

## ЗУБКОВА

Світлана Михайлівна — доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

## МОРОЗОВСЬКА

Ганна Миколаївна — доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту фізики НАН України



Член-кореспондент НАН України  
Майя Давидівна Глинчук

## КІЛЬКА БЕЗКОМПРОМІСНИХ КРОКІВ НА ШЛЯХУ ДО СУТНОСТІ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ

До 80-річчя члена-кореспондента НАН України  
М.Д. Глинчук

*13 лютого 2015 р. виповнюється 80 років видатному вченому в галузі матеріалознавства і технології матеріалів, лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки та премії ім. І.М. Францевича НАН України, доктору фізико-математичних наук, професору, члену-кореспонденту НАН України Майї Давидівні Глинчук.*

Видатний український учений-фізик Майя Давидівна Глинчук народилася в Києві 13 лютого 1935 р. Крім неї у сім'ї було ще двоє старших синів, один з них також став відомим фізиком. Вплив старших братів, безумовно, деякою мірою сформував характер Майї Давидівни — вона ніколи не боялася розпочинати нову справу і відстоювати свої ідеї.

У 1952 р. Майя Глинчук закінчила школу із золотою медаллю і вступила до Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. Це був «золотий» час для фізичного факультету: лекції з теоретичної фізики читали вчені, які мали світове ім'я в науці та відчували сучасні тенденції в фізиці, — Самуїл Ісаакович Пеккар, Кирило Борисович Толпиго. Їхні лекції сприяли кращому розумінню студентами сутності фізичних явищ і формуванню активного, творчого ставлення до наукового процесу. В 1957 р. Майя Давидівна закінчила фізичний факультет університету з червоним дипломом і одержала призначення в Інститут проблем матеріалознавства НАН України. Тоді засновник Інституту академік Іван Микитович Францевич запросив на роботу кількох випускників кафедри теоретичної фізики фізичного факультету КДУ. Він добре усвідомлював, що успішний розвиток матеріалознавства, зокрема створення нових матеріалів із наперед заданими властивостями, можливий лише за умови поєднання фундаментальних наук — фізики, математики, хімії із сучасними технологіями.

У 1963 р. М.Д. Глинчук захистила кандидатську дисертацію на тему «Деякі питання локальних електронних центрів на поверхні напівпровідників», яка стала значним внеском у розвиток фізики поверхні. Отримані результати показали наявність на поверхні неметалевих кристалів нанорозмірної зони полегшеної дисоціації електронних центрів, у якій відбувається руйнування екситонів, зсув оптичних і радіоспектроскопічних ліній поглинання та ін. У ті далекі роки І.М. Францевич запропонував своїм співробітникам розв'язати «загадку» явища, експериментально виявленого науковцями одного з відділів Інституту, яке полягало в електропереносі позитивно заряджених іонів металевих сплавів до анода, а негативно заряджених — до катода. І Майї Давидівні вдалося успішно пояснити цей ефект. Розрахунки показали, що в усьому «винен» електронний або дірковий вітер, який захоплює іони.

В 1973 р. М.Д. Глинчук захистила докторську дисертацію на тему «Дослідження з теорії форми ліній та релаксації у параелектричному і парамагнітному резонансах», у якій, зокрема, було запропоновано методи отримання інформації про фононну та дефектну структуру твердого тіла шляхом порівняння теорії з експериментом, уперше було встановлено, що механізмом, який зумовлює позацентрове місце домішок в іонних ґратках, є псевдоефект Яна—Теллера.

У 1985 р. після смерті І.М. Францевича Майя Давидівна очолила в Інституті відділ «Матеріали електронної техніки», в якому основна увага приділялася сегнетоелектричним матеріалам для електронної техніки у вигляді монокристалів, кераміки, у тому числі нанозеренної, і тонких плівок. Серед найвагоміших результатів цього напрямку — теорія фазових переходів, індукованих позацентровими домішками у високополяризованій матриці, та ґрунтовні дослідження з фізики релаксорних сегнетоелектриків. Велике наукове значення має й теорія, створена на основі моделі випадкових полів, яка дала змогу пояснити особливості поведінки статичної та динамічної діелектричної сприйнятливості, відповідність



Майя Давидівна Глинчук з Робертом Блінцем (1933—2011), видатним ученим зі Словенії, президентом Конгресу AMPERE (1990—1996)

температурної залежності часу релаксації закону Фогеля—Фулчера, аномалії фазових діаграм твердих розчинів на основі релаксорів, особливості температурної поведінки радіуса кореляції тощо. Беззаперечним досягненням є також теорія форми лінії ЕПР за наявності випадкових електричних і пружних полів та теорія параелектричного резонансу. Саме в цей період Майя Давидівна у співавторстві з відомим фізиком з Німеччини В. Клеманом публікує в журналі *Physical Review Letters* статтю про вплив випадкових полів на фазові переходи в релаксорах [1], яка стає рекордсменом серед її наукових праць за кількістю посилань — 661, та огляд у *Reviews of Modern Physics* [2], який став хрестоматійним у галузі фізики невпорядкованих діелектричних високополяризованих систем, на нього є 462 посилання.

Як відомо, 2000—2014 роки ознаменувалися інтенсивним розвитком наукових основ і виробництва наноматеріалів. Тепер тематику очолюваного М.Д. Глинчук відділу, який нині називається «Функціональні оксидні матеріали» і до якого приєдналася технологічна лабораторія, сконцентровано на дослідженні оксидних макро- та нанофероїків, їх електричних, магнітних, механічних властивостей та впливу на них зовнішніх полів з метою розроблення нових матеріалів для новітньої мікро- та нано-



М.Д. Глинчук, заступник директора ІПМ НАН України А.В. Рагуля та співробітники Інституту на ювілейі директора академіка В.В. Скорохода

електронної техніки; на створенні конкурентоспроможних оксидних керамічних матеріалів та виробів, що за своїми функціональними характеристиками і ресурсом роботи не поступаються найкращим світовим аналогам.

Ще на початку 1999 р. Майя Давидівна звернула увагу на дуже важливу і майже нерозроблену у світовій літературі проблему — теорію розмірних ефектів у сегнетоелектриках та споріднених матеріалах. Спочатку йшлося про те, чи можна, змінюючи товщину сегнетоелектричної плівки, керувати температурою фазового переходу з неполярної параелектричної фази в полярну сегнетоелектричну фазу з далеким порядком — спонтанною поляризацією. Поблизу цього переходу діелектрична проникність плівки максимальна, причому висота і півширина максимуму визначаються властивостями матеріалу плівки та умовами на її поверхнях. Завдання мало безпосередній вихід на практичні проблеми мініатюризації і поліпшення характеристик різних гетероструктур конденсаторного типу на сегнетоелектриках, які широко використовують у мікро- і нанoeлектроніці, електронній техніці, сенсоріці.

Протягом наступних 10 років надзвичайно напруженої роботи Майї Давидівні разом із групою молодих учених під її керівництвом не лише вдалося вирішити цю проблему для

сегнетоелектричних тонких плівок, використовуючи феноменологічний підхід Гінзбурга—Ландау—Девоншира, а й значно розширити коло матеріалів та об'єктів, для яких дуже важливі розмірні ефекти, зробити достовірні передбачення і вперше пояснити експериментальні факти, що здавалися парадоксальними. Виявилось, що розмірні ефекти, передусім такі, як індукований розміром фазовий перехід з сегнето- в парафазу, відіграють провідну роль у поведінці властивостей широкого класу сучасних наноматеріалів: тонких плівок і наночастинок різної форми (наносфер, нанотрубок і нанодротів) з упорядкованих сегнетоелектриків з фазовими переходами першого і другого роду, релаксорних сегнетоелектриків з розмитими фазовими переходами, віртуальних сегнетоелектриків і антисегнетоелектриків. Залежно від форми і розмірів цих наночастинок точка переходу зсувається на сотні градусів, істотно змінюються величини спонтанної поляризації, діелектричної сприйнятливості, піроелектричного і п'єзоелектричного відгуку. Залежно від матеріалу підкладки або оточення наночастинок можливе як збільшення, так і зменшення температури переходу, поліпшення або деградація полярних та діелектричних властивостей. Майї Давидівні вдалося створити саме аналітичну теорію розмірних ефектів, зокрема, отримані вирази дозволяють встановити кількісний вплив деформацій невідповідності, що виникають через різницю сталих ґратки плівки і підкладки, і коефіцієнта поверхневого натягу наночастинок, величина якого визначається різницею поверхневих енергій частинки та її оточення, товщини плівки і радіуса наночастинок на фазові переходи в наноматеріалах та їх фізичні властивості.

Було розраховано і порівняно з експериментом фазові діаграми та електрофізичні властивості тонких плівок і наночастинок типових релаксорних сегнетоелектриків [3], впорядкованих сегнетоелектриків типу титанату барію  $\text{BaTiO}_3$ , цирконату-титанату свинцю  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$  [4] і багатьох інших, віртуальних сегнетоелектриків танталату калію  $\text{KTaO}_3$  і титанату стронцію  $\text{SrTiO}_3$  [5], антисегнетоелектриків

типу цирконату свинцю  $PbZrO_3$  [6]. Врахування впливу поверхневого натягу та електрострикції дозволило вперше пояснити посилення полярних властивостей у сегнетоелектричних нанодрогах і нанотрубках сегнетової солі  $NaKCa_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$  [7].

Розробивши основи феноменологічної теорії розмірних ефектів у сегнетоелектричних наноматеріалах, наприкінці 2000-х років Майя Давидівна почала удосконалювати і узагальнювати цю теорію для мультифероїків, матеріалів з кількома параметрами далекого порядку, наприклад спонтанною поляризацією і намагніченістю або антиферомагнітним параметром порядку. Для розуміння та опису магнітних й електрофізичних властивостей сегнетоелектриків-феромагнетиків особливе значення має магнітоелектричний ефект. Суть лінійного ефекту полягає в тому, що зовнішнє статичне магнітне (електричне) поле індукуює електричну поляризацію (намагніченість) матеріалу, що є неможливим для типових діелектриків. Крім того, електричне поле впливає на магнітні властивості сегнетомагнетиків, а магнітне поле — на їх електричні властивості. Ці матеріали вважаються надзвичайно важливими і перспективними для розроблення та вдосконалення систем магнітоелектричної пам'яті. Майя Давидівна та її співавтори [8] вперше встановили, що лінійним магнітоелектричним ефектом, як і іншими зазначеними вище фізичними властивостями мультифероїків, а також їх фазовими діаграмами можна керувати за допомогою розмірних ефектів. Наприклад, коефіцієнт магнітоелектричного зв'язку може зростати в десятки разів зі зменшенням радіусу частинок або товщини плівок. На фазових діаграмах мультифероїків зі зменшенням їх розмірів до десятків нанометрів і менше можуть з'являтися нові фази, яких немає в об'ємних матеріалах. Наприклад, у нанорозмірних віртуальних сегнетоелектриках-антиферомагнетиках виникає сегнетоелектрична феромагнітна фаза [9].

У процесі розроблення теорії розмірних ефектів у матеріалах з далеким порядком Майя Давидівна звернула особливу увагу на той

факт, що крім розмірних і поверхневих ефектів істотну роль у нанорозмірних системах з далеким порядком відіграють сильні градієнти багатьох фізичних властивостей, а саме параметрів сегнетоелектричного, магнітного і структурного порядку, вбудованих електричних і магнітних полів, деформації та концентрації дефектів (домішкових іонів або вакансій). Ці градієнти є невід'ємною особливістю наносистем, вони відображують принципову відмінність фізичних властивостей поблизу поверхні і в об'ємі системи. Характерний масштаб градієнтів від кількох одиниць до десятків нанометрів. За останні 5 років Майя Давидівна з колегами показали, що завдяки сильним градієнтам у наносистемах спонтанно виникають флексоелектричний і флексомагнітний ефекти, а за наявності антиферодисторсного структурного параметра порядку — ще й ротофлексоелектричний і ротофлексомагнітний ефекти [10].

Вплив флексоефектів зумовлює додаткові особливості мультифероїків і часом несподівані трансформації їх фазових діаграм [11]. Яскравий приклад — виникнення поляризації на структурних доменних стінках (пружних двійників) у тонких плівках параелектриків титанату стронцію, кальцію та їх твердих розчинів, стабілізація низькосиметричних моноклінних фаз з великою кількістю енергетично еквівалентних конфігурацій структурних доменів, просторово-модульовані фази в нанорозмірних мультифероїках типу фериту вісмуту і титанату європію [12].

З теорії розмірних ефектів у наноматеріалах Майя Давидівна зі співавторами опублікували понад 50 статей у високореєтингових виданнях. На основі цих робіт було видано монографію М.Д. Глинчук, А.В. Рагулі «Наноферроїки» (2010). Доповнене видання цієї книги вийшло англійською мовою у видавництві Springer у 2014 р.

Усі згадані праці М.Д. Глинчук мають пріоритет у світовій науці та істотно збагатили фізику твердого тіла. Слід підкреслити головну, визначальну рису її наукової творчості — спрямованість на розв'язання принципових проблем сучасної фізики. Наукові роботи Майї



Давидівни вирізняються глибоким проникненням у фізичну суть досліджуваних явищ і процесів, чітким і прозорим формулюванням конкретних задач, правильним вибором математичних методів їх розв'язання. Для досліджень М.Д. Глинчук характерні ідейна новизна і фізична інтуїція, що в багатьох випадках дали їй змогу запропонувати фізичні моделі, які згодом було експериментально підтверджено. Вона створила наукову школу з радіоспектроскопії і теорії сегнетоелектриків та наноматеріалів. Усього Майя Давидівна має 310 статей, реферованих у міжнародних базах. Під її керівництвом захищено 16 кандидатських і 7 докторських дисертацій.

Майя Давидівна завжди приділяє багато уваги молодим колегам, навчає їх, що результат досліджень може бути справді науковим результатом лише у тому разі, якщо він стає відомим науковій спільноті, піддається ретельному критичному аналізу інших учених. У її відділі всі оригінальні статті співробітників перед тим,

як відіслати до друку, мають бути представлені на науковому семінарі, де Майя Давидівна вимагає від авторів прояснити проблему до найдрібніших деталей. Те саме відбувається і на міжнародних конференціях. Жодна доповідь не залишається без запитань чи коментарів Майї Давидівни, що дуже позитивно сприймається колегами, оскільки її зауваження допомагають доповідачу й присутнім правильно співвіднести наведені дані з результатами інших досліджень та наявними моделями, а її власні доповіді на конференціях завжди стають науковою подією і збирають багато зацікавлених слухачів. Авторитет Майї Давидівни в міжнародних наукових колах є беззаперечним. М.Д. Глинчук — член багатьох наукових міжнародних рад: Комітету АМРЕРЕ, Європейського та Всесвітнього дорадчих комітетів з фізики сегнетоелектриків. Вона також є головою Наукової ради «Фізика сегнетоелектриків», що координує діяльність учених України з цього напрямку фізики твердого тіла.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Vugmeister B.E., Glinchuk M.D.* Dipole glass and ferroelectricity in random-site electric dipole systems // *Rev. Mod. Phys.* — 1990. — V. 62, N 4. — P. 993–1026.
2. *Westphal V., Kleemann W., Glinchuk M.D.* Diffuse phase transitions and random-field-induced domain states of the 'relaxor' ferroelectric  $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$  // *Phys. Rev. Lett.* — 1992. — V. 68, N 6. — P. 847–850.
3. *Eliseev E.A., Glinchuk M.D.* Static properties of relaxor ferroelectric thin films // *J. Appl. Phys.* — 2007. — V. 102, N 10. — P. 104110.
4. *Glinchuk M.D., Morozovska A.N., Eliseev E.A.* Ferroelectric thin films phase diagrams with self-polarized phase and electret state // *J. Appl. Phys.* — 2006. — V. 99, N 11. — P. 114102(1-12).
5. *Eliseev E.A., Glinchuk M.D., Morozovska A.N.* Appearance of ferroelectricity in thin films of incipient ferroelectric // *Phys. Stat. Sol. B.* — 2007. — V. 244, N 10. — P. 3660–3672.
6. *Eliseev E.A., Glinchuk M.D.* Size-induced appearance of ferroelectricity in thin antiferroelectric films // *Physica B.* — 2007. — V. 400, N 1–2. — P. 106–113.
7. *Morozovska A.N., Eliseev E.A., Glinchuk M.D.* Ferroelectricity enhancement in confined nanorods: Direct variational method // *Phys. Rev. B.* — 2006. — V. 73, N 21. — P. 214106.
8. *Glinchuk M.D., Eliseev E.A., Morozovska A.N., Blinc R.* Giant magnetoelectric effect induced by intrinsic surface stress in ferroic nanorods // *Phys. Rev. B.* — 2008. — V. 77, N 2. — P. 024106(1-11).
9. *Morozovska A.N., Glinchuk M.D., Behera R.K. et al.* Ferroelectricity and ferromagnetism in  $\text{EuTiO}_3$  nanowires // *Phys. Rev. B.* — 2011. — V. 84. — P. 205403.
10. *Eliseev E.A., Morozovska A.N., Glinchuk M.D., Blinc R.* Spontaneous flexoelectric/flexomagnetic effect in nanoferroics // *Phys. Rev. B.* — 2009. — V. 79, N 16. — P. 165433(1-10).
11. *Morozovska A.N., Eliseev E.A., Glinchuk M.D. et al.* Interfacial polarization and pyroelectricity in antiferrodistortive structures induced by a flexoelectric effect and rotostriction // *Phys. Rev. B.* — 2012. — V. 85. — P. 094107.
12. *Morozovska A.N., Gu Y., Khist V.V. et al.* Low-symmetry monoclinic phase stabilized by oxygen octahedra rotations in thin strained  $\text{Eu}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  films // *Phys. Rev. B.* — 2013. — V. 87. — P. 134102.