацията има проблеми с правилната употреба на пълен и кратък член. Величината  $g$ , земно ускорение, на две места неправилно е наречена „земно притегляне“. На титулната страница има печатна грешка („научени“ вместо „научни“). Там и в „шапката“ на всяка страница е употребено старото название „Химически факултет“ вместо актуалното „Факултет по Химия и фармация“.

Въпреки тези забележки по начина на представяне на резултатите, приемам, че в дисертацията са направен два по-съществени научни приноса, а именно:

- (1) Експериментално е потвърдено наличието на максимум на зависимостта на дължината на моста от радиуса на контактната линия,  $H(R)$ , и че този максимум представлява критична точка за стабилността на капилярния мост, като е постигнато съгласие между теория и експеримент.
- (2) Експериментално е установено съществуването на състояние на капилярен цилиндър като етап в еволюцията на неравновесен капилярен мост със свръхкритична дължина и е предложен теоретичен хидродинамичен модел описващ изтъняването на този цилиндър.

Изискванията на Закона, Правилника за неговото приложение, Правилника на СУ и препоръчителните критерии на ФХФ са удовлетворени. Убедено препоръчвам на научното жури да присъди образователната и научна степен „доктор“ на г-н Иван Тихомиров Иванов.

Рецензент:

24.09.2016 г.

(акад. Петър А. Кралчевски)