

## ПАМ'ЯТІ ІГОРЯ ВАСИЛЬОВИЧА СТАСЮКА: КОРОТКИЙ НАРИС ПРО ЖИТТЄВИЙ ШЛЯХ І НАУКОВУ ПРАЦЮ

І. М. Мриглод, О. Л. Іванків, А. М. Швайка 

*Інститут фізики конденсованих систем НАН України, вул. Свенціцького, 1, Львів, 79011, Україна*  
(Отримано 27 грудня 2019 р.; прийнято до друку — 27 січня 2020 р.; опубліковано онлайн — 27 лютого 2020 р.)

У статті, присвяченій пам'яті відомого українського вченого в галузі теорії твердого тіла і статистичної фізики, члена-кореспондента НАН України, професора Стасюка Ігоря Васильовича, відображено основні етапи його життя, наукової та педагогічної праці, подано головні наукові здобутки.

**Ключові слова:** Ігор Васильович Стасюк, теорія твердого тіла, сильноскорельовані системи, сегнетоелектрики, йонні провідники, оптичні ґратки.

DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.24.1001>

### I. КОРОТКИЙ НАРИС ПРО ЖИТТЄВИЙ ШЛЯХ І. В. СТАСЮКА

18 вересня 2019 року на 81 році життя відійшов у вічність Ігор Васильович Стасюк, головний науковий співробітник Інституту фізики конденсованих систем НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України, почесний доктор Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України, лавреат Премії НАН України ім. О. С. Давидова, знаний класик теорії твердого тіла і квантової статистики.



Фото 1. Ігор Васильович Стасюк.

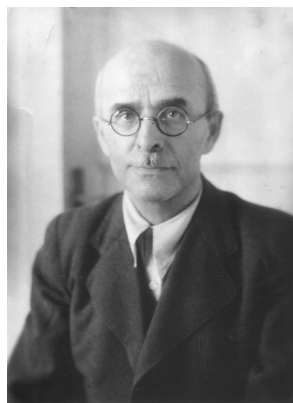


Фото 2. Батько Василь Ількович та мати Ірина Василівна (з дому — Дубицька). 50-і роки ХХ ст.



Фото 3. Будинок у Бережанах, в якому проживала родина Стасюків у час народження Ігоря. 30-і роки ХХ ст.

А розпочався його життєвий шлях на Тернопільщині, у м. Бережанах, де 23 вересня 1938 року в інтелігентній родині Стасюків народився син Ігор.

Батько, Василь Ількович Стасюк, був відомим математиком, професором, а певний час і директором Бережанської гімназії. Василь Стасюк народився 1887 року в селі Товмачику (нині — територія Коломийського району Івано-Франківської області). По закінченні Коломийської української гімназії здобув вищу освіту на філософському факультеті Віденського університету (1906–1911), де вивчав математику, фізику й астрономію. Серед його викладачів був, зокрема, вчений світової слави Людвіг Больцман. У 1912 році під керівництвом професора А. Штоєра у Віденському університеті В. Стасюк захистив дисертацію

“Геометрія Лобачевського та її представлення в евклідових просторах” і здобув науковий ступінь доктора філософії в галузі математики й астрономії. Предметом наукових зацікавлень доктора Василя Стасюка була також асекураційна (страхова) математика, яка давала йому наукову базу для праці й консультування українських страхових компаній Галичини в 1910–1920 роках — Товариства взаємної безпеки майна “Дністер” та Товариства взаємних забезпечень життя й ренти “Карпатія”. Паралельно із роботою, як



вільний слухач Львівського університету, він додатково вивчав філософію (1912–1913) та юриспруденцію (1916–1917). У 1920 році був обраний дійсним членом Наукового товариства імені Шевченка. Василь Стасюк опублікував ряд статей у Збірнику математично-природописно-лікарської секції НТШ, що сприяло зміцненню природничого напрямку в діяльності НТШ, яке на ту пору більше славилось гуманітарними студіями. На початку 20-их років він був запрошений викладати до Львівського українського (таємного) університету, але не зміг переїхати до Львова та займався викладанням у гімназіях різних міст Західної України: Коломиї, Лежайська, Ланцута і Бережан (із 1928 року). Бережанська гімназія славилася тоді на всю Галичину, тут у різні часи працювало багато відомих українських діячів. Василь Стасюк став достойним їх послідовником. У повоєнний час протягом 1944–1958 років учителював у Стрийській середній школі № 5, що носить нині його ім'я. Він виховав багато учнів, які стали відомими вченими і не тільки в царині математики. Помер у 1960 році.



Фото 4. Ігор з батьками в Карпатах. Початок 50-их ХХ ст.

Мати Ігоря, Ірина Василівна (з роду Дубицьких), народилася у 1901 році в Тернополі в священничій родині. Музичну освіту здобула у Вищому музичному інституті (консерваторії), навчалася у професора Вебера, вдосконалювала свою майстерність на концертних курсах. Була талановитою піаністкою, постійним акомпаніатором хору "Боян" у Бережанах, виступала зі сольними концертами. Від 1945 року впродовж майже тридцяти літ працювала викладачем Стрийської музичної школи, виховала чимало професійних музикантів. Дотепер збереглися її навчальні програми з підготовки учнів гри на фортепіано, які були досить ефективними. Померла в 1983 році.

Обоє батьків змалку виховували Ігоря в дусі надзвичайного працелюбства, порядності та відданості людям. Прищеплювали йому любов як до математики і природничих наук, так і до музики та мистецтва, любов до Карпат і подорожування, повагу до своєї землі й свого народу.

Зростаючи в добрій, дружній та працелюбній атмосфері, Ігор Стасюк навчається й закінчує середню

школу в Стрию та в шістнадцятирічному віці вступає на фізичний факультет Львівського державного університету. Як окремий структурний підрозділ фізичний факультет постав лише рік перед тим, у 1953 році, виокремившись із фізико-математичного факультету. Це стимулювало добру навчальну й наукову активність серед викладачів і студентів. Багато його однокурсників згодом стали відомими науковцями: Вадим Владіміров, Йосиф Кавич, Олександр Логвиненко, Василь Вайданич, Іван Головацький, Леонід Кулик, Роман Луців, Віктор Прохоренко. Водночас на їхньому тлі Ігор Стасюк вирізнявся. Завдяки своїм таланту та праці він розпочав займатися наукою ще в студентські роки, і перша його наукова робота в ДАН СРСР (спільно з А. Глауберманом і В. Владіміровим) була опублікована в період його студентства.



Фото 5. Ігор Стасюк — студент університету. 1955.



Фото 6. Наукова дискусія на кафедрі теоретичної фізики. І. В. Стасюк, В. В. Владіміров, А. Ю. Глауберман. 1959.

У 1959 році Ігор Стасюк з відзнакою закінчує фізичний факультет Львівського державного університету ім. Івана Франка і вступає до аспірантури на кафедру теоретичної фізики. Тут він мав багато розумних і порядних учителів. Насамперед хочеться згадати Аббу Юхимовича Глаубермана, наукового керівника в аспірантурі, викладачів кафедри теоретичної фізики Василя Степановича Міліянчука, Ігоря Рафаїловича Юхновського. Вони розвинули талант молодого вченого, ввели у світ актуальних фізичних проблем, передали йому своє вміння й бажання працювати. Неповторна атмосфера, творча й вимоглива, панувала

на ту пору серед фізиків Львівського університету: цікаві та регулярні семінари, жваві наукові дискусії, зростала велика плеяда талановитих молодих науковців, які згодом стали основою не лише фізичного факультету Львівського університету, але й багатьох фізичних осередків в Україні.

Закінчивши аспірантуру Ігор Стасюк 1963 року успішно захищає кандидатську дисертацію “Метод вузлових елементарних збуджень у теорії неметалічних кристалів”. Запропонований у праці метод вузлових операторів має пріоритет і був розроблений незалежно як один із варіантів широко відомого у світі формалізму операторів переходу, що розвивався згодом у роботах Дж. Габарда (інколи ці оператори називають операторами Габарда-Стасюка).



Фото 7. І. В. Стасюк та М. Т. Сеньків. 60-і роки ХХ ст.

Протягом 1962–1964 років Ігор Стасюк виконує обов'язки доцента кафедри теоретичної фізики ЛДУ ім. І. Я. Франка. Бурхливий розвиток фізики на початку 60-их років минулого століття спричиняє відкриття нових кафедр на фізичному факультеті. Однією з них стала кафедра теорії твердого тіла, утворена 1964 року з ініціативи А. Ю. Глаубермана. Згодом кафедрою завідували також О. М. Музичук, К. Д. Товстюк та М. Т. Сеньків. Від часу створення і до ліквідації кафедри в 1970 році Ігор Васильович Стасюк був її працівником — спершу асистентом, а згодом доцентом. Тут він разом із співавторами розвинув метод функцій Гріна на операторах вузлових елементарних збуджень і застосував до теорії феромагнетиків, антиферомагнетиків і напівпровідникових магнетиків, а також використав до двозонної моделі напівпровідників, започаткував мікроскопічну теорію сегнетоелектриків і антисегнетоелектриків. У 1967 році І. В. Стасюкові присвоєно вчене звання доцента за спеціальністю “теорія твердого тіла”.

У 1967 році Ігор Стасюк одружується з Тетяною Крушельницькою, яка закінчувала навчання на фізичному факультеті Львівського державного університету ім. І. Я. Франка. Тетяна Крушельницька походить зі славного роду Крушельницьких: її мати — відомий археолог Лариса Крушельницька з родини Івана Крушельницького, українського поета, драматурга, графіка, мистецтвознавця (став жертвою сталінських політичних репресій і розстріляний у 1934 році) та Галі Левицької, визначної піаністки і педаго-

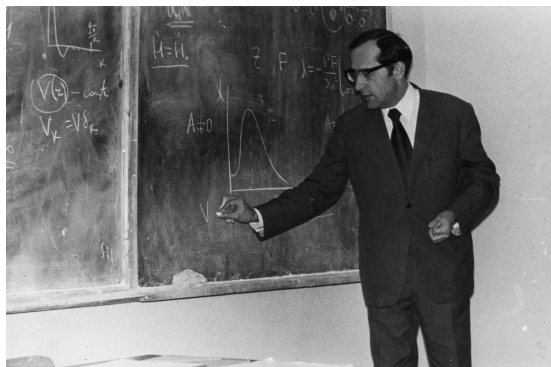


Фото 8. І. В. Стасюк виступає на семінарі кафедри теоретичної фізики. 70-і роки ХХ ст.

га, професора фортепіанного факультету Львівської консерваторії. Т. Д. Крушельницька нині працює доцентом Національного університету “Львівська політехніка”, була депутатом Львівської міської ради п'ятого скликань.



Фото 9. Учасники конференції з фізики сегнетоелектриків: М. О. Романюк, О. Я. Сабан, Р. Р. Левицький, Л. П. Луців-Шумський, І. В. Стасюк, О. М. Попель. Карпати, початок 80-их ХХ ст.

У 1970 році І. В. Стасюк повертається на кафедру теоретичної фізики, де працює доцентом до 1978 року. У цей час він зі співавторами розвинув діаграмну техніку для операторів Габарда на основі методу двочасових функцій Гріна, досліджував динаміку та фазові переходи, пов'язані з протонним упорядкуванням у сегнетоелектриках із водневими зв'язками, запропонував мікроскопічну теорію пружних властивостей сегнетоелектриків типу KDP, розпочав дослідження деформаційних та індукованих електричним полем оптичних ефектів у діелектричних кристалах. На кафедрі теоретичної фізики І. В. Стасюк читає курси електродинаміки, статистичної фізики і термодинаміки, спецкурси з теорії твердого тіла, теорії фазових переходів і низку інших.

У 1978 році, бажаючи сконцентрувати свої зусилля тільки на науковій роботі та зважаючи на переобтяженість навчання студентів в університеті тогочасною ідеологією, Ігор Стасюк переходить у систему Академії наук, а саме: в Інститут прикладних проблем





Фото 10. У 1-ій аудиторії фізичного факультету ЛДУ ім. І. Я. Франка на вул. Драгоманова, 50. І. В. Стасюк, Й. М. Стахіра, О. Біланюк. 1998.



Фото 12. Завідувачі відділу квантової статистики різних часів: І. В. Стасюк, І. О. Вакарчук, Ю. К. Рудавський. Початок 2000-их років.



Фото 11. На Боголюбовських читаннях у Львові. І. В. Стасюк, А. В. Свідзінський, К. Д. Товстюк. 1999.



Фото 13. Конференція з фізики сегнетоелектриків. Ю. М. Височанський, М. А. Кориневський, І. В. Стасюк, З. Чапля, О. Г. Влох. Львів, 2006.

механіки і математики (ІППММ) АН УРСР. Утворений за ініціативи академіка Я. С. Підстригача в 1974 році, цей інститут був зацікавлений у поповненні науковими кадрами найвищої кваліфікації, в тому числі фізиками-теоретиками. Ігор Васильович працює старшим науковим співробітником у відділі теорії фізико-механічних полів, яким тоді керував професор Ярослав Йосипович Бурак, видатний механік, спеціаліст у галузі термодинаміки фізико-механічних процесів. Будучи механіком за фахом, він дуже добре знав макроскопічну фізику і природно об'єднував ці науки. Крім того, він був надзвичайно інтелігентною й ерудованою людиною. Тож атмосфера у відділі панувала творча і приємна. У відділі Ігор Васильович продовжує дослідження сегнетоелектричних фазових переходів, пружних властивостей ян-теллерівських кристалів, деформаційних ефектів у перехідних металах та вузькозонних напівпровідниках. Він разом із С. Коцуром створив мікроскопічну теорію електрогірації — явища, яке експериментально відкрив львівський вчений О. Г. Влох. Працюючи у відділі, Ігор Васильович заклали основи теорії впливу напружень на фазові переходи в сегнетоелектриках. В ІППММ І. В. Стасюк став одним із головних експертів із фізичних проблем, які виникали в процесі досліджень в Інституті.

У 1983 році Ігор Васильович Стасюк на запроше-

ння академіка Ігоря Рафаїловича Юхновського переходить до Львівського відділення статистичної фізики Інституту теоретичної фізики (ІТФ) АН УРСР. Це був цілком природний крок, оскільки саме цей науковий підрозділ став основним осередком теоретичної фізики у Львові і саме тут концентрувалися найкращі фізики-теоретики. Утворений у 1969 році з ініціативи І. Р. Юхновського відділ статистичної теорії конденсованих систем (СТеКС) ІТФ АН УРСР поступово зростав, перерісши 1980 року у відділення, що складалося вже з трьох відділів (СТеКС, квантової статистики, теорії розчинів), і продовжував дуже динамічно розвиватися. Ігор Васильович Стасюк природно й органічно влився в колектив, розширив його наукову тематику, став одним із головних експертів у галузі теорії твердого тіла. Творча атмосфера і дух, які панували тут, сприяли швидкому завершенню його роботи над докторською дисертацією. У 1985 році в Києві в Інституті теоретичної фізики АН УРСР І. В. Стасюк успішно захищає докторську дисертацію "Теорія індукованих зовнішніми полями ефектів у кристалах із структурними фазовими переходами". У 1986 році Ігор Васильович очолює відділ квантової статистики, яким керував упродовж тридцяти років. Доти цей відділ очолювали І. О. Вакарчук та Ю. К. Рудавський.



У 1987 році І. В. Стасюкові присвоєно вчене звання професора за спеціальністю “теоретична фізика”.



Фото 14. Перший склад дирекції ІФКС НАН України: І. М. Мриглод, С. М. Мохняк, І. Р. Юхновський, М. А. Кориневський, І. В. Стасюк. 1990.



Фото 15. Відділ квантової статистики на Новорічному вечорі в ІФКС. О. Величко, Р. Стеців, О. Данилів, І. Стасюк, А. Швайка, І. Антоневич, Т. Голубець, К. Табунщик. Кінець 90-их ХХ ст.

У 1990 році в переддень розвалу Радянського Союзу і появи на карті Європи нових незалежних держав (уже були прийняті Верховною Радою Декларація про державний суверенітет України, а також Закон про економічну самостійність Української РСР) на базі Львівського відділення статистичної фізики ІТФ АН України за активних старань академіка І. Р. Юхновського, на той час народного депутата Верховної Ради України, було утворено новий академічний інститут — Інститут фізики конденсованих систем, який став фактично першим ще в УРСР інститутом, що закладався вже за правилами незалежної України. Це був перший академічний інститут фізичного профілю на Західній Україні. Інститут підтримали академіки М. М. Боголюбов і Б. Є. Патон. Ігор Васильович Стасюк увійшов до складу першої дирекції Інституту як заступник директора з наукової роботи і пропрацював на цій посаді шістнадцять років. Від 1990 року він очолював науковий семінар ІФКС НАН України, яким керував до останніх своїх днів.

Розпочався новий період, що вимагав напруженої праці задля розвитку Інституту, хоча умови були не завжди сприятливі для цього (фінансування академічної науки в неповному обсязі, нерозуміння важливо-

сті розвитку науки в державі і т.п.). У цей час Ігор Васильович зі своїми учнями продовжує розвивати теорію індукованих зовнішніми полями оптичних і деформційних ефектів у кристалах, поміж ними й ефектів Фарадея та магнітооптичного, гірації й електрогірації, кристалів із несумірними фазами, комбінаційного розсіяння світла, квазіодновимірних молекулярних систем із водневими зв'язками, високотемпературної надпровідності.



Фото 16. І. В. Стасюк за своїм робочим столом в ІФКС НАН України. Середина 90-их ХХ ст.



Фото 17. І. В. Стасюк отримує Почесну грамоту Верховної Ради України з рук Голови Верховної Ради В. М. Литвина. Київ, 2004.



Фото 18. А. Г. Загородній та І. В. Стасюк у день присудження йому звання Почесного доктора ІТФ ім. М. М. Боголюбова НАН України. Київ, 2011.

Коли в 1993 році Інститут розпочинає видання спершу міжвідомчого збірника, а згодом наукового журналу “Condensed Matter Physics”, Ігор Васильович стає заступником головного редактора і фактично очолює його. Журнал розвивається, розширюється коло заступників головного редактора, але Ігор Васильович незмінно залишався в цьому списку. Журнал став першим у незалежній Україні науковим періодичним виданням, яке увійшло до Master Journal List, що вів тоді американський Інститут наукової інформації (Thomson ISI). А у червні 2008 р. — першим у незалежній Україні науковим періодичним виданням, яке отримало імпаکت-фактор Journal Citation Reports (JCR). Анотації статей з журналу публікуються та індексуються в низці міжнародних видань і наукометричних баз, зокрема таких як Web of Science Core Collection WoS(CC), Chemical Abstracts, INSPECT, PubScience, Scopus тощо.

У 1995 році Ігоря Васильовича Стасюка обирають дійсним членом Наукового товариства імені Шевченка, діяльність якого на території України після тривалої перерви була відновлена в 1989 році. Він, як видатний фізик-теоретик, став гідним продовжувачем діяльності свого батька, видатного математика, у цьому славному Товаристві. Від 2005 року Ігор Васильович плідно працював у складі Президії НТШ, зробив суттєвий внесок у відродження і розвиток НТШ в Україні, зокрема фізичної комісії та Фізичного збірника НТШ, членом редколегії якого був від 1993 року.



Фото 19. Разом із М. М. Плакідіою. Львів, 1999.

У 1995 році за умов надзвичайно високої конкуренції І. В. Стасюка обирають членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю “теоретична фізика”. У такий спосіб академічна спільнота оцінила його науковий доробок, високий професіоналізм, і, фактично, доробок його наукової школи. У 1996 році він став Соросівським професором.

У колі наукових інтересів І. В. Стасюка в цей період постають нові задачі, спрямовані на пошук нових фізичних принципів розв’язання проблем безпеки об’єкту “Укриття” Чорнобильської АЕС, зокрема, він досліджує квантово-хімічними методами процеси адсорбції йонів уранілу, стронцію та цезію на алюмосилікатах та фероціанідах і працює над виявленням



Фото 20. І. В. Стасюк у подорожах в Карпатах.

нових можливостей для сепарації та деактивації паливовмісних матеріалів в об’єкті “Укриття”. Він також досліджує електронний спектр, сприйнятливості та фазові переходи в зарядовоупорядкований та надпровідний стани, спектри комбінаційного розсіяння світла для різних моделей сильноскорельованих електронних систем, у т.ч. вивчає псевдоспін-електронну модель та асиметричну модель Габарда. І. В. Стасюк розробив оригінальні схеми незвідних функцій Гріна та твірного потенціалу, які дозволяють послідовно знаходити як відомі наближені розв’язки, так і пропонувати нові. Тоді ж розпочато нові теоретичні дослідження процесів інтеркаляції атомів та йонів у шаруватих структурах, які мають важливе значення для розробки нових типів електричних акумуляторів.

2000-ні роки знамениті бурхливим зростанням експериментальних досліджень ультрахолодних атомів та бозе-конденсації в оптичних ґратках, що викликало потребу в теоретичному описі таких систем. І. В. Стасюк не залишився осторонь від цих проблем. В останнє десятиліття він спільно з учнями вивчав фазові переходи як у чистих бозе-системах, так і в сумішах бозівських та ферміївських атомів на оптичних ґратках. На запит експериментаторів І. В. Стасюк розпочав дослідження нових сегнетоелектричних структур, зокрема DMAGaS і DMAAlS та фосфіту гліцину (GPI), для яких було запропоновано оригінальні моделі та знайдено їхні розв’язки, які, з одного боку, коректніше відображають особливості структури, а з іншого — дають правильний опис спостережуваних на експерименті аномалій.

Невтомна наукова праця, педагогічна діяльність та робота з учнями приносять І. В. Стасюкові великий науковий авторитет в Україні та у світі. Його роботи широко цитують, він входить до складу організаційних та програмних комітетів багатьох фізичних конференцій, працює у редколегіях низки журналів, ви-

ступає рецензентом у провідних наукових фізичних журналах. Він — автор чи співавтор понад 740 наукових публікацій, поміж ними 5 монографій.



Фото 21. Разом із дружиною Тетяною Крушельницькою. 2013.

Особливою рисою наукової діяльності І. В. Стасюка було органічне поєднання наукової роботи з навчанням і вихованням молодих науковців. За курсами лекцій, які читав професор І. В. Стасюк у Львівському університеті, виховувалося не одне покоління фізиків-теоретиків. Його учні стали чудовими вченими і викладачами. Його блискучі лекції з теоретичної фізики, а також спецкурси з теорії груп, квантової статистики, теорії твердого тіла, теорії фазових переходів, прочитані в різні роки, запам'яталися кільком поколінням львівських фізиків, конспекти його лекцій переходили з рук у руки і мимоволі ставали підручниками для студентів. Наукові виклади професора відзначалися своєю доступністю навіть у найскладніших теоретичних курсах. Ігор Васильович був університетським професором від Бога.

Педагогічний талант І. В. Стасюка проявився в його послідовниках і учнях. Він виховав 21 кандидата та 5 докторів фізико-математичних наук. За алфавітним порядком нижче наведено перелік науковців, які під керівництвом І. В. Стасюка стали кандидатами наук: О. В. Величко, О. А. Воробйов, О. Б. Гера, Р. О. Григорчук, О. Д. Данилів, Л. Д. Дідух, О. Л. Іванків, С. С. Коцур, В. О. Краснов, Р. Р. Левицький, Т. С. Мисакович, С. М. Мохняк, Н. І. Павленко, Р. М. Пелешак, О. М. Попель, О. Я. Сабан, П. М. Слободян, Р. Я. Стеців, К. В. Табунщик, В. П. Тупичак, А. М. Швайка, а також докторами наук: Л. Д. Дідух, Р. Р. Левицький, Р. М. Пелешак, А. М. Швайка, Я. Й. Шур. Цікаво зауважити, що часовий період від захисту першої кандидатської дисертації до останньої під керівництвом І. В. Стасюка охоплює майже 50 років — від 1969 до 2017. Це означає, що весь цей час він був на передових рубежах наукових досліджень із теоретичної фізики твердого тіла. Його вихованці працюють нині в наукових й освітніх закладах чи бізнесових структурах у різних містах Західної України.

І. В. Стасюк активно займався науково-організаційною діяльністю. Впродовж шістнадцяти років він був

заступником директора з наукової роботи ІФКС НАН України, тридцять років керував відділом квантової статистики. Протягом двадцяти п'яти років був заступником головного редактора журналу "Condensed Matter Physics", багатолітнім членом редколегії "Фізичного збірника НТШ", "Журналу фізичних досліджень", міжнародного журналу "Phase Transitions", входив до складу наукових рад при ВФА НАН України з проблем: "Фізика металічного стану" (секції "Теорія металічних систем" і "Транспортні явища в металічних матеріалах"), "Фізика низьких температур і криогенна техніка" (секція "Електронні властивості твердих тіл"), "Фізика м'якої речовини" (секція "Статистична фізика"), Міжнародного дорадчого комітету з проблеми "Домени в фероїках і мезоскопічні структури"; працював у складі Президії Наукового товариства імені Шевченка, багатьох спеціалізованих рад із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фіз.-мат. наук, зокрема при Інституті фізики конденсованих систем НАН України та Львівському національному університеті імені Івана Франка. Впродовж тривалого часу був віцепрезидентом Українського фізичного товариства (2002–2013), головою секції фізики при ЗНЦ НАН і МОН України та членом експертної ради ВАК України.

І. В. Стасюк став одним з ініціаторів і натхненників серії Українсько-польсько-литовських конференцій з фізики сегнетоелектриків, що започатковані у Львові 1990 року як українсько-польські, а згодом були географічно розширені. Нині вони мають свою історію і свої традиції.

Ігор Васильович багато зробив і як видатний популяризатор науки, людина енциклопедичних знань, інтелігентна й високоосвічена людина. Міждисциплінарні дискусії, які він започаткував, проводяться щороку на Фестивалі науки в ІФКС і щоразу приваблюють нових учасників.

Наукова й педагогічна діяльність Ігоря Васильовича Стасюка була достойно оцінена державою і академічною спільнотою України. Він нагороджений Знаком "Відмінник освіти України" (1998), Почесною грамотою Верховної Ради України (2004), відзнаками НАН України "За наукові досягнення" (2008) та "За підготовку наукової зміни" (2018), орденами "За заслуги" III ступеня (2009) та II ступеня (2018). Він є лауреатом премії НАН України ім. О. С. Давидова (2014) та почесним доктором Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України (2011).

## II. ОСНОВНІ НАУКОВІ ЗДОБУТКИ І. В. СТАСЮКА

### Розвиток математичних методів теорії багаторівневих систем та складних кристалічних сполук

Для опису багаторівневих систем і систем, що складаються з груп сильно взаємодійних між собою частинок, І. В. Стасюк запропонував метод вузлових опе-



раторів. Цей підхід відкрив у подальшому якісно нові можливості теоретичного опису багатьох об'єктів. Його роботи в цій ділянці були пріоритетними, а розроблена в них методика стала одним із перших варіантів формалізму операторів переходу, який розвинув пізніше Дж. Габард (оператори переходу відомі в літературі як оператори Габарда). Оскільки ці оператори не підлягають стандартній статистиці Фермі чи Бозе, то квантово-польові методи, розроблені на той час, виявилися для них непридатними і поставило завдання розробки нового математичного апарату. Визначальний внесок і тут зробив І. В. Стасюк (спільно з П. Слободяном), запропонувавши узагальнення теореми Віка на випадок операторів переходу і розвинувши відповідну діаграмну техніку для розрахунку функцій Гріна та кореляційних функцій. Теорема Віка й діаграмна техніка для операторів переходу (Габарда) у формулюванні І. В. Стасюка вважаються канонічними і включені в низку монографій та оглядів із теорії систем з сильними електронними кореляціями. Метод вузлових операторів переходу (операторів Габарда) широко використовував І. В. Стасюк і його учні не тільки під час розгляду систем із сильними електронними кореляціями (вузькозонні матеріали, домішки перехідних металів у неперехідних), а й у розрахунку електронних станів сильнозв'язаних груп в йонно-ковалентних кристалах, дослідженні конфігураційних ефектів у системах із водневими зв'язками. Ці та інші дослідження, пов'язані з функціями Гріна, детально викладені в монографії: І. В. Стасюк. *Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл* (Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013), 392 с.

Із використанням формалізму операторів Габарда в працях І. В. Стасюка запропоновано модель діелектричного кристала зі змішаним характером зв'язку. На прикладі цієї моделі він розвинув оригінальну схему врахування зовнішніх і внутрішніх деформацій кристала. Для дослідження динаміки, діелектричних і оптичних властивостей такої системи розроблена методика, яка базується на використанні симетризованих функцій Гріна. Цей підхід успішно застосував І. В. Стасюк і співробітники для опису з єдиних позицій ряду деформаційних і оптичних ефектів у сегнетоелектриках і кристалах із структурними фазовими переходами.

#### **Фізичні явища в кристалах із вузькими зонами провідності**

Великий цикл досліджень провів І. В. Стасюк (спільно з Л. Д. Дідухом) у галузі теорії кристалів із вузькими електронними зонами провідності, у яких суттєву роль відіграє сильна одновузлова кореляція електронів. При цьому розв'язано низку задач, що пов'язані з виникненням магнітопорядкованих станів у вузьких зонах провідності, зокрема в системах, що описуються моделлю Габарда. Встановлено умови появи феромагнетизму в полярній моделі, досліджено особливості посередньої обмінної взаємодії у вузько-

зонних матеріалах. На основі формалізму операторів Габарда та діаграмної техніки вивчено стан домішки перехідного металу в неперехідному на основі моделі Андерсона. У випадку сильного зв'язку виявлено можливість зарядового перерозподілу на домішці під дією зовнішніх впливів, а також виникнення квазізв'язаних станів електронів провідності. Запропоновано інтерпретацію ряду експериментальних фактів, що наявні в розріджених сплавах, до яких незастосовна  $s - d$  модель. Ці дослідження викладено в монографії: Л. Д. Дідух, Л. Ф. Прядко, И. В. Стасюк. *Корреляционные эффекты в узкозонных материалах* (Львов: Вища школа, 1978), 120 с.

#### **Системи з сильними електронними кореляціями і проблема високотемпературної надпровідності**

З огляду на відкриття явища високотемпературної надпровідності (ВТНП) у всьому світі значно зросло зацікавлення системами із сильними електронними кореляціями. Відтоді професор І. В. Стасюк значну увагу приділяв вивченню ролі електронної взаємодії габардівського типу та ангармонізму йонної підсистеми в механізмі цього явища. Разом із вченими з Об'єднаного інституту ядерних досліджень (м. Дубна) він дослідив так званий кінематичний механізм надпровідності в межах моделі Габарда і його внесок у виникнення надпровідного стану різної симетрії. Під час розгляду діелектричної сприйнятливості ВТНП-систем (спільно з А. М. Швайкою) в межах псевдоспін-електронної моделі він розвинув оригінальну схему узагальненого наближення хаотичних фаз для розрахунку кореляційних функцій діаграмним методом. Уперше виявлено можливість виникнення у ВТНП кристалах нестійкостей щодо флуктуацій поляризації або густини електронного заряду і, як наслідок, утворення фаз із різним типом упорядкування: сегнетоелектричним, зарядовим, фазовим розшаруванням. Спільно з О. В. Величком досліджено вплив нестехіометрії за киснем на впорядкування апікальних киснів у ВТНП-сполуках. У межах псевдоспін-електронної моделі в поперечному полі вперше (спільно з Т. С. Мисаковичем) указано на можливість співіснування фазових переходів зарядового впорядкування та надпровідності, що 10 років по тому було експериментально встановлено як характерну рису ВТНП-сполук.

#### **Розробка термодинамічно самоузгоджених аналітичних схем у теорії сильнокорельованих електронних систем**

У теорії сильнокорельованих електронних систем дуже цінують термодинамічно самоузгоджені результати, коли в межах одного підходу отримуються одночасно термодинамічні функції, одноелектронні спектри та багаточастинкові сприйнятливості. Значна частина робіт І. В. Стасюка була присвячена розробці

таких підходів. Зокрема, він (спільно з А. М. Швайкою та К. В. Табунщиком) розрахував у межах узагальненого наближення хаотичних фаз та теорії динамічного середнього поля одноелектронні спектри, термодинамічний потенціал, рівняння стану та зарядові сприйнятливості. На цій основі побудовано фазові діаграми для псевдоспін-електронної моделі, які виявили можливість переходу метал-діелектрик, а також фазових переходів у зарядово-порядкований стан із різним періодом модуляції та фазове розшарування як на однорідні фази, так і на однорідну та зарядово-порядковану. Спільно з Т. С. Мисаковичем розраховано внески в переріз комбінаційного розсіяння світла від електронних та псевдоспінних (ґраткових) збуджень. Ключовим елементом теорії динамічного середнього поля є знаходження розв'язків ефективної одновузлової задачі, для розв'язання якої І. В. Стасюк запропонував оригінальну наближену аналітичну схему незвідних функцій Гріна, побудованих на операторах Габарда, та різночасових розчеплень. На цій основі отримано як відомі наближення, так і запропоновано узагальнення відомого наближення Габард-Ш. У подальшому (спільно з О. Б. Герою) ця схема була успішно застосована до дослідження асиметричної моделі Габарда та переформульована в методі твірного потенціалу.

Результати багаторічних досліджень псевдоспін-електронної моделі підсумовано в розділі колективної монографії: I. Stasyuk. "Phase Transitions in the Pseudospin-Electron Model." In: *Order, Disorder and Criticality. Vol. 2. Advanced Problems of Phase Transition Theory*, edited by Yu. Holovach (Singapore: World Scientific, 2007), p. 231–290.

#### Бозе- та фермі-атоми в оптичних ґратках

Окрім вивчення чисто електронних систем, проводилися теоретичні дослідження фазових впорядкувань надхолодних атомів в оптичних ґратках. І. В. Стасюк (спільно з Т. С. Мисаковичем та В. О. Красновим) на основі запропонованого оригінального методу в формалізмі операторів Габарда вивчив фазові переходи в системах бозе-атомів і в суміші бозе- та фермі-атомів в оптичних ґратках. Для цих систем встановлено умови існування фазового переходу зі стану моттівського діелектрика в надплинну фазу для основного стану та для відмінних від нуля температур і розглянуто можливість зміни роду фазового переходу в моделі Бозе-Фермі-Габарда. Для суміші бозе-фермі частинок проаналізовано вплив ферміонної підсистеми на умови переходу бозе-підсистеми в стан із бозе-конденсатом (БК). Виходячи з фазових діаграм, встановлено умови існування надплинної фази за бозон-ферміонного відштовхування чи притягання.

Окремо І. В. Стасюк (разом з О. А. Воробйовим, О. В. Величком і О. О. Менчишином) дослідив перехід у фазу з бозе-конденсатом у ґратковому бозе-газі з квантовими перескоками частинок по збуджених

станах і встановив умови, за яких відбувається розшарування на нормальну та БК фази. З'ясовано, що нергодічний внесок до функції розподілу частинок за імпульсом (пов'язаний зі статичними флуктуаціями густини) суттєво наростає і стає сумірним з ергодичною частиною в надплинній фазі біля трикритичної точки. Також вивчено нестійкості в системі квантових частинок щодо появи бозе-конденсату та/або модуляції "зміщень" частинок.

Окрім простих квадратних та кубічних ґраток, І. В. Стасюк (разом з І. Р. Дулепою та О. В. Величком) досліджував зонний спектр бозонних атомів у двовимірних гексагональних оптичних ґратках зі структурою типу графену. Отримано безщілинний спектр із точками Дірака на краю зони Бріллюена за відсутності розділення кристала на підґратки, тоді як навіть за малих відмінностей між енергіями частинок на вузлах двох підґраток виникає щілина в спектрі. Досліджено перебудову спектра та спектральної густини в надплинній фазі за зміни температури.

#### Деформаційні ефекти в кристалах

Ідеї та підходи, які запропонував І. В. Стасюк, розв'язуючи проблеми фізики матеріалів із вузькими зонами провідності, знайшли свій подальший розвиток під час дослідження деформаційних ефектів у напівпровідникових та напівметалічних кристалах. Він (спільно з Р. О. Григорчуком) встановив наявність самоузгодженого зв'язку між заповненням електронних станів у зоні провідності та деформацією ґратки кристала; цей ефект за часткового заповнення зони може приводити до додаткового стиснення ґратки. Цей результат дав змогу пояснити спостережувану зміну параметрів кристалічної ґратки під час переходу з діелектричного в металічний стан у сполуках перехідних і рідкісноземельних елементів, а також описати особливості фазових переходів зі зміною валентності.

І. В. Стасюк (спільно з С. М. Мохняком) провів цикл теоретичних досліджень деформаційних ефектів у вузькощілинних напівпровідниках. Для кристалів типу  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  вивчено вплив зовнішніх механічних напружень на електронний спектр. Описано й проаналізовано перехід "безщілинний напівпровідник — звичайний напівпровідник" в одновісно-деформованому кристалі  $Hg_{1-x}Cd_xTe$ , виявлено особливості, що виникають при цьому, розраховано густини електронних станів.

І. В. Стасюк (спільно з Р. М. Пелешаком) отримав цікаві результати, вивчаючи деформаційні ефекти у кристалах в області неоднорідностей, що викликані точковими дефектами або ж зовнішніми механічними напруженнями; дослідив поведінку електронної концентрації та деформації ґратки.

Одержані результати стимулювали подальші теоретичні дослідження деформаційних ефектів і ролі електрон-деформаційної взаємодії у вузькозонних магнетиках та системах із переходами в зарядово-порядковані стани.

**Динаміка та термодинаміка кристалів  
зі сегнетоелектричними та структурними  
фазовими переходами**

Значне місце в науковому доробку професора займають праці, присвячені розвитку теорії сегнетоелектричних явищ у діелектричних кристалах. Основну увагу приділено системам із водневими зв'язками. Суттєвим є внесок І. В. Стасюка та Р. Р. Левицького в розвиток модельних уявлень. У цьому напрямку вперше на основі квазіспін-фононної моделі описано низку особливостей динаміки кристалів типу  $\text{KN}_2\text{PO}_4$ , передбачено існування м'якої антисегнетоелектричної моди в  $z$ -точці зони Брілюєна, що було згодом підтверджено експериментально. Досліджено особливості низькочастотних коливань, зокрема м'якої моди, зумовлені далекодією диполь-дипольною взаємодією. Запропоновано пояснення експериментально спостережуваної анізотропії непружного розсіяння нейтронів.

Окремо потрібно відзначити роботи з вивчення ролі короткодієвих протонних кореляцій у кристалах із водневими зв'язками та опису їхнього внеску в термодинаміку таких систем. У кластерному наближенні (спільно з Р. Р. Левицьким) розвинуто опис фазового переходу в сегнето- та антисегнетоелектричні стани. Установлено визначальну (поруч із короткодією) роль далекодієвої дипольної взаємодії у виникненні антисегнетоелектричної фази в кристалах типу ADP. Роботи І. В. Стасюка та його школи в цьому напрямку дали поштовх для подальшого розвитку кількісної теорії динамічних (релаксаційних) та термодинамічних властивостей сегнетоактивних сполук із водневими зв'язками.

Серед об'єктів, які досліджував І. В. Стасюк (спільно з О. Я. Сабаном та В. П. Тупичаком) були також кристали зі структурними фазовими переходами ян-теллерівського типу. Методика, яку вони запропонували, дозволяє розглядати різні кристали зі складною структурою електронного спектра ян-теллерівських йонів. Вивчено ізотермічні та ізольовані дипольні і квадрупольні сприйнятливості, пружні жорсткості, коефіцієнти лінійного розширення й теплоємності. Для кристалів групи  $\text{RXO}_4$  (типу рідкісноземельних ванадатів) побудовано фазові діаграми за наявності конкурентних взаємодій; установлено їхню відповідність до ситуацій, що наявні в реальних системах.

**Індуковані зовнішніми полями оптичні ефекти  
в кристалах**

Результати, які отримав І. В. Стасюк (спільно з С. С. Коцуром та О. М. Попелем) у теорії індукованих зовнішніми полями (параметричних) оптичних ефектів у діелектричних кристалах, мають пріоритетний характер і визнані у світі. Ці роботи проводили впродовж багатьох років (від 1974 р. починаючи) у взаємодії з експериментальними дослідженнями, що вико-

нували у Львівському університеті. Внесок І. В. Стасюка в цю проблему, що має як фундаментальне, так і практичне значення, надзвичайно суттєвий. Він розвинув мікроскопічну теорію, що описує з'єднання позицій цілу низку індукованих оптичних ефектів у діелектричних кристалах (електро- і п'єзооптичні ефекти, квадратичний електрооптичний ефект, електро- і п'єзогірацію, магнітооптичний ефект). На додаток до результатів, отриманих на феноменологічному рівні, розвинув теорію, що дала змогу встановити мікроскопічні механізми явищ, виділити внески різної природи в ефекти, описати й передбачити хід частотної дисперсії та характер аномалій оптичних характеристик в околі точок структурних та сегнетоелектричних фазових переходів.

І. В. Стасюк здійснив теоретичний опис заломлювальних та лінійних електрооптичних і п'єзооптичних властивостей сегнетоелектриків типу  $\text{KN}_2\text{PO}_4$ , охарактеризував електрооптичний ефект для випадків механічно вільних та "затиснутих" п'єзоелектричних кристалів. Передбачена ним температурна залежність "істинних" електрооптичних коефіцієнтів була підтверджена експериментально. І. В. Стасюк дослідив лінійний п'єзооптичний ефект в ян-теллерівських кристалах, уперше вивчив механізм явищ електро- та п'єзогірації в діелектричних кристалах йонного типу (відкриття явища електрогірації в 1982 р. належить О. Г. Влохові та І. С. Жолудеву). Результати проведених розрахунків для кристалів групи  $\text{KN}_2\text{PO}_4$  дали кількісний опис частотної дисперсії коефіцієнтів гірації в ідеальних кристалах та кристалах із дефектами радіаційного походження; передбачено хід частотної залежності коефіцієнтів електрогірації. Розвинена (спільно з О. Л. Іванківим) методика поширена також і на квадратичні оптичні ефекти та на ефект Фарадея (спільно з С. С. Коцуром). Він дослідив особливості оптичних ефектів у кристалах із переходами типу лад-безлад, встановивши суттєву роль так званого "конфігураційного" механізму, а також у кристалах із несумірною фазою. І. В. Стасюк (спільно з Я. Л. Іванківим) вивчав особливості комбінаційного розсіяння світла в різних типах кристалів, зокрема, для сегнетоелектриків типу  $\text{KN}_2\text{PO}_4$  і  $\text{CsH}_2\text{PO}_4$  досліджено конфігураційно розщеплені компоненти фононних ліній, а для кристалів з ефектом Яна-Теллера — температурні залежності спектрів.

Праці І. В. Стасюка з теорії індукованих оптичних ефектів у кристалах знайшли широке застосування в інтерпретації експериментальних даних і стимулювали велику кількість нових експериментів.

**Деформаційні та польові ефекти  
в сегнетоактивних кристалах**

У 1983 році І. В. Стасюк (спільно з І. М. Білецьким) розробив методику включення деформацій різної симетрії в моделі протонного впорядкування для сегнетоактивних кристалів. Надалі на цій основі (спільно з Р. Р. Левицьким, І. Р. Зачеком, А. П. Мо-



їною, А. С. Вдовичем) було проаналізовано основні мікроскопічні механізми впливу зовнішніх тисків різних симетрій на міжчастинкові взаємодії в сегнетоелектричних кристалах із водневими зв'язками типу  $KD_2PO_4$ . Показано, що деформації ґратки приводять до виникнення в системі додаткових внутрішніх полів електрострикційного або п'єзоелектричного походження, а напруження різних симетрій можуть спричинити якісно відмінні зміни в характері фазових переходів у системі. Отримано задовільний кількісний опис наявних експериментальних даних для баричних та температурних залежностей діелектричних характеристик кристалів.

Для опису фазових переходів і діелектричних властивостей сегнетової солі І. В. Стасюк (спільно з О. В. Величком) запропонував чотиріпідґраткову модифікацію моделі Міцуї, яка враховує симетрійні особливості ґратки та просторову орієнтацію ефективних диполів. Вивчив вплив поперечного електричного поля на поляризацію, зсув точок фазових переходів та аномалії діелектричної сприйнятливості. Разом з Р. Р. Левицьким, А. П. Моїною, І. Р. Зачеком і А. С. Вдовичем він розробив модифікацію двоїдґраткової моделі Міцуї, що враховує п'єзоелектричну взаємодію зі зсувною деформацією. В її межах досліджено п'єзоелектричні і пружні властивості сегнетової солі та вивчено вплив поздовжнього електричного поля і зсувної напруги на фізичні властивості для механічно затиснутого й вільного кристалів.

І. В. Стасюк (разом з О. В. Величком) запропонував чотирістанову модель для опису послідовності фазових переходів у сегнетоелектричних кристалах з орієнтаційним упорядкуванням йонних груп типу  $DMAGaS-DMAAIS$ , які характеризуються співіснуванням сегнето- та антисегнетоелектричного упорядкування. Установив важливість врахування поля одноіонної анізотропії в пригніченні сегнетоелектричної фази під впливом гідростатичного тиску. У результаті продемонстровано добре узгодження теоретичних результатів з експериментом (у співпраці з З. Чаплею, С. Дацком, Р. Чуквінським, В. Капустяником і С. Свелебою).

І. В. Стасюк розробив модель (разом з О. В. Величком) упорядкування протонів для опису термодинамічних і діелектричних властивостей фосфіту гліцину (GPI). Розвинутий підхід дозволив пояснити викликане полем пониження температури фазового переходу парафаза-сегнетофаза співіснуванням сегнето- та антисегнетоелектричного упорядкування уздовж різних осей. Теоретичний опис спостережуваних діелектричних аномалій добре узгоджується з експериментом (у співпраці зі З. Чаплею та С. Дацком). Проаналізовано вплив зовнішніх поперечних електричних полів на діелектричні характеристики GPI (спільно з Р. Р. Левицьким, І. Р. Зачеком і А. С. Вдовичем).

Результати комплексних досліджень індукованих зовнішніми полями ефектів у сегнетоактивних кристалах з різними типами фазових переходів лягли в основу теоретичної частини монографії [І. В. Стасюк, Р. Р. Левицький, А. П. Моїна, О. Г. Сливка,

О. В. Величко. *Польові та деформаційні ефекти у складних сегнетоактивних сполуках* (Ужгород: Гражда, 2009), 392 с.].

### Фізичні властивості квазіодномірних систем із водневими зв'язками. Йонні провідники

У теорії переносу заряду в йонних провідниках та кристалах із суперйонними фазами (спільно з О. Л. Іванківим та Н. І. Павленко) запроваджено двостадійну орієнтаційно-тунельну модель протонного транспорту в ланцюжкових молекулярних системах із водневими зв'язками, що враховує сильні короткосяжні кореляції частинок; встановлено умови виникнення щілини в спектрі та зміни характеру провідності; досліджено динаміку переносу заряду (т. зв. ефект скорельованого протон-електронного переносу) вздовж водневого зв'язку.

Дослідження систем із водневими зв'язками продовжив І. В. Стасюк (спільно з О. Л. Іванківим) у циклі робіт, присвячених теорії термодинамічних, динамічних, а також оптичних властивостей молекулярних систем із ланцюжками водневих зв'язків. Для комплексів, у яких сильні короткодійні кореляції призводять до виключення певних конфігурацій протонів, вони запропонували оригінальну модель — модель із редукованим базисом. У межах цієї моделі вперше продемонстровано сферу застосовності псевдоспінового підходу для опису станів протонної підсистеми; показано, що термодинамічні функції проявляють особливий характер залежно від кількості протонів у ланцюжку; досліджено спектр колективних коливань протонів.

І. В. Стасюк (спільно з Р. Я. Стецівим та Ю. В. Сизоненком) досліджував властивості водневого зв'язку, зокрема, отримав електронний енергетичний спектр комплексів  $\dots-O-H-O-H\dots$  з урахуванням кулонівських та обмінних взаємодій, а також електронного переносу. Зокрема, встановлено умови формування двомінімумного адіабатичного потенціалу протона як функції довжини водневого зв'язку і кількості електронів на комплексі. Показано, що зменшення кількості електронів на кластері  $\dots-O-H-O-H\dots$  призводить до зростання критичної відстані між атомами кисню, при якій двомінімумний потенціал переходить в одномінімумний. Досліджено зміни електронної густини й заселеності атомних орбіталей, пов'язаних зі зміщенням протона на зв'язку.

У працях І. В. Стасюка запропоновано модель, на основі якої описано (спільно з Н. І. Павленко) термодинамічні властивості та фазові переходи до суперйонних фаз у кристалах сім'ї  $M_3N(XO_4)_2$  ( $M=Rb, Cs, NH_4$ ;  $X=S, Se$ ), пов'язаних із переходами “лад-безлад” та “локалізація-делокалізація” у протонній підсистемі; досліджено вплив орієнтаційної динаміки йонних груп  $XO_4$  на послідовність фазових переходів та топологію фазових діаграм. Сформульовано механізм протонного транспорту, що базується на сильній локальній протон-фононній взаємодії та ефекті протон-

ного полярона; розраховано енергії активації провідності в сегнетоеластичних і суперійонних фазах та запропоновано кількісну інтерпретацію спостережуваних температурних залежностей.

На основі ґраткових моделей І. В. Стасюк (спільно з Р. Я. Стецівим та О. А. Воробйовим) розрахував енергетичний спектр, одночастинкові спектральні густини й отримав діаграми стану одновимірних йонних провідників для різних температур і різних величин взаємодії між частинками. Вони розглянули випадки, коли частинки підлягають Фермі-статистиці, а також описуються змішаною статистикою Паулі. Дослідили умови переходу від зарядовпорядкованої фази до фази типу суперплину, яка є аналогом суперійонної фази, і до фази типу моттівського діелектрика. Вивчали поведінку динамічної провідності та її статичного складника (внеску Друде) в зарядовпорядкованій фазі й у фазі типу суперплину. Розрахували частотну дисперсію імпедансу й танґенса кута втрат; побудували діаграми Найквіста.

#### Проблеми безпеки об'єкту "Укриття" Чорнобильської АЕС

У межах робіт, пов'язаних із проблемами безпеки об'єкта "Укриття" Чорнобильської АЕС, І. В. Стасюк спільно з колективом колег виконали дослідження, спрямовані на подолання наслідків катастрофи. Зокрема, на основі квантово-хімічних методів (спільно з Р. Я. Стецівим, І. М. Кріпом, Т. С. Мисаковичем, І. Р. Дулепою та В. О. Красновим) вивчено адсорбцію як простих (молекули  $H_2$  та  $H_2O$ ), так і складних (йонів уранілу, стронцію та цезію) сполук на поверхні заліза, окисів заліза  $FeO$  і  $Fe_2O_3$ , а також  $SiO_2$ , алюмосилікатів та фероціанідів. Виявлено, що під час адсорбції відбувається гідроліз води з розривом молекул води на атоми. Отримано детальну інформацію про розподіл зарядів та відстані між атомами адсорбату та адсорбента і проаналізовано вплив наявності гідратної оболонки на адсорбцію. Результати цих досліджень дали корисну інформацію щодо практичних механізмів можливої деактивації та сепарації паливовмісних матеріалів в об'єкті "Укриття".

І. В. Стасюк (разом з К. Д. Товстюком і О. В. Величком) запропонував ґраткову модель для вивчення рівноважних умов осідання дипольних частинок на поверхні часток макроскопічного розміру або на внутрішній поверхні пористого матеріалу, утвореній сукупністю поверхонь різної геометричної форми (наприклад, адсорбція груп  $OH^-$  на поверхні перехідного металу (Ni, Fe) чи кремнезему  $SiO_2$ ). Зокрема, враховано наявність зовнішнього електричного поля, прикладеного в певному напрямку, що відповідає умові сепарації частинок. Показано, що в певній ділянці значень хімічного потенціалу адсорбату та поля відбуваються різкі зміни ступеня покриття поверхні, сумарної поляризації й діелектричної сприйнятливості, які можуть мати характер фазових переходів першого роду.

У межах чорнобильської тематики досліджено та-

кож важливе питання комплексоутворення (і потенційного осадження) актинідів. Зокрема, запропоновано конфігураційну модель (разом з О. В. Величком) для квантово-статистичного опису утворення комплексів актинідів, у т.ч. гідроксокомплексів, у водному розчині. На основі цієї моделі визначено низку хімічних характеристик реакції, зокрема, функцію Б'єррума, парціальні мольні частки й константи утворення. Виявлено існування ефекту насичення, що приводить до різкої зміни концентрації лігандів у розчині під час проходження концентрації йонів металу через певне значення. Запропоновано також модель полімеризації йонних груп  $UO_2[(OH)_2UO_2]_n^{2+}$  у ланцюжки через водневі зв'язки (разом з О. Л. Іванківим і Т. В. Голубцем). Вивчено стійкість таких утворень залежно від кількості зв'язків за різних температур та крайових умов.

#### Мікроскопічні моделі процесів інтеркаляції

Ще одним прикладом застосування теоретичних методів до практичних завдань став цикл робіт з інтеркаляції йонів різної природи в шаруваті кристали, що має важливе прикладне значення для створення нового покоління акумуляторів і суперконденсаторів. У роботах, присвячених інтеркаляції йонів у кристали (зокрема, типу  $TiO_2$ ), І. В. Стасюк (у співпраці з Т. С. Мисаковичем та В. О. Красновим), використовуючи запроваджену псевдоспін-електронну модель, дослідив термодинаміку та фазову поведінку таких систем. У результаті виявлено, зокрема, можливість фазових переходів, пов'язаних зі зміною концентрації інтеркальованих йонів і значним зростанням електростатичної ємності системи. Також показано, що ефективна взаємодія між інтеркальованими йонами може призводити до фазового розшарування або появи модульованої фази, а за достатньо високої інтенсивності йонного переносу підсистема інтеркальованих йонів може перейти у стан, подібний до надплинного.

Для опису інтеркальованих систем І. В. Стасюк (разом з Ю. І. Дубленичем) розробив також псевдоспін-електронну модель на базі моделі Блюма-Емері-Гріффітса. Побудував фазові діаграми, діаграми фазового розшарування та залежності концентрацій інтеркальованих частинок від їхнього хімпотенціалу: розрахунки проведено точно для основного стану та наближено для ненульових температур.

Узагальнення моделі Блюма-Емері-Гріффітса використано І. В. Стасюком (разом з І. І. Григорчаком, К. Д. Товстюком, О. Б. Герою, О. О. Менчишином та О. В. Величком), зокрема, для врахування дипольних моментів інтеркальованих частинок і процесів динамічного перевероту (типу тунелювання). Побудовано фазові діаграми, що описують переходи між дипольно впорядкованими і невпорядкованими фазами та фазами з різною концентрацією частинок; описано виникнення спостережуваного експериментально електретного ефекту. Запропоновано модельний опис інтеркальованого літієм анатазу, для якого характерне

співіснування експериментально виявлених багатої та бідної на лігій фаз, встановлено можливість виникнення внутрішнього п'єзоефекту. Аналіз основного стану системи дозволив установити значення модельних параметрів, що відповідають лігійованому анатазу.

У низці робіт І. В. Стасюка (спільно з О. В. Величком), пов'язаних з інтеркаляцією, досліджено сильно анізотропні шаруваті структури зі стадійним упорядкуванням. Вивчено вплив такого впорядкування, що супроводжується збільшенням періоду ґратки в напрямку, перпендикулярному до шарів, на електронну зонну структуру кристалів типу GaSe. Виявлено та проаналізовано аномальну поведінку електронного складника ємності в зоні сингулярностей густини станів, що виникають під час стадійного впорядкування та внаслідок ефектів гібридизації. Досліджено зміни в повній густині електронних станів та квантовій ємності, які виникають завдяки розширенню домішкових рівнів та збільшенню концентрації інтеркалянта.

Результати цих досліджень викладено в монографії: І. І. Григорчак, П. П. Костробій, І. В. Стасюк, М. В. Токарчук, О. В. Величко, Ф. О. Іващипин, Б. М. Маркович. *Фізичні процеси та їх мікроскопічні моделі в періодичних неорганічно/органічних клатратах* (Львів: Растр-7, 2015), 285 с.

### III. СПИСОК ОСНОВНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ І. В. СТАСЮКА

- А. Е. Глауберман, В. В. Владимиров, И. В. Стасюк, *Новая форма полярной модели кристалла*, Докл. АН СССР **126**, № 3, 543–545 (1959).
- А. Ю. Глауберман, И. В. Стасюк, *Метод узловых элементарных возбуждений в теории полупроводников*, Укр. фіз. журн. **9**, № 1, 3–13 (1964).
- Л. Д. Дидух, И. В. Стасюк, *Эффективный гамма-гильтониян в модели Андерсона*, Физ. мет. металловед. **26**, № 4, 582–588 (1968).
- I. V. Stasyuk, R. R. Levitsky, *The role of proton-phonon interaction in the phase transition of ferroelectrics with hydrogen bonds*, Phys. Status Solidi B **39**, K35–K38 (1970); <https://doi.org/10.1002/pssb.19700390144>.
- И. В. Стасюк, *Протон-фононное взаимодействие в сегнетоэлектриках с водородными связями (приближение сильной связи)*, Теор. мат. физ. **9**, № 3, 431–439 (1971); <https://doi.org/10.1007/BF01043416>.
- И. В. Стасюк, *Уравнения для спиновых корреляторов в модели Изинга*, Физ. мет. металловед. **31**, № 4, 699–704 (1971).
- И. В. Стасюк, П. М. Слободян, *Диаграммная техника для операторов Хаббарда*, Теор. мат. физ. **19**, № 3, 423–428 (1974); <https://doi.org/10.1007/BF01035575>.
- Р. Р. Левицкий, Н. А. Кориневский, И. В. Стасюк, *Теория протонного упорядочения в сегнето- и антисегнетоэлектриках типа ортофосфатов*, Укр. фіз. журн. **19**, № 8, 1289–1297 (1974).
- Л. Д. Дидух, Л. Ф. Прядко, И. В. Стасюк, *Корреляционные эффекты в узкозонных материалах* (Вища школа, Львов, 1978, 120 с.).
- I. V. Stasyuk, R. R. Levitsky, N. A. Korinevsky, *Collective vibrations of protons in compounds of  $KH_2PO_4$ -type*, Phys. Status Solidi B **91**, № 2, 541–550 (1979); <https://doi.org/10.1002/pssb.2220910219>.
- И. В. Стасюк, И. Н. Билецкий, *О влиянии всестороннего и одноосного напряжений на сегнетоэлектрические фазовые переходы в кристаллах типа  $KH_2PO_4$* , Изв. АН СССР. Сер. физическая **47**, № 4, 705–709 (1983).
- I. V. Stasyuk, S. S. Kotsur, *The microscopic theory of the gyration and electrogyration in dielectric crystals*, Phys. Status Solidi B **117**, № 2, 557–568 (1983); <https://doi.org/10.1002/pssb.2221170216>.
- I. V. Stasyuk, S. S. Kotsur, *The ionic gyration and electrogyration in dielectric crystals*, Phys. Status Solidi B **129**, № 2, 577–586 (1985); <https://doi.org/10.1002/pssb.2221290215>.
- N. M. Plakida, V. Yu. Yushankhai, I. V. Stasyuk, *On the role of kinematic and exchange interactions in superconducting pairing of electrons in the Hubbard model*, Physica C **160**, № 1, 80–88 (1989); [https://doi.org/10.1016/0921-4534\(89\)90456-5](https://doi.org/10.1016/0921-4534(89)90456-5).
- N. M. Plakida, V. Yu. Yushankhai, I. V. Stasyuk, *On d-wave pairing in one band Hubbard model*, Physica C **162–164**, 787–788 (1989); [https://doi.org/10.1016/0921-4534\(89\)91260-4](https://doi.org/10.1016/0921-4534(89)91260-4).
- И. В. Стасюк, О. Л. Иванків, *Модель с редукованным базисом для опису молекулярных комплексов с ланцюжками водневих зв'язків*, Укр. фіз. журн. **36**, № 6, 817–823 (1991).
- I. V. Stasyuk, A. M. Shvaika, *Dielectric properties and electron spectrum of the Müller model in the HTSC theory*, Acta Phys. Pol. A **84**, № 2, 293–313 (1993); <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.84.293>.
- I. V. Stasyuk, A. M. Shvaika, E. Schachinger, *On the electron spectrum of the Hubbard model including interactions with local anharmonic vibrations*, Physica C **213**, № 1–2, 57–70 (1993); [https://doi.org/10.1016/0921-4534\(93\)90758-1](https://doi.org/10.1016/0921-4534(93)90758-1).
- I. V. Stasyuk, N. I. Pavlenko, B. Hilczer, *Proton ordering model of superionic phase transition in  $(NH_4)_3H(SeO_4)_2$  crystal*, Phase Transitions **62**, 135–156 (1997); <https://doi.org/10.1080/01411599708220065>.
- I. V. Stasyuk, O. L. Ivankiv, N. I. Pavlenko, *Orientational-tunneling model of one-dimensional molecular systems with hydrogen bonds*, J. Phys. Stud. **1**, № 3, 418–430 (1997).
- I. V. Stasyuk, N. Pavlenko, *The effect of ionic group rotations on proton orderings in  $M_3H(XO_4)_2$  super-ionic crystals*, J. Phys.: Condens. Matter **10**, 7079–7090 (1998); <https://doi.org/10.1088/>



- 0953-8984/10/31/023.
22. I. V. Stasyuk, A. M. Shvaika, *Pseudospin-electron model in infinite dimensions*, J. Phys. Stud. **3**, № 2, 177–183 (1999).
  23. I. V. Stasyuk, R. R. Levitskii, A. P. Moina, *External pressure influence on ferroelectrics and antiferroelectrics of the  $KH_2PO_4$  family crystals: A unified model*, Phys. Rev. B **59**, № 13, 8530–8540 (1999); <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.59.8530>.
  24. I. V. Stasyuk, *Approximate analytical dynamical mean-field approach to strongly correlated electron systems*, Condens. Matter Phys. **3**, № 2(22), 437–456 (2000); <https://doi.org/10.5488/CMP.3.2.437>.
  25. I. V. Stasyuk, R. R. Levitskii, I. R. Zachek, A. P. Moina, *The  $KD_2PO_4$  ferroelectrics in external fields conjugate to the order parameter: Shear stress  $\sigma_6$* , Phys. Rev. B **62**, № 10, 6198–6207 (2000); <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.62.6198>.
  26. I. V. Stasyuk, O. V. Velychko, *Order-disorder model of phase transitions in the  $DMAGaS$ – $DMAAlS$  family crystals*, Phase Transitions **73**, № 3, 483–501 (2001); <https://doi.org/10.1080/01411590108224555>.
  27. N. I. Pavlenko, I. V. Stasyuk, *The effect of proton interactions on the conductivity behaviour in systems with superionic phases*, J. Chem. Phys. **114**, 4607–4617 (2001); <https://doi.org/10.1063/1.1348030>.
  28. I. Stasyuk, Z. Czapla, S. Dacko, O. Velychko, *Dielectric anomalies and phase transition in glycinium phosphite crystal under the influence of a transverse electric field*, J. Phys.: Condens. Matter **16**, № 12, 1963–1979 (2004); <https://doi.org/10.1088/0953-8984/16/12/006>.
  29. I. V. Stasyuk, O. V. Velychko, *Theory of Rochelle salt: beyond the Mitsui model*, Ferroelectrics **316**, 51–58 (2005); <https://doi.org/10.1080/00150190590963138>.
  30. I. Stasyuk, Yu. Dublenych, *Phase transitions and phase separations in an  $S = 1$  pseudospin-electron model: Application of the model to the intercalated crystals*, Phys. Rev. B **72**, № 22, 224209: 1–13 (2005); <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.72.224209>.
  31. I. Stasyuk, *Phase Transitions in the Pseudospin-Electron Model*, In: *Order, Disorder and Criticality* / Ed. by Yu. Holovach, Vol. 2. *Advanced Problems of Phase Transition Theory* (World Scientific, 2007, 231–290); [https://doi.org/10.1142/9789812708762\\_0005](https://doi.org/10.1142/9789812708762_0005).
  32. І. В. Стасюк, Р. Р. Левицький, А. П. Моїна, О. Г. Сливка, О. В. Величко, *Польові та деформаційні ефекти у складних сегнетоактивних сполуках* (Гражда, Ужгород, 2009, 392 с.).
  33. І. В. Стасюк, *Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл* (ЛНУ ім. Івана Франка, Львів, 2013, 392 с.).
  34. I. V. Stasyuk, V. O. Krasnov, *Phase transitions in the hard-core Bose–Fermi–Hubbard model at non-zero temperatures in the heavy-fermion limit*, Physica B **511**, 109–122 (2017); <https://doi.org/10.1016/j.physb.2017.02.004>.
  35. I. V. Stasyuk, O. V. Velychko, *Bose–Einstein condensation and/or modulation of “displacements” in the two-state Bose–Hubbard model*, Condens. Matter Phys. **21**, № 2, 23002: 1–17 (2018); <https://doi.org/10.5488/CMP.21.23002>.

**IN MEMORY OF IHOR V. STASYUK:  
A SHORT ESSAY ON THE LIFE PATH AND SCIENTIFIC WORK**

I. M. Mryglod, O. L. Ivankiv, A. M. Shvaika  
*Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
1, Svientsitskii St., Lviv, 79011, Ukraine*

The article is dedicated to the memory of Professor Ihor V. Stasyuk, a famous Ukrainian scientist in the field of solid state theory and statistical physics, a corresponding member of NAS of Ukraine. It shows the main stages of his life, his academic work, and his major scientific achievements.