

ІЛЛЯ ЛІФШИЦЬ — ОСНОВОПОЛОЖНИК ФІЗИКИ РЕАЛЬНИХ КРИСТАЛІВ

Цього року є два приводи, щоб згадати добрим словом і шанувати пам'ять відомого українського вченого, фізика-теоретика академіка АН СРСР і АН УРСР Іллі Михайловича Ліфшиця — це 90-річчя від дня його народження і, на превеликий жаль, уже 25-а річниця з часу, як він пішов із життя.

Майже вся його біографія пов'язана з Харковом. Тут він народився, навчався у школі, тут розпочалася його наукова діяльність, відбулося зародження і становлення його наукової школи. Випускник Харківського політехнічного інституту (нині Національний технічний університет «ХПІ»), він зробив чільний внесок у розвиток української технічної науки. Ілля Михайлович став фундатором сучасної теорії металів, вивченню якої сьогодні відведені цілі навчальні курси у вищих навчальних закладах.

Про всі здобутки цього видатного, талановитого вченого в одній статті написати просто неможливо, тому спробуємо хоча б стисло розповісти про роботи Іллі Михайловича Ліфшиця з теорії неупорядкованих систем або фізики неідеальних кристалів — напрямку, який повністю сформувався в Україні.

Ілля Михайлович Ліфшиць народився 13 січня 1917 р. у м. Харкові. Він був надзвичайно обдарованою дитиною. Вже змалку писав вірші, чудово грав на фортепіано. Але мистецькі здібності згодом поступилися місцем точним наукам, які дуже зацікавили юнака. Саме фізика стала найулюбленішим предметом Іллі Ліфшиця. Після закінчення Харківського університету (1936) та Харківського механіко-машинобудівного (нині НТУ «ХПІ») у 1938 р. Ілля Михайлович Ліфшиць вже у 21 рік захистив кандидатську дисертацію, а два роки потому — став доктором наук.

Новаторські дослідження І.М. Ліфшиця започаткували кілька всесвітньо визнаних наукових напрямів. Упродовж 1937—1968 рр. він працює у Харківському Фізико-техніч-

ному інституті АН УРСР (з 1941 — зав. відділу, і одночасно з 1944 — зав. кафедри Харківського університету). З 1968 р. І.М. Ліфшиць працює зав. відділу Інституту фізичних проблем АН СРСР, з 1967 р. — професором Московського університету. В 1967 р. І.М. Ліфшиця обирають академіком АН УРСР, а в 1970 — академіком АН СРСР. У 1967 р. його науковий доробок відзначений Ленінською премією. Він також нагороджений орденом Трудового Червоного Прапора та медалями.

Вже на початку своєї наукової діяльності у 40-х роках минулого століття Ілля Михайлович надрукував серію наукових праць з теорії неупорядкованих систем, або фізики неідеальних кристалів, які фактично визначили шляхи розвитку цього напрямку на

багато років уперед. На жаль, це були часи воєнного лихоліття, і отримані вченим результати залишилися майже невідомими на Заході (журнальні публікації не перекладалися англійською мовою). Пізніше довелося деякі з них «перевідкривати», але це не завадило визнанню Іллі Михайловича як одного зі світових лідерів у цій галузі теорії твердого тіла, про що свідчить величезна кількість посилань на його праці.

Останню роботу цього циклу І.М. Ліфшиць опублікував у 1945 р., а потім до 1964 р. — зацікавився іншими актуальними проблемами часу і створив кілька нових напрямів у фізиці неупорядкованих систем. Так, Ілля Михайлович став фундатором сучасної теорії металів. Це абсолютно закінчена теорія, яка фактично зберігається без принципово нових підходів уже років 50. Якщо вона і змінюється, то тільки завдяки доповненням, які зумовлені об'єктивними тенденціями розвитку науки в цілому. Теорія, як і більшість наукових розробок І.М. Ліфшиця, створювалася у Харкові за участю його учнів — М.Я. Азбея, М.І. Каганова, Е.А. Канера, А.М. Косевича, В.Г. Пещанського та ін.

Як відомо, одне з основних понять теорії металів — це квазічастинка. Його визначення фактично належить науковій школі Іллі Михайловича. Квазічастинки визначають спектри так званих ідеальних кристалів, а нічого ідеального в природі не існує. По суті І.М. Ліфшиць був першим, хто зацікавився, як квазічастинка поводитиме себе у реальному середовищі і які взагалі умови її існування в реальному — не ідеальному — кристалі. Але, починаючи саме з неідеальних кристалів, Ілля Михайлович на деякий час відійшов від них, щоб створити теорію ідеальних, і лише потім — уже на новому рівні — знову повернувся до побудови теорії кристалів з дефектами.

Це сталося у 1964 р., коли Ілля Михайлович опублікував велику працю, в якій



І.М. Ліфшиць

висловив свої нові ідеї. Зараз тільки на неї вже є 916 посилань. У 1982 році він зі своїми учнями Сергієм Гредескулом і Леонідом Пастуром — обидва з харківського Фізико-технічного інституту низьких температур (нині ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України) — написав ґрунтовну підсумкову монографію, на яку налічується 710 цитувань і яка відзначена Державною премією України в галузі науки і техніки за 1985 рік. Отже, загалом тільки на праці І.М. Ліфшиця з фізики реальних кристалів зараз налічується понад 2000 цитувань.

Коли Ілля Михайлович на початку 40-х років минулого століття переконався, що реальні метали і кристали взагалі є не такими, як ми їх уявляємо, ця галузь фізики була винятно феноменологічною, тобто спиралася лише на спостережувані факти, а не на моделі та доведені твердження. Що таке кристал? Це середовище, де атоми чітко впорядковані, а характерною його рисою є *періодичність*, тобто всі вузли, зайняті атомами, знаходяться на відстанях, періодичних в усіх просторових напрямках. Іншими словами, у такому середовищі існує так звана *трансляційна симетрія*, яка показує, що за умов зсуву кристала на якісь певні відрізки він співпадатиме сам із собою.

Реальні кристали, проте, не такі, тому що в них немає *ідеальної* впорядкованості, по-

рушення якої відбувається внаслідок появи різних дефектів: це можуть бути і зайві атоми — *домішки*, і вільні місця — *вакансії*, і *дислокації*, *включення* — будь-що, що порушує трансляційну симетрію. Довгий час панувала думка, що математично чітко описати подібні системи неможливо через їхню складність. Назва *реальні кристали* виникла тому, що в них будь-які порушення ґратки — реальні. Це кристали справжніх металів, напівпровідників, інших функціональних матеріалів, які отримують за допомогою високих технологій і які працюють у реальних умовах.

Трансляційно-неінваріантне середовище — це наше уявлення про неідеальний кристалічний простір, у якому ніби немає підстав для теорії. Але І.М. Ліфшиць почав міркувати: «Припустимо, що ми маємо *майже ідеальний кристал*, у якому є лише один дефект. Тоді, безумовно, можна розглядати це середовище як таке, яким би воно було у вихідному ідеальному стані, а сам дефект як певне збурення». При цьому вчений спирався на те, що теорія збурень і в математиці, і у квантовій механіці дуже гарно розвинута, а тому можна сподіватися на успіх у розрахунках. Таким чином, починаючи з 1942 р. почала широко застосовуватися так звана *модель Ліфшиця*. Сьогодні це фактично одна з двох широко використовуваних у фізиці твердого тіла моделей для опису кристалів з дефектами.

Що вона являє собою? Це кристалічні структури, в яких у певних вузлах «сидять» домішкові атоми (це можуть бути і вакансії). При цьому І.М. Ліфшиць припускав, що всі дефектні вузли однакові, а їх розподіл у просторі — випадковий, тобто нормована сума по цих місцях — концентрація, а її можна, в принципі, робити будь-якою — від 0 до 1. Такі системи, які «готуються» спеціально, або технологічно-контрольовано, і описує модель Ліфшиця. У фізиці реальних кристалів досить попу-

лярною є й інша базова модель — *модель Андерсона*, запропонована у 1959 р. американським фізиком Ф. Андерсоном. На відміну від українського вченого він припускав, що не окремі, а кожний вузол кристалічної ґратки може бути як дефектний, причому енергетичний розподіл стосується тільки відхилення від деякого вихідного рівня. В такій ситуації концентрація відсутня, а є тільки розподіл за енергіями з його шириною. Обидві моделі відповідають різним фізичним ситуаціям і теоретично є досить змістовними. Зокрема, модель Ліфшиця ефективно працює в напівпровідниках, які легуються спеціальними домішками, щоб мати напівпровідник з високими фізико-механічними властивостями. Як правило, вони мають дуже гарні ґратки, і спеціалісти навчилися «поставляти» в них атоми — теж однакові, які займають певні місця. А модель Андерсона працює в ситуації, коли, наприклад, корпус активного атомного реактора весь час опромінюється (продуктами ядерних реакцій), що створює у матеріалі певний або навіть повний безлад. У такій системі, яку навіть кристалом важко назвати, кожний вузол в якомусь сенсі стає випадковим, що і припускає ця модель. Тобто для деяких актуальних задач більш близькою до реальності є модель Андерсона, а для інших — модель Ліфшиця.

Що отримав Ілля Михайлович на базі запропонованої ним моделі? В першу чергу, побудував теорію реальних кристалів з малою густиною домішок, довівши, що в спектрі таких кристалів з'являються нові стани, відсутні в чистому кристалі. І якщо згадати густину станів, то в ній проявляються вузькі піки — резонанси, які змінюють різні властивості кристала. Наприклад, при одних енергіях метал може ставати діелектриком, а при інших енергіях він може відновлятися і знову бути металом. Відповідні резонансні, або домішкові, стани чудово спостерігаються, відомі багатьом екс-

периментаторам і часто визначають найкорисніші властивості системи.

І.М. Ліфшиць стояв біля витоків поняття перебудови спектру. Це процес, що відбувається зі зміною концентрації дефектів, коли, наприклад, домішок мало, то новий рівень, який виникає, може бути локальним, а хвильові функції (поодинокі дефекти — це квантові об'єкти, що, як і атоми, характеризуються хвильовими функціями) мають свій певний радіус. Коли ж число, або концентрація, домішок росте, то їхні стани починають перетинатися. Отже, виявляється, що із зростанням концентрації вихідний локальний домішковий рівень може перетворитися на *домішкову зону* когерентних станів. Тобто виявляється, що для неупорядкованого — трансляційно-несиметричного — середовища можна записати умову, що відповідає виникненню дисперсії, або квазічастинкам, енергія яких характеризується *квазіімпульсом*. Таким чином, Ілля Михайлович виявив причини появи міждомішкової взаємодії, що спричиняє згадану дисперсію.

Теорія, побудована І.М. Ліфшицем, залишається живою і працездатною. Про це свідчить такий приклад. Уже послідовниками вченого в рамках його моделі показано: якщо у вас є одна домішка, скажімо, на один мільйон атомів (тобто концентрація приблизно 10^{-6}), то інтенсивність її впливу на властивості кристала дуже слабка. Але якщо, припустимо, у магнітному кристалі рівень домішки наблизити до зони вихідного кристала, то виявляється, що інтенсивність такого впливу, зокрема, домішкового поглинання, значно зростає і, врешті-решт, зрівнюється з кристалом. Є один атом на мільйон інших, але ця сукупність атомів поглинає з такою ж інтенсивністю, як і кристал, але все це відбувається на інших — так званих *домішкових* — частотах. Такий ефект підсилення інколи використовують при розробках дуже чутливих сенсорів, що відчува-

ють присутність деяких парамагнітних домішок, коли навіть хімічні методи безсилі.

Навряд чи треба розповідати про те, що відбувається у теорії високотемпературних надпровідників (ВТНП), які також повністю підпадають під модель Ліфшиця, бо їхня провідність цілком зумовлена *допантами* — спеціальними легуючими, а фактично — домішковими елементами, без яких не тільки надпровідність, а й провідність систем ВТНП неможлива. Використання моделі Ліфшиця дає можливість побудувати теорію ВТНП і розрахувати такі їхні фізичні властивості, які ніколи не були характерними для звичайних надпровідників.

І, насамкінець, неможливо не згадати про «твердотільний» бум останнього часу. В 2005 р. створена фактично нова речовина — *графен* (як тепер стали називати моношари графіту), що навіть встигла виокремитися в самостійний розділ нанофізики. Графен — абсолютно двовимірний об'єкт і він існує! Досі вважалося, що двовимірні і одновимірні структури не можуть бути стабільними внаслідок теплових флуктуацій. Надзвичайно важливою особливістю графену є те, що квазічастинки у ньому безмасові, тобто характеризуються дисперсією, аналогічною до дисперсії фотонів. І постало питання: чи можуть локалізуватися такі частинки в реальному графені з дефектами? Або чи може графен завдяки домішкам стати діелектриком? Виявляється, може, хоча раніше думали навпаки. І це теж впливає з моделі Ліфшиця!

Життя і самовіддана наукова праця видатного фізика-теоретика Іллі Михайловича Ліфшиця — прекрасний приклад для наслідування. Тому й публікації про нього, переконаний, сприятимуть тому, що більше майбутніх науковців зацікавиться фізикою і прагнуть досягти вершин людського пізнання.

В. ЛОКТЕВ,
академік НАН України, академік-секретар
Відділення фізики та астрономії НАН України