Анотація навчального курсу «Фізика низькорозмірних систем»

В.М. Адамян, Ю.А. Ніцук

Сучасний світ став свідком надзвичайно швидкого розвитку як нашого теоретичного розуміння, так і технологічного прогресу напівпровідникових приладів після винаходу першого транзистора в 1949 році. Сучасні транзистори забезпечують багатотисячне збільшення швидкості та оперативної потужності сучасних компютерів та засобів електронної та оптичної комунікації, ніж ті, що були 20 років тому. Удосконалені методи вирощування напівпровідникових тонких плівок з різними структурними та електронними властивостями, навіть із товщиною, що сягає атомних розмірів, відкрили нові неосяжні можливості для фундаментальних наукових досліджень та різноманітних застосувань. Нові технології виготовлення дозволили зменшити розміри пристроїв до такої міри, що квантові розмірні ефекти вже грають визначальну роль в будь-якому реалістичному описі їх електронних та оптичних характеристик. Це призводить до багатьох нових науково-технічних проблем, що вимагають вирішення для задоволення потреб споживачів у кращому та швидкому зв'язку та електронної обробці інформації. Для подолання цих проблем провідні світові науковці та інженери проводять інтенсивні дослідження в галузі низькорозмірних систем та нанотехнологій, крок за кроком збільшуючи наші знання та досвід в цьому багатому на нові ефекти та їх неочікувані застосування відгалужені фізики твердого тіла.

Наука про особливості явищ і процесів при знижені розмірності і специфічні властивості нанорозмірних систем була висунута як концепція Річардом Фейнманом в лекції "Внизу ще багато місця", який він прочитав на засіданні Американського фізичного товариства в Каліфорнійському технологічному інституті (Калтех) 29 грудня, 1959. Звернувши увагу на те, що створення низькорозмірних та нанорозмірних матеріалів можливе, і фізичні та хімічні властивості матеріалів, коли що менше один з розмірів стає ~ 1-10 нм, залежать від відповідних розмірів і можуть керуватися за допомогою їх змін, Р. Фейнман описав процес маніпулювання атомами та молекулами для організації та експлуатації низькорозмірних пристроїв та / або систем. Він також зазначив, що проблеми масштабування можуть виникати і внаслідок малості відстаней, на яких проявляються певні фізичні явища, такі як поверхневий натяг, притягання Ван дер Ваальса тощо.

В останні роки по всьому світу було проведено справді надзвичайний обсяг досліджень низькорозмірних напівпровідників, металів, кераміки, полімерів та композитів, що містять наноструктуровані матеріали для застосування в галузі охорони здоров'я для діагностики та лікування хвороб, у фармакології, енергетиці, сільському господарстві та харчової промисловості, електроніці та засобах комунікації, обробці та зберіганні інформації з використанням різноманітних функціональних можливостей нещодавно розроблених наноматеріалів. Це стимулювало новий розвиток у різних сферах, зокрема в оборонних технологіях. Нещодавно створені та вдосконалені технології, включаючи електронні комунікації, активізували наукові дослідження та технологічні застосування структур, що складаються з атомів і молекул, а також біологічних структур. Наприклад, в останні десятиріччя ведуться інтенсивні наукові дослідження колоїдних квантових точок. Оскільки квантові точки мають носії, обмежені у всіх напрямках (нульові розміри), вони мають й більш різку густину електронних станів, ніж щільніші дві- та тривимірні структури. Відповідно, квантові точки мають своєрідні стабільні транспортні та оптичні властивості, які викликають пошуки, які спрямовани на створення на їх основі діодних лазерів, транзисторів та біологічних сенсорів.

Даний курс представляє короткий вступ в фізику низькорозмірних систем з описом найпростіших теоретичних моделей дослідження їх електронних, магнітних та оптичних властивостей, методів їх отримання і експериментального дослідження, застосуваннях низькорозмірних систем при створенні приладів і розробці елементної бази наноелектроніки.

В курсі розглядаються специфічні властивості низькорозмірних об'єктів з акцентом на явища і ефекти, які не характерні для тривимірних макроскопічних систем. В ньому розглядається і розбирається

* нестійкість двомірного та одномірного кристалічних станів з посиланнями на теоретичний аналіз і спостережні механічні властивості вільно підвішеного графена;
* відсутність конденсації в двохвимірному бозе-газі;
* властивості двомірного електронного газу в моделі «желе» з аналізом специфіки густини його електронних станів, описом незвичайного екранування зарядів в такому газі;
* теорія кристалізації Вігнера в двомірному електронному газі і, як приклад, опис властивостей електронного газу, який притиснутий до поверхні рідкого гелію;
* особливості спектру і переносу заряду в сильних квантуючих магнітних полях в двовимірному фермі-газі носіїв заряду, що утримується в кремнієвих МОН (метал-оксид-напівпровідник) структурах та гетеропереходах напівпровідникових структурах з елементами теорії цілочисельного та дробового квантового ефекту Холла та умовами їх спостереження;
* принципи розмірного квантування і умови спостереження квантово-розмірних ефектів;
* балістичний режим провідності в квантових нитках, провідність квантових точок, кулонівська блокада;
* прилади на основі балістичного транспорту, квантові польові інтерференційні транзистори;
* оптичні властивості та оптична іонізація квантових точок, , технології їх створення, лазери з квантовими ямами та точками.

Базовим методом навчання є поєднання установчих лекції з практичними заняттями, на яких слухачам та групам слухачів пропонуються індивідуальні та групові завдання з елементами самостійного творчого пошуку.