



# КОГЕРЕНТНІСТЬ У ЖИВОМУ СВІТІ

*Справжня фізика - це така, яка коли-небудь спроможеться включити людство у когерентну картину світу.*

**П'єр Тейяр де Шарден,  
французький мислитель**

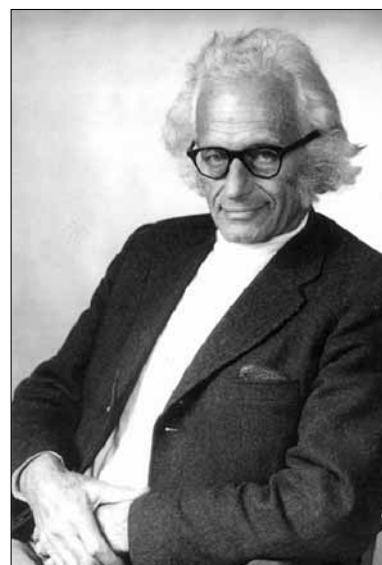
З поняттям когерентності ми вперше зустрічаємось у шкільному курсі фізики у розділі «Коливання та хвилі». Добре відомо, що хвиля – це розповсюдження коливань у просторі. При додаванні двох чи кількох хвиль може відбуватися явище інтерференції, внаслідок якого у різних точках простору спостерігається підсилення або послаблення результируючих коливань. Для того, аби інтерференційна картина була стійкою, хвилі повинні бути когерентними (лат. *cohaerentio* – зв'язок, зчеплення) – мати однакову частоту та сталий у часі зсув фаз. Іншими словами, хвилі повинні бути узгоджені одна з одною. Джерела, які випромінюють когерентні хвилі, також називають когерентними.

Виявляється, що незалежні джерела не можуть бути когерентними. Зокрема, коли мова йде про світлові хвилі, їх узгодженість повинна тривати проміжок часу, достатній для спостереження інтерференційної картини. У незалежних джерелах світло випромінюють різні атоми, умови для випромінювання яких швидко (за час, менший  $10^{-8}$  с) і хаотично змінюються. Разом з тим, традиційні способи спостереження (око, фотоплівка та ін.) потребують

незрівнянно більшого часу, і тому спроможні зареєструвати лише усереднену картину, у якій не залишається навіть натяків на інтерференційні максимуми та мінімуми. Інша ситуація має місце у лазерах. Так зване явище вимушеного випромінювання узгоджує поведінку величезної кількості атомів, які випромінюють когерентні світлові хвилі з однаковими частотами, фазами, поляризацією, напрямком. Фактично, лазер випромінює одну – надзвичайно потужну – світлову хвилю.

Із виникненням квантової механіки стало зрозуміло, що хвильові властивості притаманні не тільки випромінюванню, але й речовині. Згідно з квантовими уявленнями, будь-якій матеріальній частинці ставиться у відповідність хвиля де Бройля, довжина якої виражається через імпульс частинки та сталу Планка. В основі квантової механіки лежить поняття хвильової функції, квадрат модуля якої визначає ймовірність знаходження частинки в певній точці простору. Наявність хвильових властивостей у речовин дозволяє ставити питання про його когерентність, тобто, про можливість існування деяких властивостей, зумовлених сталою у часі різницею фаз хвильових функцій окремих частинок, атомів чи молекул.

Найбільш яскраво когерентні властивості речовини проявляються у явищах надпровідності та надплинності. Зокрема, при дуже низьких темпера-



Герберт ФРЬОЛІХ ((1905–1991 рр.))

турах у багатьох металів хвильові функції усіх електронів набувають однакових фаз, тобто, виникає єдиний – колективний – стан, що характеризується високою упорядкованістю.

Діапазон досліджень когерентних явищ постійно розширюється. Когерентні явища спостерігаються для кристалів, рідин, газів, плазми. Це поняття виходить за рамки одного чи кількох розділів фізики. Цілком природно очікувати існування аналогів когерентності і за межами фізичної науки.

Особливий інтерес викликає можливість застосування поняття когерентності до опису живих систем. Добре відомо, наприклад, що у живій клітині щосекунди відбуваються тисячі складних біохімічних реакцій.

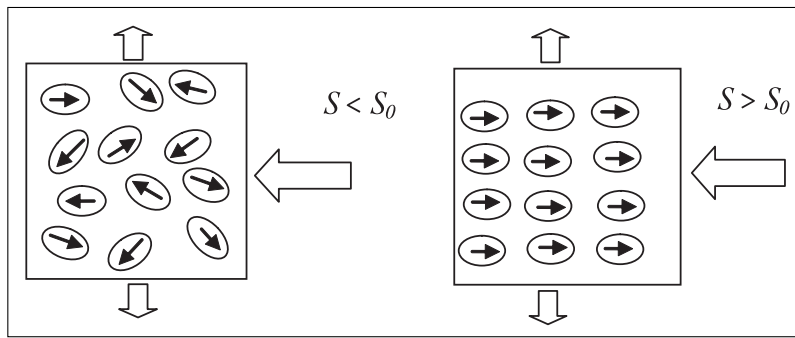


Рис.1. Виникнення когерентних коливань в живих системах

Усі вони узгоджені у просторі і часі. Чи можна таку колективну поведінку описати за допомогою знайомих з фізики понять?

Таке питання поставив видатний вчений ХХ століття, англійський фізик-теоретик **Герберт Фрьоліх**, відомий своїми роботами з фізики твердого тіла, квантової теорії поля, теорії ядра. Одним з його найвизначніших наукових внесків стала розробка мікроскопічної теорії надпровідності. Ключова ідея теорії полягала у припущенні, що електрони можуть взаємодіяти один з одним опосередковано – через коливання кристалічної решітки. В результаті, однойменно заряджені частинки зазнають слабкого притягання одна до одної. За дуже низьких температур, усі вони об'єднуються в один колектив – виникає надпровідний стан.

Фрьоліх висловив гіпотезу, що у живих системах може проявитися аналогічна колективна поведінка, але не за низьких температур, а навпаки: за умови притоку зовні енергії метаболізму.

Схематично модель Фрьоліха можна представити як систему диполів, що взаємодіють між собою та оточуючим середовищем (Рис. 1). В систему поступає енергія метаболізму, а виходить з неї тепло. Якщо потік метаболічної енергії  $S$  стає більшим за деяке критичне значення  $S_0$ , виникають когерентні коливання, Тобто, усі диполі, за рахунок взаємодії між собою, починають коливатися з од-

ною частотою і фазою. Фактично, система диполів за цих умов перетворюється на єдиний гігантський диполь, або своєрідний «лазер», що генерує когерентні хвилі.

Сильно полярний характер біологічної речовини може призвести до виникнення повздовжніх електричних коливань, що розповсюджуються на значні відстані, на яких звичайна хімічна взаємодія відсутня, а електростатичні сили екрановано. Тобто, з'являються умови для координованої активності великих, майже макроскопічних, областей. Існування далекодіючих сил дозволило, принаймні якісно, пояснити такі складні явища, як контрольований поділ клітин, згортання крові, формування злоякісних утворень.

Фрьоліх провів теоретичне вивчення пружних та електричних властивостей ділянок біологічних мембран і прийшов до висновку про можливість існування коливань з частотами  $10^{10}$ – $10^{11}$  Гц. На основі своїх розрахунків, він висловив припущення, що біологічні системи повинні бути надзвичайно чутливими до електромагнітних хвиль зазначеного діапазону частот, який відповідає міліметровим довжинам хвиль у вакуумі. Згодом, це припущення знайшло блискуче підтвердження у багатьох експериментах по вивченню впливу електромагнітних хвиль міліметрового діапазону на живі системи

різного рівня організації: від мікробної клітини до людини.

На жаль, модель, запропонована Фрьоліхом, не дає відповіді на питання про конкретний механізм взаємодії електромагнітних хвиль з живими системами. Ця проблема виявилась дуже складною. Досі вчені не прийшли до спільної думки, щодо фізичної природи біологічної дії електромагнітних хвиль. Але, зважаючи на надзвичайну актуальність таких досліджень, все більше науковців з різних країн починають вивчати Живе з позицій сучасної фізики, взявши на озброєння, зокрема, і концепцію біологічної когерентності Фрьоліха.

Одним із послідовників видатного англійського вченого є наш співвітчизник – професор Сергій Сітько, який поширив поняття когерентності на цілісний організм. На думку київського фізика, основою для функціонування багатоклітинного організму є власне когерентне поле – своєрідний електромагнітний скелет. Порушення цілісності цього поля призводить до появи різноманітних відхилень у функціонуванні організму, що проявляються як хвороби. Керуючись своєю теорією, С.Сітько успішно впроваджує оригінальні технології медичної діагностики і терапії.

Більш, ніж за тридцять років існування концепції біологічної когерентності, вона перетворилася на своєрідну світоглядну віху у вивченні природи Живого. Видається доречною аналогія з теорією атома Нільса Бора, яка, незважаючи на недосконалість та внутрішню суперечливість, є одним з найвидатніших наукових відкриттів ХХ століття.

В останні роки ідеї Фрьоліха набули другого дихання у зв'язку з активним вивченням незвичайних біологічних об'єктів – **мікротубул**. Відомо, що мікротубули формують цитоскелет – молекулярний каркас клітини, який задає її форму та внутріш-

ню будову. Самі мікротубули представляють собою тонкі, діаметром 25 нм, трубки, побудовані з молекул тубуліну двох типів (Рис. 2) які, у свою чергу, можуть перебувати у двох станах з різною електричною поляризацією. Зв'язок між молекулами здійснюється за рахунок значних електростатичних сил, а щільність конструкції забезпечено характерною формою складових молекул. Виявилось, що мікротубули надзвичайно еластичні та дуже легко поляризуються. Ці біологічні об'єкти виявились ідеальними структурами для генерації та розповсюдження повздовжніх електропружних хвиль, існування яких передбачав Фр'оліх. Щоправда, частоти цих хвиль виявились значно ниж-

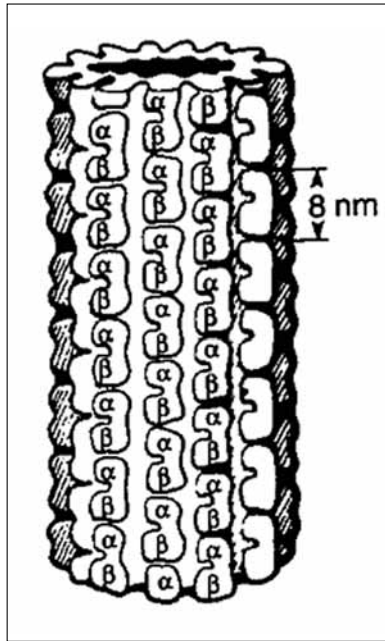


Рис.2. Будова мікротубули

чими, але сам механізм формування когерентних коливань напрочуд точно вписувався в його уможливлені побудови.

В останні роки мікротубули виявили у мозку людини. Існування двох станів поляризації складових молекул та простий механізм переключення нашої мови на аналогію з цифровими електронними пристроями. Надзвичайно цікавим є припущення деяких вчених, що ці об'єкти представляють собою елементи біологічного комп'ютера, якому людина має завдячувати за можливість мислити.

**А.В.Якунов,**

доцент кафедри оптики фізичного  
факультету КНУ  
ім. Тараса Шевченка