

## РЕЦЕНЗИЯ

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

Автор: Иван Тихомиров Иванов  
Катедра: Физикохимия, Факултет по химия и фармация, СУ „Св. Кл. Охридски”  
Тема: “Статика и динамика на капилярен мост”  
Рецензент: доц. д-р Любомир Николов Николов, Институт по физикохимия, БАН

В дисертацията се изследват капилярни мостове (КМ) между твърди, успоредни, плоски повърхности - класически обекти с дълга история. Интересът към подобни обекти продължава и днес, както от научна така и от приложна гледна точка. В дисертацията е обърнато повече внимание на някои теоретични и нови по своята същност, аспекти в по-детайлното описание на явленията в капилярните мостове. Добро впечатление прави стремежът на докторанта да прави плавен преход от експериментални данни към теоретичен анализ и интерпретация на тези данни. Направен е и опит, според мен оригинален, но не достатъчно развит, за съпоставяне на явленията на изтичане в капилярни мостове в близост до така наречената „критична точка“ с поведението на пенни системи, при равни други условия.

Трябва да отбележа, че за мен бе странно да не намеря в цялото изложение ясно формулирана целта на дисертационния труд. В дисертацията се започва направо със Постановка на задачите (глава 3), които трябва да се решат. Може би това е опит на докторанта да „разчупи“ традицията в нашите среди, където сме свикнали целта, която се поставя да бъде постигана с няколко задачи.

Дисертационният труд обхваща 56 страници и се състои от седем глави, от които в последните 6-та и 7-ма са отделени приносите на дисертационния труд, представени са подробни справки за наукометричните данни и научната активност на дисертанта, накрая е представен и списък на използваната литература.

В увода е направен исторически преглед на капилярните явления от времето на Лаплас, споменати са математическите приноси на Ойлер, Делоне и др, за описване на профила на 3D ротационни фигури, отделено е специално внимание на катеноида за описание на КМ между твърди, плоски, хидрофобизирани стъкла. Направени са някои важни уговорки за последващия анализ – проблемите с трифазния контакт, както и липсата на хистерезис (при свиване и/или разтягане) на КМ, които не влизат в разглежданият на автора.

В глава 2 подробно са представени експерименталната установка и използваните от дисертанта материали и процедури. Дадена е идея за статични и динамични измервания. Направено и е моделното предположение, че изпарението на течността не играе важна роля в теоретичния анализ, което позволява на дисертанта да използва обема на КМ като един от основните скейлинг параметри. Дадени са трите типични състояния, през които минава КМ при разтягане – статичен (може би термодинамичен?), динамичен – отбелязан като „хидро-“ и релаксация – очевидно след точката на скъсване на КМ. В 2.6 е описан, макар и полу-

количествено, на места направо качествено, имидж-анализа на изображенията за поведението на КМ, получени от докторанта. И тук странно защо глава 2 свършва с **2.7. Резултати и приноси**. (По-долу в моето изложение ще отправя някои важни въпроси за твърдения и процедури в тази глава).

Следва постановка на задачата, глава 3 – според мен не на място, като че ли експеримента и неговите резултати са извън всякакъв контекст. В тази глава е въведено и основното уравнение за теоретичния анализ – диференциалното  $u$ -е (3), в което полярния (в изложението - меридианен) ъгъл  $\varphi$  зависи от радиуса на моста  $r$  през другата координата в перпендикулярно направление –  $z$ . Дефинирани са и основните величини, характеризиращи КМ, напр. азимуталната и меридианна кривини, дебелината на КМ и др. Направен е предварителен скейлинг анализ като са отчетени и гравитационните ефекти – през числото на Бонд, с оглед последващ опит за решаване на споменатото по-горе  $u$ -е (3) вече с отчитане на гравитацията.

Глава 4 и 5 са посветени съответно на статиката и на динамиката в КМ-ове. Тук са и основните приноси в дисертацията. В 4-а глава са получени първият и вторият интеграл на  $u$ -е (3), което се оказва сравнително лесно при отсъствие на гравитация. Дадена е и идея за решаване на процедурата по получаване на втория интеграл, а оттам и получаване на образувателната, обема/площта на КМ при наличие на гравитация, като са отбелязани съществени, опростяващи модела предположения. Глава 5-а е посветена на (нов) хидродинамичен модел на КМ, разработен на основа на класическата теория на смазочното действие и на някои разсъждения за неустойчивостта и късането на цилиндричен КМ. Тук би било по-добре параграф 5.2 да обедини заглавието си с това на 5.2.1, тъй като няма параграф 5.2.2.

Бих искал да задам следните няколко основни за мен въпроси.

1. В параграф 2.3 се споменава, че при експериментите се използват „...три йонни течности за образуване на вдлъбнати мостове м/у хидрофилни повърхности“. В Таблица 1.1 са дадени стойности за повърхностното напрежение, вискозитет и др. При какви концентрации и как са измерени/получени тези стойности? От представените в дисертацията фигури може да се открие някаква разлика в поведението на различни величини на КМ за различните йонни течности, но няма коментар и/или качествена поне интерпретация как евентуално, влияят концентрациите, пък и самите йонни течности върху поведението на КМ? Има ли това някакво практическо приложение?

Във връзка с, (цитирам): „*Величината  $\sigma/\mu$  имаща размерност на скорост играе важна роля за кинетиката на т.н. хидродинамичен режим и ...*“ обещанието, че „*ще бъде коментирана в раздел 5.1.*“ Тази величина ( $\sigma/\mu$ ) има известно отношение напр. към ефекта на Марангони, доколкото влиза в дефиницията на числото на Марангони ( $Mg = -\frac{d\sigma}{dT} \frac{L\Delta T}{\mu\alpha}$ , където  $\sigma$  – повърхностно напрежение,  $T$  – абсолютна температура,  $\mu$  – динамичен вискозитет,  $\alpha$  – коефициент на линейна топлопроводност,  $L$  – характерна дължина), но в посочения раздел на глава 5 не можах да намеря никакъв коментар за нейното значение и/или защо тя играе важна роля в изследваните КП?

2. Къде е центърът на координатната система, която ползвате в целия анализ – напр. Фиг. 2.9 и Фиг. 3.1 са за очевидно несиметрични по  $z$  КМ, а пък във вмъкнатата картинка на Фиг. 4.1 и

Фиг. 4.4, дясно, координатната система е за симетричен КМ. Отговорът на този въпрос е важен, според мен защото в зависимост от положението на центъра на координатната система и вида на КМ – симетричен или не, зависи от къде ще тръгне радиус-вектора на ротационната фигура и дали в талията, при  $r=r_m$  – ще се удовлетвори основното гранично условие:  $(\varphi(r=r_m)=90^\circ)$  при първото интегриране на моделното уравнение? Подобна неяснота се появява и на стр. 18, където се твърди, че „Тук се забелязва, че най-подходящ радиален мащаб е радиусът на талията/екватора...“, без да се даде разяснение, че в зависимост от типа на моста (симетричен или не) и избора на център на координатната с-ма, талията и екватора са две различни неща.

3. Следващите ми въпроси са за имидж-анализа на изображенията на КМ, който е оригинален и един от основните приноси на докторанта. Би трябвало, според мен, да има поне една крива на реално изчислен профил на КМ от високоскоростните кадри. В дисертацията има само показване на качествен резултат: „Резултантна крива от...“ - Фиг. 2.8. На тази фигура по двете оси би трябвало да има числа, а не само означения за пиксели. Защо не са представени получени от докторанта числови зависимости? С помощта на такъв евентуален числено пресметнат резултат бихме се убедили в прецизността на обработката на експерименталните резултати. Информация от рода на „...използваме 150 пиксела...“ или „По тази процедура всички точки по координатата у са с точност  $\sim 1$  пиксел (в зависимост от честотата на сканиране), докато точките по  $x$  - координатата са със суб-пикселна прецизност сравнено с размера на пикселите на електронния сензор (фиг. 2.8.)“ е недостатъчна и неясна. Тук, също така бих попитал как от експериментални данни в пиксели, в резултат на статистическа процедура, е достигнато до прецизност (това точност ли е?) дори по-малка от пиксел? Бих продължил и с въпрос за процедурата на последователното трасиране пиксел по пиксел през избрана 150 пикселова поредица и следващо фитване с квадратен тричлен – няма ли по-проста и дори по-точна процедура за това – например обработка на цял профил от пиксели с кубичен сплайн и последващо фитване на коефициентите на този сплайн за всички измерени профили? Това директно би довело до намиране на „аналитична“ зависимост  $y(x)$  (виж Фиг. 2.8) и значително опростяване на следващите в числената обработка сметки. Друг въпрос засяга необходимостта от пояснение на използвания в дисертацията „...филтър базиран на Собел оператор...“ на стр. 11 за „Намиране на граници...“ във фотографираните изображения, тъй като прилагането на този филтър е първа стъпка в имидж-анализа.

4. Следващата група от въпроси засягат намирането на втория интеграл на  $y$ -е (3). Как от първия интеграл на  $y$ -е (3) –  $y$ -е (6) се получи, цитирам: „...по-нататъшното интегриране на  $y$ -ние (6), което след представянето му във вида  $\tan\varphi = dy/dx$  (вж. коментарите към ур. (3)) придобива вида [39]: ...“  $y$ -е (11)? Как се отнася интеграла  $I_0$  към „...клас интеграли, характерни за този тип капилярни повърхности...“ означени по-долу с  $I_n$ , тъй като при  $n=0$ ,  $I_n$  не става  $I_0$ ? Може ли докторантът да покаже явния вид на този интеграл  $I_0$ , защото от него ( $I_0$ ) се получават всички важни характеристики за КМ? Следващият ми въпрос тук е свързан с начина на численото решаване на въпросния интеграл, цитирам: „Обикновено  $I_n$  (разбирай  $I_0$ ) се представят с (Лежандрови) елиптични интеграли от първи и втори род  $F$ ,  $E$  (виж [6]), но за това изследване ние приложихме директно числено интегриране по четвърти-пети разреден подход на Фелберг за решаване на Рунге-Кута минимизационна процедура с четвърторазреден интерполант [50] - [52].“ Как числените методи на Рунге-Кута, макар и усъвършенствани от Фелберг, бидейки едни от основните в численото моделиране методи за решаване на диференциални уравнения влязоха в „минимизационна процедура“ (коя е тази процедура, на какво  $\epsilon$ ?) с „4-то разреден интерполант“ (какво се интерполира, защо 4-то

разреден, не може ли интерполанта да е трето или пето разреден?). И с тези методи се решават числено сингулярни, елиптични интеграли?

5. Следващите ми въпроси са свързани с твърдението, цитирам: „Едно интересно и много информативно представяне на теоретичните връзки (12) и(13)...“. Това представяне е показано на фиг. 4.3. Прави впечатление, че при малки  $R$  (тук  $R$  е безразмерно) няма експериментални данни за изпъкналите КМ (при ъгли по-големи от  $90^\circ$ ), също така - при големи  $R$  за вдлъбнатите КМ (при малки ъгли) няма експериментални данни. На какво се дължи това? Какво се случва в тези области на КМ и има ли някаква физическа причина за тази липса на данни? Ако липсват опитни данни, защото не можем да ги измерим, имат ли тогава нарисованите на тази фигура теоретични криви предсказателен за поведението на КМ характер? Можем ли да предвидим какво се случва с КМ в тези области?

Освен това, каква нова информация получаваме от новото представяне на резултатите за зависимостта на азимуталната и меридианна кривини от безразмерната дебелина на КМ, показани на фиг. 4.5, в сравнение с дискутираната Фиг. 4.3?

6. На фиг. 4.6. стр. 32 са показани и сравнени теоретични и експериментални данни. Защо не е показано какво се случва в по-едър мащаб? Ордината спокойно може да се ограничи от 0.9 до 1.1 или оста да се „скъса“ – така натрупването на опитните данни около 1-цата би станало по-ясно, а и би дало възможност да се представи високата прецизност на имидж-анализа.

Имам забележки относно стила на изразяване в дисертацията. Без да бъда педантичен, не мога да не спомена „описване на областта около талията“ на стр. 15 (края на параграф 2.6), или на стр. 33: „Първият интеграл (ур. (23)-(24)) е генетично свързан с външните сили  $F$ , поддържащи тежкия мост в равновесие“ – какво означава генетична връзка във физиката? На много места в дисертацията липсва простотата на изречението, от тук и липсата на яснота на твърденията, които се излагат. Не искам да цитирам всичките случаи, но този начин на изложение прави четенето и възприемане на информацията, особено новата, изключително трудно. Друга основна забележка е, че в хода на дискусиата, отново много често се „подхвърлят“ твърдения, оценки, следствия от уравнения, които се оказват, че ще бъдат обяснени, обосновани и/или дискутирани далеч след това, в съвсем отделна глава / параграф от дисертацията. Примерите за това са в цялата 2 и 4 глави. На стр. 5 твърдението че „Течните повърхности са гладки и хомогенни, но в същото време (нютоните флуиди) имат едно особено реологично свойство – те не носят **коси** статични напрежения за разлика от твърдите тела.“ подбуди недоумение у мен. Но авторът продължава с: „Тази разлика е от изключителна важност за динамиката на ТФК.“ В каква връзка, защо и т.н. Като неясно бих посочил и твърдението на стр. 19: „Възниква въпросът, има ли разлика между фигурите при двата корена и отговорът е ДА и то много съществена“. Като моя, лична препоръка към докторанта искам да отбележа, че има много да се работи по опростения, ясен и разбираем изказ на твърдения, особено в теоретично отношение, за да можем да бъдем разбирани в среда от преимуществено експериментатори.

Освен това, авторът борави с прекалена, според мен свобода при обезразмеряването на различни величини и уравнения, така че читателя се обърква напълно коя величина е безразмерна и коя не е, и какъв е смисъла от това обезразмеряване или продължаване на анализа в размерен вид. Стига се до твърдения от вида: (стр. 16), че: „Въпреки че водните КМ показваха забележимо изпарение, ефектът от него се изключва посредством представяне на експерименталните данни в подходящо скалирани координати (вж. Раздел 4.1, у-нения (11),

(12) и (13))“ Как с подходящи скалиращи параметри може да се изключи (скрие) явление? На стр. 30 четем: „*Основа за последващия анализ е капиллярно-гравитационният баланс в неговата размерна (3) и безразмерна (4) форма.*“, което предизвиква недоумение – как един и същи баланс (на сили) в размерна форма ще донесе повече или по-малко информация за анализа от същия баланс ама в другата, безразмерна форма. Друга забележка е, за случаите когато докторантът използва/цитира литературни източници без да даде и минимална информация за това, за какво става дума в тези източници напр. стр. 34: “*Разбира се, винаги стоят отверени въпросите свързани с практическото приложение, които именно са и обект на изследваня в наши дни (напр. [57], [58]). Ние работим с един известен подход [59], който се използва сравнително рядко, но който дава лесно достъпни резултати и би имал... “?* (Правописните грешки не са мои) Тук изобщо не става ясно кои са тия въпроси за *важни практически приложения*, цитирани в [57] и [58], с какво са толкова важни, нито пък подходът [59], който използва авторът и който се оказва, че е известен ама се използва рядко, макар и сравнително, но пък давал лесно, и то достъпни (за кого?) резултати!

Друга забележка, която не мога да премълча, е липсата на каквато и да е цитирана литература на работи на колеги от школата по физикохимия на академик Шелудко и особено на групата по тънки течни (в частност и пенни) филми в Института по физикохимия .

Дисертационният труд се основава на две научни статии. Едната е глава от книга от 2015 г., другата е под печат в *Colloids and Surfaces A*. В тях г-н Иванов е трети автор. Смятам, че приносите в дисертационния труд са в значителна степен лично дело на дисертанта. Резултатите са представяни на 10 международни и български научни форуми: 4 доклада и 6 постера. Тези данни, както и биографичните данни на кандидата го представят като високообразован и перспективен изследовател.

Авторефератът е направен съгласно изискванията и отразява правилно основните положения и научните приноси на дисертацията.

Научните приноси в дисертационния труд могат да се определят като доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми.

**Въпреки многобройните ми забележки и въпроси, считам че представения ми за рецензиране труд на г-н Иванов е дисертабелен като съдържание и като качество, и удовлетворява изисквания на ЗРАСРБ и на Препоръчителните критерии при придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ за професионално направление 4.2. „Химически науки”. Препоръчвам на Почитаемото Научното жури да присъди на редовен докторант Иван Тихомиров Иванов образователната и научна степен “доктор” в професионално направление 4.2. „Химически науки” (Физикохимия).**

Рецензент:

16 септември 2016 г.

София

(доц. д-р Любомир Николов)