

#### ЗАГОРОДНІЙ

**Анатолій Глібович** — академік НАН України, президент НАН України, директор Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України

#### ЛОКТЄВ

**Вадим Михайлович** — академік НАН України, академік-секретар Відділення фізики і астрономії НАН України



Олександр Сергійович Давидов  
(26.12.1912—19.02.1993)

## ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ ДАВИДОВ. ЖИТТЯ І ТВОРЧІСТЬ

### До 110-річчя від дня народження

*26 грудня виповнюється 110 років від дня народження всесвітньо відомого радянського і українського фізика-теоретика, Героя Соціалістичної Праці (1982), лауреата Ленінської премії (1964), Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1969), заслуженого діяча науки і техніки УРСР (1972), багаторічного директора Інституту теоретичної фізики АН України (1973—1988) академіка АН України Олександра Сергійовича Давидова. Його авторству належить кілька видатних наукових результатів, які у світовій літературі визнано класичними, названо його ім'ям і які увійшли до багатьох підручників.*

Олександр Сергійович Давидов — один з найвідоміших у світі фізиків України. Народився 26 грудня 1912 р. в м. Євпаторія у сім'ї робітника\*. У 1930 р. закінчив школу II ступеня і весною наступного року поїхав до Москви, щоб продовжити навчання, але запізнився на вступну кампанію і пішов працювати шліфувальником на автозавод АМО. Однак його великий потяг до знань, який виявився ще у шкільні роки, у 1932 р. привів юнака на робітфак при Московському державному університеті (МДУ) ім. М.В. Ломоносова, і наступного року він став студентом фізичного факультету МДУ.

Вже у студентські роки Олександр Сергійович проявив неординарні здібності фізика-теоретика. На V курсі під керівництвом професора В.С. Фурсова він виконав своє перше наукове дослідження — побудував статистичну теорію розсіяння світла в околі фазового перетворення (критична опалесценція), чим привернув до себе увагу викладачів університету.

У 1939 р. О.С. Давидов з відзнакою закінчив навчання в МДУ за спеціальністю «теоретична фізика» і вступив до аспірантури. Його науковим керівником став видатний радянський вчений, майбутній лауреат Нобелівської премії, завідувач від-

\* З детальним викладом життєвого шляху академіка О.С. Давидова можна ознайомитися у його белетризованій біографії Алінін А.Я. *Его жизнь — физика*. Київ: Молодь, 1982.

ділу теоретичної фізики Фізичного інституту ім. П.М. Лебедева АН СРСР (ФІАН) академік Ігор Євгенович Тамм.

Навіть у молоді роки наукові інтереси Олександра Сергійовича дивували своєю широтою — його цікавили питання теорії ядра і елементарних частинок. Зокрема, він самостійно розглянув явище внутрішньої конверсії та розпаду атомних ядер. У 1941 р. О.С. Давидов достроково закінчив роботу над кандидатською дисертацією і планував захищатися восени того ж року, проте непередбачувані події змінили ці плани — почалася Друга світова війна.

Як людина з вищою фізичною освітою Олександр Сергійович мав бронь від участі у воєнних діях, але його фах все ж таки виявився необхідним для потреб оборони, тому восени 1941 р. його призначили завідувачем рентгєнівської, а згодом спектральної лабораторії одного з підприємств Наркомату авіаційної промисловості. Молодий вчений зарекомендував себе компетентним і дуже активним фахівцем, який відповідально й успішно керував досить великим колективом працівників. Тому невдовзі, в 1942 р., його призначають начальником відділу фізичних методів дослідження, який об'єднував усі дослідницькі лабораторії заводу. На цій посаді Олександр Сергійович працював практично до кінця війни.

Водночас у 1943 р. в Казані, куди було евакуйовано ФІАН, О.С. Давидов за рукописом (тобто за власноруч написаним текстом, який він відтворив у трьох примірниках на сторінках звичайних учнівських зошитів) захистив дисертацію «Теорія випускання електронів радіоактивною речовиною» на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Тоді ж, під час війни, Олександр Сергійович, не пориваючи з виробничою діяльністю, розпочинає і свою довготривалу педагогічну роботу. Три роки, з 1942 р. до переможного 1945 р., він читає лекції із загальної фізики студентам вечірнього відділення авіаційного інституту.

У квітні 1945 р. О.С. Давидова запросили на роботу до київського Інституту фізики АН УРСР, в якому велися пріоритетні для того часу спектроскопічні дослідження ароматич-

О.С. Давидов  
у молоді роки



них сполук. Саме після переїзду до Києва О.С. Давидов почав вивчати спектри таких сполук у твердому стані і отримав результати, які одразу зробили його відомим у світі дослідником. В Інституті фізики непогано склалася і його науково-організаційна кар'єра — відносно недовго пропрацювавши старшим науковим співробітником, він обійняв посаду заступника директора Інституту з наукової роботи. У 1949 р. Олександр Сергійович захистив докторську дисертацію «Теорія поглинання світла у молекулярних кристалах».

Паралельно з роботою в Інституті фізики О.С. Давидов за сумісництвом очолив кафедру теоретичної фізики Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка, де читав лекції з квантової механіки, статистичної фізики, термодинаміки, електродинаміки, теорії хімічного зв'язку та інших розділів фізики.

У 1951 р. О.С. Давидову було присуджено вчене звання професора, а 15 травня того самого року його, як автора піонерських результатів у галузі теоретичної фізики, обрали членом-кореспондентом АН УРСР. На той час Олександру Сергійовичу було лише 38 років.

На цьому перший період його блискучої діяльності в українській Академії наук закінчився, оскільки несподівано навіть для нього у 1953 р. вийшла Постанова Уряду СРСР, якою О.С. Давидова було призначено начальником



З М.М. Боголюбовим і О.Г. Ситенком

теоретичного відділу Фізико-енергетичного інституту в м. Обнінськ Московської області. Основним напрямом робіт цієї наукової установи було вивчення властивостей і мирного застосування атомного ядра. Майже одночасно з новим призначенням Олександр Сергійович починає читати лекції у Московському державному університеті ім. М.В. Ломоносова спочатку як професор кафедри теоретичної фізики, а згодом і як завідувач кафедри квантової теорії. У 1956 р. він переходить на постійну роботу до МДУ і того самого року обіймає посаду завідувача сектору лабораторії атомного ядра Фізичного інституту ім. П.М. Лебедева АН СРСР. На відміну від Фізико-енергетичного інституту, де О.С. Давидов опікувався переважно прикладними питаннями, у ФІАНі він повертається до фундаментальних проблем теоретичної ядерної фізики, серед яких його найбільше цікавили спектри колективних збуджень атомних ядер. Тоді теорія колективних збуджених станів атомних ядер перебувала ще у зародковому стані, але Олександр Сергійовичу вдалося істотно її розвинути.

У 1964 р. після обрання дійсним членом АН УРСР Олександр Сергійович вирішив відновити свою діяльність в Інституті фізики АН УРСР і очолив відділ теорії ядра. Проте два роки потому в Києві було створено Інститут теоретичної фізики (ІТФ) АН УРСР, директором якого став геніальний математик і фізик-теоретик М.М. Боголюбов. На його персональне запрошення О.С. Давидов переходить до ІТФ, щоб очолити відділ з такою самою

назвою, хоча пізніше, внаслідок розширення тематики, його перейменували на відділ теорії багаточастинкових систем. Протягом 15 років (з 1973 до 1988 р.) він був формальним (як директор) і неформальним (як видатний вчений і непересічна особистість) науковим лідером інституту, який поступово перетворився на авторитетний і добре відомий як у СРСР, так і за кордоном науковий центр з теоретичної фізики.

За своє доволі довге творче життя О.С. Давидов надрукував майже 300 наукових робіт, зокрема 8 монографій і 4 науково-популярні книжки. І що характерно — практично всі вони не мають співавторів, оскільки Олександр Сергійович працював переважно одноосібно, а роботи, виконані зі співавторами, здебільшого написані саме ним. Він також сам малював усі графіки і робив це настільки вправно і навіть художньо, що мало хто міг зрівнятися з ним у цьому вмінні. Крім того, Олександр Сергійович був чудовим доповідачем і лектором, який, з одного боку, не лякався жодної аудиторії, а з іншого, — вмів її зацікавити незалежно від того, слухають його колеги чи представники широких, не фахових кіл, що цікавляться сучасною наукою та її досягненнями. Незмінний успіх супроводжував усі виступи Олександра Сергійовича і всередині країни (тоді СРСР), і за її межами — у провідних наукових центрах та найкращих університетах багатьох країн.

У 1966 р. О.С. Давидов у складі авторського колективу, до якого, крім нього, входили колеги з Києва та Ленінграда (нині — Санкт-Петербург) стає лауреатом Ленінської премії — найвищої в СРСР наукової нагороди — за теоретичні та експериментальні дослідження екситонів у кристалах, а у 1969 р. — одним з перших лауреатів започаткованої того самого року Державної премії УРСР у галузі науки і техніки за цикл праць з теорії ядра. У 1972 р. йому було присвоєно почесне звання заслуженого діяча науки УРСР.

Результати О.С. Давидова відомі в усьому світі, і це не просто слова. Визнання їх міжнародною спільнотою фізиків підтверджено іменними назвами — «*давидовське розщеплення*», «*теорія неаксіальних ядер Давидова—Фі-*

ліптова», «давидовські солітони», які увійшли в науковий ужиток і які тепер студенти вивчають у відповідних курсах з фізики в провідних університетах світу. Монографії Олександра Сергійовича перекладено багатьма іноземними мовами, вони вийшли друком у Великій Британії, Італії, Німеччині, Польщі, США, Японії та інших країнах. Їх перевидають і нині, оскільки отримані ним результати не втрачають своєї актуальності. Зокрема, вже кілька поколінь фізиків навчаються основ сучасної науки за підручниками «Квантова механіка» (який лише німецькою перевидавався більш як 15 разів, і дотепер його вважають найкращою книгою з цього предмету на початку його вивчення) і «Теорія атомного ядра» авторства О.С. Давидова.

Олександр Сергійович виконував величезний обсяг науково-організаційної і редакторської роботи. Він був заступником головного редактора журналу «Доповіді АН УРСР» (з 1980 р.), членом Редакційно-видавничої ради АН УРСР, членом редколегій загальносоюзних журналів «Ядерная физика» (з 1965 р.) і «Теоретическая и математическая физика» (з 1972 р.), «Українського фізичного журналу» (з 1967 р.), відповідальним редактором збірника ІТФ «Фізика багаточастинкових систем» (з 1979 р.). Крім того, він виконував обов'язки члена Президії АН УРСР, голови секції фізики Комітету з Державних премій Української РСР в галузі науки і техніки при Раді Міністрів УРСР (1969–1987 рр.), члена наукових рад АН СРСР з проблем «теорія твердого тіла», «ядерна спектроскопія» і «ядерні реакції».

Багатогранна діяльність О.С. Давидова здобула високе державне визнання: його нагороджено орденами Леніна, медалями «За доблестний труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «За трудовую доблесть», «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина», «Тридцать лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.». Вершиною стало присудження О.С. Давидову до його 70-річчя звання Героя Соціалістичної Праці, яким він дуже пишався.



У робочому кабінеті

Згадуючи про Олександра Сергійовича як вченого, не можна оминати увагою особливу властивість його мислення — простоту пояснень і тлумачень, яка була зумовлена глибоким проникненням в основи, у саму суть фізичних явищ і стала характерною рисою його наукового стилю. Найбільш характерно це проявлялося в роботах О.С. Давидова, у логіці їх побудови, де не було зайвих і нікому не потрібних мудрувань, оскільки, на його переконання, наука завжди конкретна. Для Олександра Сергійовича ця конкретика мислення було критерієм, що відрізняв справжню науку від наукоподібності, якій він активно протистояв, не шкодуючи на це ні зусиль, ні часу.

І хоча О.С. Давидов був висококласним теоретиком, він любив і поважав експеримент. Напевно, давалися взнаки роки роботи на авіаційному підприємстві під час війни. Інколи його ерудиція вражала, зокрема в питаннях вимірювань різних фізичних величин, у розумінні деталей експериментальних методик. Мабуть, тому його розрахунки, виконані на найвищому сучасному теорфізичному рівні, були позбавлені багатоступеневих абстрактних побудов, які зазвичай відлякують експериментаторів.

Наукове кредо О.С. Давидова — гранична ясність і конкретність — лежало в основі вимог, які вчений висував не лише до себе, а й до своїх численних учнів. У його семінарах в ІТФ



Зі співробітниками в Інституті теоретичної фізики АН УРСР

брали участь і теоретики, і експериментатори, а тому кожен доповідач мав виходити з думки, що присутні нічого не знають про предмет його доповіді і йому необхідно доступною мовою донести до слухачів саму суть своєї роботи. При цьому використання вузькоспеціальної або малопоширеної термінології було заборонено.

Олександра Сергійовича вирізняла дуже висока принциповість, коли йшлося про наукові засади тієї чи іншої проблеми. Він послідовно дотримувався власних поглядів, але його непохитна впевненість у своїй правоті спиралася на надзвичайно широку ерудицію і доволі рідкісне за глибиною розуміння фізичних явищ і зв'язків між ними.

О.С. Давидов був також неперевершеним, можна навіть сказати, палким полемістом. Його наукова аргументація завжди стосувалася суті питання, була вагомою й переконливою. При цьому Олександр Сергійович ніколи не зловживав своїм авторитетом вченого світового рівня. Як правило, він залишався досить терплячим слухачем, не чіплявся до дрібниць, ніколи не робив неважливих зауважень і, цінуючи час, не любив дискусій з приводу означень або формальних питань.

Як уже було згадано вище, велику увагу і багато часу О.С. Давидов приділяв педагогічній діяльності. Крім читання лекцій, він охоче зустрічався з аспірантами, здобувачами, навіть зі студентами, які виявляли інтерес до його

досліджень чи хотіли почути пораду щодо вибору задачі для самостійного розв'язання. Він аж ніяк не вважав ці зустрічі марнуванням часу, міг довго і всебічно обговорювати роботу молодого вченого, детально розбираючи його розрахунки і шукаючи слабкі місця в дослідженні. Важко переоцінити користь, яку отримували від такого спілкування молоді фізики, багато з яких потім поповнювали ряди його розгалуженої наукової школи.

Наразі наукова школа О.С. Давидова представлена багатьма відомими іменами. Під його керівництвом захищено 36 кандидатських дисертацій, майже всі автори яких згодом стали докторами наук. Однак наукова школа — це не лише кількість, а передовсім якість учнів. І тут Олександр Сергійовичу є чим пишатися. Серед його учнів є такі видатні фізики-теоретики, як лауреати Ленінської премії А.Ф. Лубченко і Е.Й. Рашба; лауреати Державної премії України в галузі науки і техніки Л.С. Брижик, О.В. Золотарюк, Ю.Б. Гайдідей, В.М. Локтєв; лауреати премії ім. К.Д. Синельникова АН УРСР В.М. Локтєв, В.І. Овчаренко і Г.Ф. Філіппов; лауреати премії ім. О.С. Давидова НАН України Ю.Б. Гайдідей, О.О. Єрємко; лауреат премії ім. М.М. Боголюбова НАН України В.М. Локтєв; лауреат Золотої медалі ім. В.І. Вернадського В.М. Локтєв; перша не лише на пострадянському просторі, а й загалом серед фізиків Східної Європи володарка престижної міжнародної Золотої медалі ім. Іллі Пригожина Л.С. Брижик, а також відомі фахівці В.М. Агранович, В.Я. Антонченко, В.М. Єрмаков, Е.М. М'ясников, Б.М. Ницович, В.О. Онищук, І.С. Осадько та ін.

Колеги та учні глибоко шанували О.С. Давидова не лише як видатного вченого, а й як просту у спілкуванні, доступну людину, коректну і тактовну, навколо якої завжди панувала атмосфера доброзичливості й зацікавленості в науці і ніколи не було інтриг та заздрощів. Ці якості Олександра Сергійовича приваблювали учнів, і вони брали його особистість за зразок для себе. Таким він і залишається у вдячній пам'яті всіх, хто його знав особисто чи заочно — через лекції або навчання за його підручниками.

На жаль, обсяг цієї статті не дозволяє детально розглянути всі розв'язані О.С. Давидовим проблеми. Тому лише коротко нагадаємо його головні досягнення. Як уже зазначалося, він був фізиком-теоретиком широкого діапазону, проте можна виділити ті напрями теоретичної фізики, на яких фокусувалися його основні інтереси і внесок у які був найбільш істотним. Це теорія твердого тіла, теорія ядра і квантова біофізика. Що стосується останнього напрямку, квантової біофізики, Олександр Сергійович без перебільшення був одним з її родоначальників. І хоча діяльність вченого поділена на доволі довгі періоди, впродовж яких він інтенсивно займався певними питаннями, огляд його результатів зручніше робити за тематикою.

Отже, як уже згадувалося, свої перші наукові дослідження О.С. Давидов розпочав ще в студентські роки. Вони були присвячені розробленню статистичної теорії розсіяння електромагнітних хвиль у конденсованих середовищах. З використанням загальних принципів статистичної механіки він розрахував інтенсивність розсіяння світла в неідеальних газах при їх конденсації в рідину, а також при проходженні критичної точки з газоподібного стану до рідинного. Як не дивно, ця робота зберегла свою наукову цінність і дотепер, і її нерідко цитують у сучасній літературі з питань розсіяння світла.

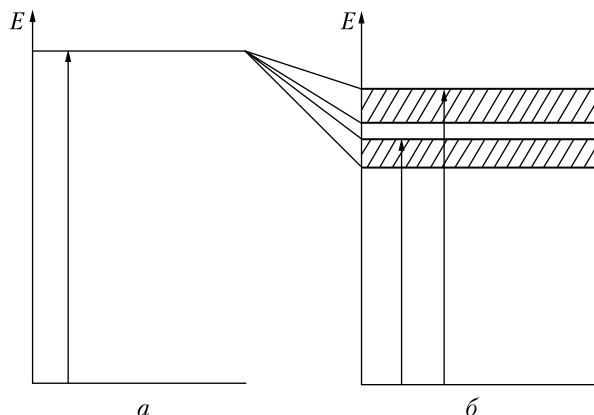
Великий внесок зробив О.С. Давидов у теорію елементарних збуджень у твердих тілах. Він створив теорію молекулярних екситонів — колективних безструмових електронних збуджень у молекулярних кристалах. Як відомо, поняття про екситон було введено у фізику кристалів видатним радянським вченим Я.І. Френкелем у 1931 р. В середині 1940-х років О.С. Давидов узагальнив та поширив це поняття на молекулярні кристали зі складною структурою. Він виявив вирішальну роль молекулярних екситонів у таких важливих фізичних процесах, як поглинання світла та люмінесценція, перенесення енергії та фотопровідність у молекулярних кристалах, деяких органічних полімерах, а також у багатьох біологічних процесах.



Під час лекції

Оцінюючи внесок О.С. Давидова у теорію молекулярних екситонів, відомий японський фізик Ю. Танака зазначав: «Дослідження електронної структури складних молекул у кристалічному стані були досить мізерними до того часу, поки Давидов не розвинув теорію молекулярних екситонів».

Сформулюємо основні положення теорії молекулярних екситонів О.С. Давидова. Молекулярними кристалами називають тверді тіла, утворені з молекул (або атомів інертних газів), зв'язаних між собою ван-дер-ваальсовими силами. Типові молекулярні кристали — це кристали, утворені з анізотропних молекул ароматичних сполук: антрацену, бензолу, нафталіну та ін. Енергія міжмолекулярної взаємодії у таких кристалах досить мала порівняно з енергією зв'язку електронів у молекулах. Проте, як довів О.С. Давидов, навіть ця мала міжмолекулярна взаємодія може зумовлювати і найчастіше зумовлює істотну зміну енергетичного спектра реального кристала порівняно з кристалом, у якому така взаємодія уможливлено «виключена» (так звана модель «орієнтованого газу»). Найбільш яскраво це проявляється у кристалах, які містять кілька молекул в елементарній комірці. О.С. Давидов виявився першим, хто вивчив такі кристали теоретично, хоча експериментально їх досліджували ще в довоєнні часи у Харкові, але результати відпо-



**Рис. 1.** Енергетичний спектр кристала з двома молекулами в елементарній комірці: *a* – для моделі «орієнтованого газу»; *б* – при врахуванні міжмолекулярного зв'язку

відних вимірювань довгі роки залишалися незрозумілими.

Отже, нехай кристал містить  $\sigma$  молекул у комірці, а їх розташування визначається двома індексами – вектором комірки  $\mathbf{n}$  і номером  $\alpha$  ( $\alpha = 1, 2, \dots, \sigma$ ), який задає місце або орієнтацію в ній самої молекули. Тоді молекули, що мають однакові номери, формують  $\alpha$ -у підґратку кристала. Оператор його енергії  $H$  має вигляд

$$H = \sum_{\mathbf{n}\alpha} \left( H_{\mathbf{n}\alpha} + \frac{1}{2} \sum_{\mathbf{m}\beta \neq \mathbf{n}\alpha} V_{\mathbf{n}\alpha\mathbf{m}\beta} \right),$$

де  $H_{\mathbf{n}\alpha}$  – оператор молекули, що займає вузол  $\mathbf{n}\alpha$ , а  $V_{\mathbf{n}\alpha\mathbf{m}\beta}$  – оператор взаємодії між молекулами  $\mathbf{n}\alpha$  і  $\mathbf{m}\beta$ . Для розрахунку енергії кристалів, у яких збуджена одна молекула, О.С. Давидов запропонував використовувати хвильові функції

$$\psi_{\alpha}(\mathbf{k}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\mathbf{n}} \exp(i\mathbf{k}\mathbf{n}) \psi_{\mathbf{n}\alpha},$$

де  $\psi_{\mathbf{n}\alpha}$  – хвильова функція збудженого стану молекули  $\mathbf{n}\alpha$ ;  $\mathbf{k}$  – хвильовий вектор;  $N$  – число комірок у кристалі. Фізично функції  $\psi_{\alpha}(\mathbf{k})$  на відміну від  $\psi_{\mathbf{n}\alpha}$  описують колективні стани кристала – екситони, які є стаціонарними. Локальні стани  $\psi_{\mathbf{n}\alpha}$  такими не можуть бути, оскільки молекулярне збудження може завдяки навіть слабкій взаємодії переходити з молекули на молекулу, тобто «мандрувати»

ґраткою. При цьому міжмолекулярна взаємодія не лише викликає міграцію збуджень, а й породжує формування в кристалі кількох зон (смуг) елементарних колективних (екситонних) збуджень (рис. 1), кількість яких визначається і дорівнює числу кристалічних підґраток, а саме:  $\sigma$  з енергіями  $E_{\mu}(\mathbf{k})$ , ( $\mu = 1, 2, \dots, \sigma$ ).

При цьому енергетична різниця між екситонними зонами визначається матричними елементами міжпідґраткової взаємодії

$$\langle \psi_{\alpha}(\mathbf{k}) | H | \psi_{\beta}(\mathbf{k}) \rangle, \quad (\alpha \neq \beta),$$

а внутрішньопідґраткова дає внесок лише у ширини цих зон.

Відкрите О.С. Давидовим явище розщеплення невироджених молекулярних термів молекулярних кристалів у світовій літературі здобуло назву «*давидовського розщеплення*» і було зареєстроване у Державному комітеті з питань відкриттів та винаходів при Раді Міністрів СРСР як наукове відкриття.

Елементарні збудження, які відповідають різним екситонним станам, не лише мають різні енергії, а й збуджуються електромагнітними хвилями із взаємно перпендикулярною поляризацією. Це, як зазначав О.С. Давидов, підкреслює колективний характер екситонних станів, зумовлений взаємодією молекул. Якби молекулярний кристал був простою сукупністю орієнтованих анізотропних молекул, поляризація, як і розщеплення, були б відсутні (рис. 2).

Давидовське розщеплення, яке експериментально спостерігали в багатьох молекулярних кристалах, дозволяє досліджувати електронні збуджені стани складних молекул (симетрію хвильових функцій, сили осциляторів квантових переходів, властивості внутрішньомолекулярних коливань тощо), а також є додатковим методом вивчення структури кристалів та її зміни при переході від однієї кристалічної модифікації до іншої. Ефект розщеплення поляризованих екситонних смуг дав можливість пояснити явища плеохроїзму молекулярних кристалів, розкрити причини деяких специфічних особливостей їх люмінесценції.

Чималу увагу О.С. Давидов приділив розвитку теорії молекулярних екситонів з ура-

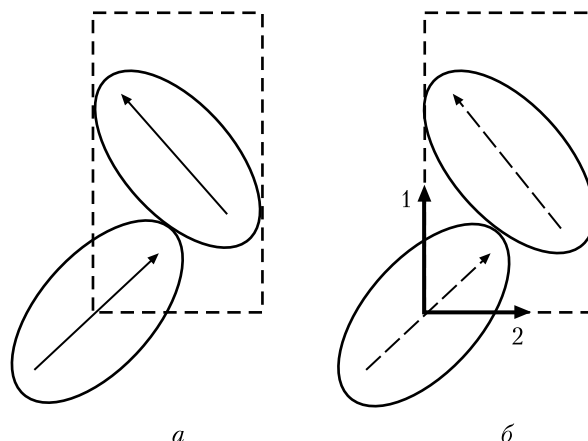
хуванням коливань кристалічних ґраток. Він вперше ввів у науковий ужиток поняття про деформуючі (локалізовані) екситони, поява або рух яких супроводжується деформацією кристалічної ґратки поблизу електронного збудження. Разом з учнями він обчислив ширини та форми ліній екситонного поглинання з урахуванням як сильної, так і слабкої взаємодії екситонів з фононами.

Важливе місце у сучасній фізиці твердого тіла посідають праці О.С. Давидова, присвячені вивченню домішкового поглинання світла кристалами. Зокрема, він виявив характерну особливість домішкових електронних збуджень, показавши, що їх утворення при поглинанні світла або зникнення при люмінесценції зазвичай пов'язане з багатофононими процесами. Його теорія дозволила визначити форму ліній поглинання та люмінесценції домішкових електронних збуджень, а також залежність форми смуги поглинання від температури. Вона враховує як зміну положень рівноваги молекул домішкового кристала, так і зміну частот нормальних коливань молекул під час переходу домішки у збуджений електронний стан. Розвинена О.С. Давидовим теорія уможливила отримання даних про коефіцієнт домішкового поглинання світла як функцію частоти падаючої електромагнітної хвилі в області максимуму кривої поглинання та на її крилах.

Серед праць О.С. Давидова з теорії домішкового поглинання світла особливо слід відзначити цикл досліджень (разом з А.Ф. Лубченком) з обґрунтування так званого правила Урбаха. На початку 1950-х років німецький експериментатор Ф. Урбах, досліджуючи срібно-галогідні кристали, виявив емпіричну залежність

$$\chi(\omega) = \chi(\omega_0) \exp\left\{-\chi \frac{\omega - \omega_0}{T}\right\},$$

яка в області частот  $\omega < \omega_0$  ( $\omega_0$  — частота безфононного переходу) визначає коефіцієнт поглинання світла  $\chi(\omega)$  як функцію енергії фотона  $\omega$  і температури  $T$  кристала ( $\chi$  — параметр, близький до одиниці і слабо залежний від  $T$ ). Варто зауважити, що було багато спроб пояснити цей спостережний феномен, але всі



**Рис. 2.** Схема дипольних переходів у молекулярному кристалі з двома молекулами в комірі: *a* — для випадку без взаємодії молекул; *б* — для екситонних станів (стрілки 1 і 2 вказують напрямки їх дипольних переходів)

вони виявилися безуспішними. Навіть у книзі Р.С. Нокса «Теорія екситонів» (1963) зазначалося, що «обґрунтування правила Урбаха залишається однією з найважливіших задач теорії екситонів».

Основна ідея, запропонована О.С. Давидовим, полягала в тому, що довгохвильовий край смуги поглинання зумовлений квантовими переходами з коливальних підрівнів кристалічних ґраток на рівень електронного збудження. О.С. Давидов показав, що правило Урбаха справедливе в конденсованих середовищах з великою кількістю фононних станів, які взаємодіють з електронним збудженням і завдяки скінченній температурі збуджуються за законом Больцмана. При цьому природа електронного збудження не має суттєвого значення — важливий лише зв'язок електронного збудження з фононами, які формують квазінеперервний спектр коливань кристала.

Важливим внеском у сучасну теорію кристалічного поглинання світла стала серія робіт О.С. Давидова у співавторстві з О.О. Єремком, Е.М. М'ясниковим і О.О. Сериковим з дослідження кінетичних та спектральних характеристик поширення електромагнітних хвиль у кристалі в околі енергій екситонних станів.



У цих роботах на основі повного врахування екситон-фононної взаємодії, дисперсії та релаксації екситонних збуджень було з'ясовано межі застосування деяких основних положень класичної кристалооптики.

Було також передбачено такі особливості низькотемпературного поглинання світла кристалами, як відхилення товщинної залежності коефіцієнта поглинання від експоненціального закону Ламберта—Бугера, залежність інтегрального (за частотою) поглинання від температури та ін. Згодом ці ефекти було експериментально підтверджено у вітчизняних і зарубіжних лабораторіях.

Про світове визнання праць О.С. Давидова з теорії твердого тіла та оптики свідчать не лише численні посилання на його роботи у науковій літературі, а й те, що його ідеї поширилися на інші системи, зокрема на магнетовпорядковані діелектрики, точніше антиферодіелектрики, в яких харківські фізики (В.В. Єременко та ін.) виявили ефект «магнетного давидовського розщеплення», який певний час активно досліджували в лабораторіях багатьох країн світу. Теорію цього розщеплення було розвинуто в ІТФ АН УРСР (Е.Г. Петров). У твердому кисні експериментально відкрито передбачене в ІТФ інше, біекситонне розщеплення (А.Ф. Прихотько та Л.Й. Шанський) поляризованих смуг, в основі якого також лежить колективний характер збуджених кристалічних електронних станів (Ю.Б. Гайдідей, В.М. Локтев).

Роботи О.С. Давидова розкрили важливу роль колективних екситонних процесів у біологічних явищах, зокрема у міграції енергії, тому їх широко цитували біофізики.

Оцінку внеску О.С. Давидова у теорію твердого тіла дала «Велика радянська енциклопедія», де було зазначено: «Розроблена... О.С. Давидовим теорія спектрів молекулярних кристалів є основою інтерпретації результатів численних робіт зі спектроскопії». Ці воістину видатні результати О.С. Давидова з дослідження властивостей екситонів, як уже згадувалося, було відзначено найвищою в СРСР науковою нагородою — Ленінською премією, їх також двічі висували на здобуття Нобелівської премії.

Кілька праць О.С. Давидова стосувалися теорії радіоактивного розпаду ядер та теорії елементарних частинок. Зокрема, при побудові теорії внутрішньої конверсії йому вдалося врахувати вплив електронної оболонки атома на ймовірність випромінювання гамма-квантів атомним ядром незалежно від мультипольності випромінювання. До цього американські фізики Р. Тейлор і С. Мотт досліджували лише випадок квадрупольного випромінювання. О.С. Давидов побудував теорію бета-розпаду ядер у припущенні, що спин нейтрино дорівнює  $3/2$ , а маса спокою — нулю. Він запропонував новий векторно-спінорний запис рівнянь для частинок зі спіном  $3/2$ , що дозволило значно спростити запис таких рівнянь та їх розв'язків. Невдовзі такий запис рівнянь став у теорії бета-розпаду загальноприйнятим.

Праці О.С. Давидова з теорії атомного ядра є засадничими у феноменологічній теорії структури важких несферичних ядер. Вони суттєво вплинули на панівні тепер у ядерній фізиці уявлення про форму ядер та її вплив на колективні ядерні рухи. Так, у статті «Обертові стани неаксіальних ядер» (1958) О.С. Давидов у співавторстві зі своїм учнем Г.Ф. Філіпповим сформулював і розвинув основні положення моделі жорсткого неаксіального ротатора. Ця модель дала змогу з єдиної точки зору пояснити багато закономірностей, що стосуються спектрів низькоенергетичних збуджень великої групи несферичних ядер..

За моделлю Давидова—Філіппова після відповідного вибору одиниць гамільтоніан обертових збуджень двовісного, або неаксіального, ротатора має вигляд

$$H_{\alpha} = \frac{1}{2} \sum_{\lambda=1}^3 \frac{I_{\lambda}^2}{\sin^2 \left( \gamma - \frac{2\pi\lambda}{3} \right)},$$

де  $\gamma$  — емпірично обраний параметр;  $I_{\lambda}$  — проєкції оператора кутового моменту ядра на декартові осі, що збігаються з головними напрямками ядерного тензора інерції.

Якщо  $\gamma \rightarrow 0$  або  $\gamma \rightarrow 60^{\circ}$ , енергії деяких збуджених станів системи з гамільтоніаном  $H_{\alpha}$  залишаються скінченними і границі збігають-

ся з енергіями рівнів жорсткого симетричного вовчка. Послідовність цих рівнів утворює *основу смугу*. Енергія інших збуджених оберտальних станів за тих самих умов  $\gamma \rightarrow 0$  чи  $\gamma \rightarrow 60^\circ$  прямує до нескінченності. Ці збуджені стани утворюють *аномальні обертальні смуги*. Вже перше порівняння вимірюваних ширин та спінів колективних станів з теорією показало, що модель жорсткого неаксіального ротатора правильно відображає основні закономірності спектрів збуджень багатьох парно-парних ядер. Якщо енергії колективних збуджень записати через енергію першого збудження зі спіном 2, теорія міститиме лише один параметр  $\gamma$ , який потрібно визначити з експерименту. Цей простий параметр визначають зі спостережуваного відношення енергій рівнів зі спіном 2 першої аномальної та основної обертальної смуг, яке має вигляд:

$$R_{22} = \frac{\varepsilon_{22}}{\varepsilon_{21}} = \frac{3 + \sqrt{9 - 8\sin^2 3\gamma}}{3 - \sqrt{9 - 8\sin^2 3\gamma}}.$$

При зміні  $\gamma$  від 0 до  $30^\circ$  відношення  $\varepsilon_{22}/\varepsilon_{21}$  монотонно спадає від нескінченності до 2. Можливість використання  $R_{22}$  для визначення  $\gamma$  зумовлена, з одного боку, великою чутливістю цього співвідношення до зміни  $\gamma$ , а з іншого — тим, що положення енергетичних рівнів  $\varepsilon_{21}$  і  $\varepsilon_{22}$  достатньо добре відоме для багатьох парно-парних ядер. Вимірюючи величину  $\varepsilon_{22}/\varepsilon_{21}$ , можна з використанням формули для  $R_{22}$  обчислити параметр  $\gamma$ , а потім передбачити спіни та положення інших рівнів основної обертальної та аномальної смуг. Інакше кажучи, теорія дозволяє записати відношення  $\varepsilon_{22}/\varepsilon_{21}$  для всіх колективних збуджень квадрупольного типу (парних станів  $I \neq 0$ ) через єдине експериментальне значення  $R_{22}$ .

У підсумку передбачений теорією спектр збуджених станів має такі особливості:

1) ефективне (або спостережене) відхилення форми ядра від еліпсоїда обертання приводить до порушення в основній обертальній смузі правила інтервалів, характерного для аксіальних ядер. До праць О.С. Давидова вважали, що всі ядра мають аксіальну симетрію, а відхи-

лення експериментальних співвідношень для енергій від правила інтервалів в аксіальному ядрі намагалися пояснити порушенням умов адіабатичності;

2) крім зміни правила інтервалів для рівнів основної обертальної смуги, розрахунок ефективної неаксіальності приводить також до появи нових *аномальних смуг*, які в теорії неаксіальних ядер розглядають як обертальні збудження. Останні групуються у кілька смуг: перша аномальна утворюється рівнями зі спінами 2, 3, 4, 5, 6, 7..., друга — рівнями зі спінами 4, 5, 6, 7..., третя — рівнями зі спінами 6, 7... і т.д.

Разом з енергіями збуджених станів модель визначає і хвильові функції, а отже, дає можливість знаходити: 1) ймовірності переходів різної мультипольності між збудженими станами; 2) відносні ймовірності  $\alpha$ - та  $\beta$ -каскадів материнського ядра зі збудженням дочірнього ядра на різні обертальні рівні; 3) ймовірність порушення ядер кулонівським полем швидких заряджених частинок тощо.

У 1960 р. О.С. Давидов спільно з учнями розвинув модель колективних збуджень, яка на відміну від моделі неаксіального ротатора не ґрунтувалася на адіабатичному наближенні. В ній обертально-вібраційні збудження несферичних ядер досліджувалися на основі оператора Гамільтона, який містив чотири динамічні колективні змінні. Модель враховувала ефект розтягування ядра при обертанні і дозволяла пов'язати деформованість ядер щодо поздовжніх коливань з енергією безспінових  $\beta$ -коливань. Що ж до поперечних  $\gamma$ -коливань поверхні ядра, всі вони враховувалися запровадженням ефективного параметра  $\gamma = \gamma_{\text{eff}}$ .

Недіабатична модель обертально-вібраційних збуджень у парно-парних атомних ядрах містила додатковий порівняно з теорією жорсткого ротатора феноменологічний параметр  $\mu$ , який характеризував деформованість ядра щодо поздовжніх коливань. Введення цього параметра дало можливість не лише пояснити відхилення від правил інтервалів у розміщенні обертальних рівнів, а й з'ясувати природу багатьох збуджених парних станів, які належать до вібраційного або обертально-вібраційного типу.

О.С. Давидов зі своїми учнями і співробітниками розробив також теорію електромагнітних переходів в атомних ядрах з урахуванням поздовжньої та поперечної деформованості поверхні ядер. Зокрема, було продемонстровано, що зумовлений відцентровими силами розтяг ядер набагато збільшує ймовірність електроквадрупольних переходів між обертальними станами з великими спінами. Було знайдено загальні правила сум для ймовірностей таких переходів. На основі цієї теорії вдалося обчислити також середні значення квадрупольних моментів у перших збуджених станах парно-парних ядер. Результати розрахунків добре узгоджувалися з експериментальними даними, отриманими у багатьох лабораторіях світу. Дослідження таких величин дозволило зробити важливі висновки щодо форми атомного ядра. Так, доволі несподівано було встановлено, що багато ядер, які раніше вважали сферичними, насправді такими не є, а несферичні ядра стали цікавими об'єктами для фізичних досліджень.

Результати, отримані О.С. Давидовим, були переконливо підтверджені експериментально в різних країнах світу і значно піднесли рівень ядерної фізики в Україні, де перед величезними київськими науковцями з Інституту ядерних досліджень НАН України. Фундаментальні роботи вченого з теорії ядра стимулювали та й дотепер стимулюють нові експериментальні дослідження.

Оцінюючи внесок О.С. Давидова у теорію атомного ядра, М.М. Боголюбов писав: «Роботи О.С. Давидова з теорії ядра — одне з найвидатніших досягнень теоретичної фізики».

У 80-х роках минулого століття О.С. Давидов зацікавився ще однією галуззю природничих наук, зрозумівши, що найбільш бурхливо розвиваються науки про життя, і почав досліджувати деякі проблеми біофізики з позицій теоретичної фізики. Однією з найактуальніших проблем у ній було і, можливо, залишається пояснення великої ефективності перенесення енергії та заряду білковими макромолекулами. Високий ККД енерготранспорту в біологічних системах не мав пояснення в рамках традиційної теорії процесів перенесення, що ґрунтувалася на уявленні про екситони.

О.С. Давидов зі співробітниками (Л.С. Брижик, О.О. Єремком, М.І. Кислухою, В.З. Енольським) запропонував зовсім інший підхід до енергопереносу в біополімерах, що спирався на особливі колективні стани в них, які здобули назву *солітонів*. За О.С. Давидовим, солітони в молекулярних біосистемах являють собою нелінійно зв'язані стани електронних (або коливальних) і деформаційних збуджень, що утворюються в деякій області ланцюжка і поширюються ним з постійною швидкістю. Хвильова функція такого зв'язаного стану має локалізовану форму, а енергія виявляється меншою за суму енергій складових його збуджень. Саме це є однією з основних причин великої стійкості солітонів, які, як довели дослідження, можуть збуджуватися лише завдяки локальним збуренням. До останніх належать хімічні реакції, наприклад розпад молекул аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ). О.С. Давидов продемонстрував, що висока стійкість солітонів та їх рух без енергетичних втрат по  $\alpha$ -спіральному ділянках білкових молекул гарантують необхідну ефективність перенесення енергії та заряду, а відповідні переносники називали *давидовськими солітонами*, або рідше — *давидовськими (електро)солітонами*.

Можливість утворення такого солітона в  $\alpha$ -спіральному білкових молекулах переконливо підтвердилася в численних експериментах, проведених у Лос-Аламоській національній лабораторії (США), а також у дослідницьких центрах Австралії, Греції, Данії та Шотландії.

Поняття солітона О.С. Давидов використав для принципово нового пояснення механізму скорочення поперечносмугастих м'язів. Цій проблемі присвячено десятки досліджень багатьох вчених, накопичився значний експериментальний матеріал, що дозволяло висунути кілька гіпотез, покликаних пояснити явище скорочення м'язових волокон з урахуванням взаємодії та перетворення білкових молекул. І хоча моделі, запропоновані різними авторами до робіт О.С. Давидова, адекватно описували конкретні експериментальні факти, такі як взаємний рух міозинових і актинових ниток при скороченні м'язів, поглинання в процесі ско-

рочення енергії розпаду молекул АТФ, вплив на ефективність скорочення м'язових волокон іонного складу та кислотності середовища тощо, всі вони мали істотні недоліки. Головні з них — відсутність пояснення взаємозв'язку у широкому комплексі процесів, що супроводжують скорочення м'язових волокон, фізична непереконливість запропонованої картини явища, штучність опису, зокрема неповне врахування мікроскопічної структури реального середовища.

Теорія, яку розвинув О.С. Давидов, була заснована на уявленні про солітонні збуджені стани в  $\alpha$ -спіральних молекулах міозину з урахуванням їх конкретної структури. Енергія гідролізу молекул АТФ витрачається на утворення в них солітонів, які рухаються від головок молекул, де вони виникли, до хвостів. Рух солітонів уздовж міозинових молекул, що формують товсті нитки, супроводжується їх значним вигином. В околі збуджень, які біжать по пучку міозинових молекул, товста нитка розширюється і головки міозинових молекул притискаються до сусідніх тонких ниток. На ділянках розширення ці головки проштовхують тонкі нитки на невелику відстань і відходять від них. Тому під час руху товстою ниткою «розпухлої» області головки молекули захоплює тонкі нитки. Переміщення товстих і тонких ниток відносно одна одної визначає зміну довжини м'язового волокна. Оригінальний сценарій скорочення поперечносмугастих м'язів, що відбувається у запропонований О.С. Давидовим спосіб, у фаховому науковому середовищі було сприйнято з великим інтересом. Цей результат, без сумніву, можна віднести до видатних досягнень вченого-фізика.

На цьому ми завершимо короткий огляд наукових результатів Олександра Сергійовича, але навіть цей, далеко не повний, перелік дає уявлення про важливість внеску видатного вченого академіка НАН України О.С. Давидова у розвиток сучасної фізики.

У Національній академії наук України було видано бібліографічний довідник «Олександр Сергійович Давидов» (1982), що містить понад 200 найменувань його публікацій, а сам О.С. Давидов основні свої результати виклав у перекладених багатьма мовами монографіях «Возбужденные состояния атомных ядер» (М.: Атомиздат, 1967), «Теория молекулярных экситонов» (М.: Наука, 1968), «Биология и квантовая механика» (К.: Наукова думка, 1979), «Солитоны в молекулярных системах» (К.: Наукова думка, 1988), «Высокотемпературная сверхпроводимость» (К.: Наукова думка, 1990). Ці книги, як і написані ним всесвітньо відомі підручники, можна знайти у будь-якій університетській бібліотеці, і вони зберегли своє наукове та освітнє значення аж до наших днів.

На вшанування пам'яті Олександра Сергійовича Давидова НАН України у 2000 р. заснувала премію ім. О.С. Давидова за визначні роботи в галузі теоретичної фізики та біофізики, першим лауреатом якої став знаний теоретик академік НАН України О.І. Ахієзер. Лауреатами премії ім. О.С. Давидова є також академіки НАН України А.Г. Загородній, Б.І. Лев, М.Ф. Шульга, члени-кореспонденти НАН України Е.М. Гананольський, Г.М. Зінов'єв, Б.О. Іванов, В.М. Коломієць, Е.Г. Петров, І.В. Стасюк та інші провідні теоретики Академії (серед них Ю.А. Бережний, О.М. Гаврилик, М.І. Горенштейн, І.В. Сименюг) та вищої школи (зокрема, І.О. Вакарчук, В.М. Ткачук, Д.Д. Шека).

Щороку 26 грудня, в день народження видатного вченого в ІТФ проводяться Давидовські читання, на яких з доповідями виступають співробітники Інституту та інших наукових установ України, а також закордонні вчені.

Отже, ім'я Олександра Сергійовича Давидова живе в пам'яті колег та учнів, а його ідеї продовжують розвивати наступні покоління фізиків-теоретиків.

*Anatoly G. Zagorodny*

Bogolyubov Institute for Theoretical Physics  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7953-6726>

*Vadym M. Loktev*

Bogolyubov Institute for Theoretical Physics  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0673-4174>

OLEKSANDR S. DAVYDOV. LIFE AND WORK

To the 110th anniversary of birth

December 26 marks the 110th anniversary of the world-famous Soviet and Ukrainian theoretical physicist, Hero of Socialist Labor (1982), laureate of the Lenin Prize (1964), State Prize of Ukrainian SSR in the field of science and technology (1969), honored worker of science and technology of Ukrainian SSR (1972), the long-term director of the Institute for Theoretical Physics of the Academy of Sciences of Ukraine (1973-1988), Academician of the Academy of Sciences of Ukraine Oleksandr S. Davydov. He is the author of several outstanding scientific results, recognized as classical in world literature, named after him and included in many textbooks.