
Історія науки

Ю.О. Храмов

50-річний лазер: передісторія, створення, наслідки

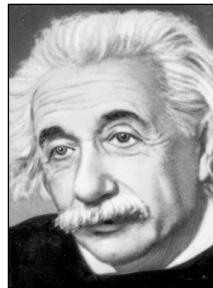
Висвітлено передумови виникнення нових напрямків фізики та її застосувань — квантової електроніки та фізики лазерів, зокрема безпосередньо історію створення мазерів і лазерів, а також значення їх для подальшого розвитку фізики.

П'ятдесят років тому в арсеналі квантової електроніки, тоді ще молодого фізико-технічного напрямку, з'явився новий квантовий прилад — лазер, якому судилося зумовити новий поступ науково-технічної революції, що розпочалася в середині 50-х років ХХ ст. і була викликана успіхами обчислювальної техніки, транзисторної електроніки, атомної енергетики, новими технологіями і новими матеріалами з високими характеристиками, а також саме квантовою електронікою.

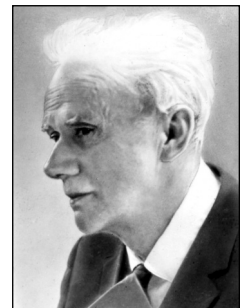
Ідейні витoki останньої сягають 20—30-х років ХХ ст. і пов'язані з дослідженнями в галузі квантової фізики, оптики і радіоспектроскопії. Передісторія квантової електроніки почалася в 1916 р., коли А. Ейнштейн в статті «Випускання і поглинання випромінювання згідно з квантовою теорією» розглянув два типи переходів — спонтанне й індуковане випромінювання — та запровадив для них поняття імовірностей (коефіцієнти Ейнштейна) [1, т. 3, с. 386—392]. У наступній статті того ж року «До квантової теорії випромінювання» в другому параграфі «Гіпотези про обмін енергією шляхом випромінювання» він розвинув ці поняття і, як сам зазначив, дав підтвердження «...прийнятим у §2

гіпотезам щодо взаємодії між речовиною і випромінюванням через процеси поглинання і випромінювання, відповідно через спонтанне та індуковане випромінювання. До цих гіпотез мене привело намагання постулювати таку найпростішу квантово-теоретичну поведінку молекул, яка замінила би резонатор Планка в класичній теорії» [1, т. 3, с. 405].

У 1927 р. П. Дірак побудував квантову теорію випромінювання, в якій показав тотожність квантів вимушеного і первинного випромінювань (ідея когерентності індукованого випромінювання) [2, т. 2, с. 285]. Побічний доказ існування індукованого випромінювання дав у 1928 р. Р. Ладенбург, який сформулював умови його виявлення, вказавши, що для цього необхідне спеціальне вибіркове збудження [3].



А. Ейнштейн



П. Дірак

© Ю.О. Храмов, 2010

Щодо витоків в експерименті, то необхідно згадати О. Штерна з його методом атомних (молекулярних) пучків, за допомогою якого він 1920 р. виміряв швидкості теплового руху молекул (дослід Штерна), в 1921—1922 рр. з В. Герлахом виконав експеримент, який довів квантування магнітного моменту атома в магнітному полі — просторове квантування (дослід Штерна—Герлаха) [3]. У 1937—1939 рр. І. Рабі розробив метод магнітного резонансу в молекулярних та атомних пучках (метод Рабі) і використав його для прецизійних вимірювань надтонкої структури спектрів, магнітних моментів протона і дейтрона тощо (Нобелівська премія з фізики 1944 р.) [4]. Це започаткувало новий напрям — радіоспектроскопію, в якому вивчаються дискретні переходи в квантових системах під впливом радіохвиль, тобто спектри різних речовин у радіодіапазоні (10^3 — 10^{12} Гц), зокрема явища резонансної взаємодії випромінювання з квантовими системами [5].

Бурхливий її розвиток розпочався із середини 40-х років завдяки відкриттю і дослідженню різного роду резонансів — електронного парамагнітного (Є.К. Завойський, 1944 р.) [6], ядерного магнітного (Е. Парселл, Г. Торрі, Р. Паунд, 1945 р.) [7], циклотронного резонансу в металах і напівпровідниках (Дж. Дрессельхаус, А. Кіп, Ч. Кіттель,

1954 р.) та ін. Радіоспектроскопічні методи почали широко використовувати з метою одержання інформації про структуру речовини, стан її складових та процеси, що з ними відбуваються. Саме з допомогою цих методів було експериментально виявлено індуковане випромінювання. Важливим для цього стало одержання інверсії населеностей квантових систем — такого їх стану, в якому для якихось двох її енергетичних рівнів справджується нерівність: $N_2/g_2 > N_1/g_1$, де N_2 і N_1 — відповідно населеності верхнього і нижнього рівнів системи, g_2 і g_1 — їх кратності виродження. Інверсія населеностей є необхідною умовою, щоб квантова система генерувала або підсилювала випромінювання.

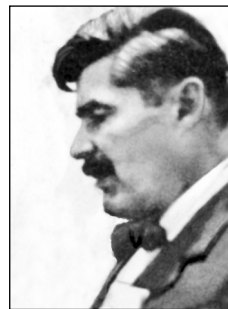
У 1951 р. Е. Парселл і Р. Паунд здійснили інверсію населеностей квантової системи і спостерігали індуковане випромінювання в радіодіапазоні [8]. Тоді ж вони запровадили поняття від'ємної температури квантової системи, яка характеризує ступінь її збудження, тобто відхилення від стану термодинамічної рівноваги та широко використовується при описі процесів, що відбуваються в квантових приладах. Для їх створення значну роль відіграли також дослідження А. Кастлером та його групою основних і збуджених станів атомів, квантових переходів у



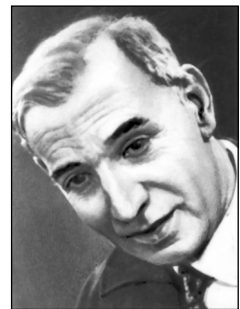
І. Рабі



Е. Парселл



Р. Паунд



А. Кастлер

них, когерентних ефектів та з розвитку оптичних методів вивчення низькочастотного резонансу (Нобелівська премія з фізики 1966 р.).

«Дослідження збуджених і основних станів атомів проводилися в нашій групі широким фронтом і привели до великої кількості цікавих результатів,— писав А. Кастлер.— Ми зібрали багато даних про релаксаційні процеси, могли зі значною точністю... вимірювати фактор Ланде, тонку і надтонку структуру ліній та обчислювати на основі цих даних точні значення ядерних магнітних моментів. Ми виявили численні явища, пов'язані зі збуреннями високого порядку: багатоквантові переходи, ефекти когерентності, зміщення ядерного резонансу під впливом оптичного випромінювання, істотні зміни властивостей атома при наявності радіочастотного поля» [9, с. 8].

Важливою була також розробка А. Кастлером методу оптичної накачки [10], який він реалізував у 1950—1951 рр. спільно з Ж. Бросселем.

«В одній зі статей... 1950 р. я показав, що оптичне збудження атомів світлом з коловою поляризацією дозволяє передати їм певний момент кількості руху, зосереджений в падаючому світлі, й таким чином збільшити кількість

атомів, що містяться в основному стані або на підрівнях з додатними або від'ємними m ,— писав він.— З допомогою подібної «оптичної накачки» можна створити певну орієнтацію атомів і завдяки зв'язку між електронним магнітним моментом і ядерним спіном — орієнтацію ядер. Таким шляхом можна одержати розподіли, які значно відрізняються від розподілу Больцмана, і створити умови, що дозволяють вивчати процес переходу в рівноважний стан або внаслідок релаксаційних процесів, або під дією резонансного поля» [9, с. 7].

У 1951 р. В.О. Фабрикант з М.М. Вудинським і Ф.О. Бутаєвою сформулював принцип підсилення електромагнітного випромінювання при проходженні середовищ з інверсною населеністю [11]. Ідеї практичного використання індукваного випромінювання для підсилення і генерації висунуто в 1951—1952 рр. Ч. Таунсом, О.М. Прохоровим, М.Г. Басовим і Дж. Вебером, у найближчі роки їх було реалізовано. У 1954 р. М.Г. Басов і О.М. Прохоров незалежно від Ч. Таунса і його співробітників створили перший квантовий генератор на пучку молекул аміаку (мазер), чим започаткували квантову електроніку — галузь фізики, яка вивчає нові методи підсилення і генерації електромагнітних хвиль квантовими системами, що використовують ефект вимушеного випромінювання [12, 13]. Слово «мазер» складається з перших літер англійських слів, що означають підсилення мікрохвиль вимушеним випромінюванням. Період, який передував цій знаменній даті й в якому закладалися передумови, що врешті-решт привели до виникнення квантової електроніки, котра спочатку називалася квантовою радіофізикою, схематично описав Ч. Таунс: «У період



О.М. Прохоров, Ч. Таунс, М.Г. Басов

20—30-х років експериментатори мало уваги приділяли індукованому випромінюванню. Тоді в центрі уваги більшості фізиків була атомна і молекулярна спектроскопія. Пізніше, в 40-ві роки, експерименти з одержання індукованого випромінювання обговорювалися, принаймні неформально, і цікавили кількох радіоспектроскопістів, в тому числі і мене. Проте ці експерименти здавалися тільки важким завданням, яке навряд чи мало сенс розв'язувати. У чудовій статті Лемба та Різерфорда про тонку структуру водню, опублікованій в 1950 р., є коротке зауваження про від'ємне поглинання у зв'язку з інверсією населеностей. А роком пізніше Парселл і Паунд опублікували свої дивовижні докази інверсної населеності та індукованого випромінювання. Фактично інверсія населеностей та її вплив на випромінювання в дещо менш явній формі вже були показані в експериментах Блоха та інших з резонансу. Але всі ці ефекти були настільки малі, що будь-яке підсилення придушувалося втратами через інші, конкуруючі, процеси, і використання цих ефектів для підсилення, мабуть, серйозно не розглядалося аж до робіт Басова і Прохорова, Вебера та Гордона, Цайгера і Таунса на початку 50-х років. Мій власний інтерес засновувався на усвідомленні того, що когерентні генератори з дуже короткими довжинами хвиль можна створити, мабуть, використовуючи тільки молекулярний або атомний резонанс, а також на несподіваному відкритті в 1951 р. конкретної схеми, яка, здавалося, дала реальну можливість для генерації коротких хвиль за рахунок молекулярного підсилення» [14, с. 463—464].

Наприкінці зазначеного періоду, за словами О.М. Прохорова, «для осіб, які працювали в галузі радіоспектроскопії,

вже були готові окремі елементи мазерів і необхідно було їх тільки синтезувати...» [15, с. 601]. Вирішальна умова для одержання генерації когерентного випромінювання, до якої прийшли винахідники мазера, за словами Ч. Таунса, «полягала в створенні з допомогою деякого резонансного контуру позитивного зворотного зв'язку і щоб коефіцієнт підсилення хвилі за рахунок індукованих молекулярних переходів був більшим, ніж втрати в схемі» [14, с. 464]. І цілком логічно, що саме з радіоспектроскопії «постала» квантова електроніка і саме радіоспектроскопісти заклали її основи. Отже, щоб створити мазер, необхідно мати «приготоване» певним чином активне середовище, в якому більшість атомів можна перевести в збуджений стан, і резонатор — пристрій, в якому відбувається накопичення енергії коливань.

«Квантова електроніка дала права громадянства новому наднерівноважному стану матерії» — стану з від'ємною температурою, який в своїй крайній точці... за своїми властивостями близький до стану абсолютної впорядкованості, властивого станам абсолютного нуля температури,— писав М.Г. Басов.— Саме ця властивість високої впорядкованості системи з від'ємною температурою і дає можливість створювати висококогерентне випромінювання квантових генераторів і одержувати високочутливі квантові підсилювачі, виділяти запасену в стані з від'ємною температурою енергію за дуже короткі проміжки часу, порівняні з періодом коливань. Квантова електроніка дала приклади систем, в яких одержується випромінювання з дуже малим значенням ентропії... Мабуть, закономірності, які було виявлено квантовою електронікою при дослі-

дженні випромінювання, можна поширити і на інші форми руху. Можливості одержання високопорядкованого руху з допомогою систем зі зворотним зв'язком становитимуть інтерес для хімічних і біологічних досліджень, космології» [16, с. 586].

Квантова система, яка генерує електромагнітні хвилі сантиметрового і міліметрового діапазону, називається мазером, а оптичного діапазону — лазером, або оптичним мазером. Перший мазер — молекулярний генератор, де використовувався пучок молекул аміаку, створено, як вже зазначалося, в 1954 р. На наступному етапі було збільшено діапазон мазерного випромінювання, підвищено характеристики мазерів та розширено межі їх застосування в науці та техніці. Тривали роботи і зі створення нових мазерів. У 1955 р. М.Г. Басов і О.М. Прохоров запропонували трирівневий метод одержання інверсії населеностей у робочих середовищах, який за пропозицією Н. Бломбергера було в 1956 р. застосовано для створення квантових підсилювачів радіодіапазону на парамагнітних кристалах. Перший такий парамагнітний мазер на основі ЕПР побудували в 1957 р. Г. Сковіл, Дж. Феєр та Г. Зайдель [3]. Парамагнітні квантові підсилювачі різко підвищили чутливість надвисокочастотних приймальних пристроїв і значно вплинули на їх розвиток. Невдовзі (1958) майже стандартними стали інші, більш зручні, кристали, зокрема рубін, іони хрому в Al_2O_3 . Було створено дуже чутливі квантові підсилювачі, широко використовувані в радіоастрономії, системах супутникового та космічного зв'язку тощо, які значно розширили можливості зазначених напрямів і привели до низки

відкриттів (мазери стали невід'ємною частиною радіотелескопів).

У 1957 р. запропоновано мазер, що використовує ЯМР (Р. Браунштейн, І. Іто), 1959 р. — мазер з нульовим полем (Дж. Богль, Г. Сіммонс), реалізований в цьому ж році Р. Терхьюном, який використав для цього кристал сапфіра з іонами заліза. Одержано (1959) мазерний ефект і при надвисокочастотному збудженні. У 1960 р. Н. Рамзей зі співробітниками побудував мазер пучкового типу на атомах водню, або водневий мазер, в якому використовується перехід між рівнями надтонкої структури в основному стані атома водню. Характерною особливістю цього мазера є дуже висока стабільність, що зумовило його використання в прецизійній спектроскопії та в атомних годинниках і стандартах частоти [17].

Але багато інженерів і вчених мріяли про прилад, який би генерував світло і за ефективністю та досконалістю міг би бути порівняний з генератором радіохвиль. Однак результати, одержувані з допомогою мазерів, та їх можливості були настільки вражаючими, що на якийсь час зосередили на собі всю увагу фізиків, і тому до 1957 р. вони навіть не намагалися одержати когерентну генерацію на більш високих частотах, хоч після винайдення мазерів завдання в принципі стало зрозумілим. Про причини запізнення зі створенням лазера О.М. Прохоров писав: «Здавалося б, що після розробки мазерів у радіодіапазоні незабаром будуть створені квантові генератори і в оптичному. Однак це не відбулося. Вони з'явилася тільки через 5—6 років. Чим це пояснюється? Тут були дві труднощі. Перша полягала в тому, що тоді не було запропоновано резонаторів для оптичного діапазону хвиль, а

друга — не було висунуто конкретних систем і методів одержання інверсної населеності в цьому діапазоні» [15, с. 601—602].

У 1957—1958 рр. Ч. Таунс і А. Шавлов вирішили з'ясувати, чи можливо створити квантовий генератор коротких хвиль і, виходячи з принципів роботи мазерів, розробили перші теоретичні схеми, що показували можливість створення оптичного мазера (термін, запроваджений Ч. Таунсом), тобто пристрою для одержання потужного монохроматичного і когерентного пучка світла (кагерентність означає, що хвилі пучка перебувають у фазі). Інакше кажучи, необхідно було знайти такий спосіб синхронізації значної кількості атомів у квантовій системі, щоб вони змогли «працювати» разом, створюючи потужну когерентну хвилю оптичного діапазону. Спосіб, який спонукає атоми активного середовища до колективного когерентного оптичного випромінювання, і розробили на основі принципу мазера в 1958 р. Ч. Таунс і А. Шавлов, запропонувавши при цьому резонатор спеціального типу [18] (останнє зробив також того ж року О.М. Прохоров [19]). Перехід до здійснення квантової генерації електромагнітного випромінювання в оптичному діапазоні описав Ч. Таунс: «...Перші кроки, пов'язані з мікрохвильовими генераторами, малошумлячими підсилювачами та їх використанням у різних наукових експериментах, виявилися настільки цікавими, що відволікли увагу від можливостей одержання високих частот. Однак спільна робота з А. Шавловим [18], розпочата приблизно в той час, допомогла нам відкрити шлях до більш швидкого і захоплюючого поширення мазерів-генераторів у далекий інфрачервоний, оптичний та

ультрафіолетовий діапазони з частотами, в 1000 разів вищими за частоти будь-яких інших джерел когерентного випромінювання. Саме мазери для цих ділянок спектра, які часто називають лазерами.., імовірно, привели до найбільш вражаючих нових наукових методів і результатів. Важливим аспектом цієї роботи було доведення того, що є реальні системи, в яких можна одержати умову самозбудження, і певна конкретна конструкція резонатора дозволяє обмежити коливання в деяких точно визначених і бажаних для нас модах. Резонатор, який було досліджено, складався з двох паралельних дзеркал — добре відомий резонатор Фабрі—Перо, проте зі спеціально підібраними розмірами» [14, с. 471].

Щодо активного середовища для лазерів, то тут єдина вимога полягала в тому, щоб існував верхній енергетичний стан робочого переходу, в який можна накачати атоми, та нижній, в який вони переходять в результаті спонтанного випромінювання фотонів. І пошуки матеріалів, які б правили за активне середовище для лазерів, фактично є пошуком елементів, що мають атомні стани з певним набором енергетичних рівнів. Лазерними матеріалами, які необхідно накачувати для одержання лазерного ефекту, можуть бути кристали, скло, гази, рідини, плазма тощо. У 60-х роках розширився не тільки перелік відкритих нових лазерних матеріалів, але і способів їх генерації. Слово «лазер» походить від перших літер англійських слів, що означають підсилення світла індукованим випромінюванням. Лазери — джерела когерентного світла, до того ж високого ступеня монохроматичності, направленості та інтенсивності (пікові потужності можуть бути дуже значні).

Перший лазер на кристалі рубіна створено 1960 р. Т. Мейманом [20]. За активну речовину в ньому правив кристал рубіна (окис алюмінію Al_2O_3 з домішками 0,05% тривалентного хрому Cr), що мав форму стержня завдовжки 4 см і діаметром 0,5 см зі старанно відполірованими паралельними торцями, вкритими дзеркальними шарами. З одного боку дзеркальний шар частково міг пропускати випромінювання назовні, тобто був напівпрозорим. Як інтенсивне джерело збудженого світла використовували потужну імпульсну ксенонову лампу, яка обвивала спіраллю рубіновий стержень. Світло від лампи «переводило» атоми хрому у збуджений стан (на верхні рівні). Фотони, випромінювані при переходах (за трирівневою схемою), багатократно відбивалися від дзеркальних торців, зумовлюючи все нові й нові акти випромінювання, породжуючи нові й нові фотони. Внаслідок цього наростала фотонна лавина, яка зрештою пробивалася крізь напівпрозорий торець у вигляді імпульсу — вузького монохроматичного пучка світла. На кінці стержня спалахував червоний промінь. У такому промені зосереджується величезна потужність. Лазер Меймана започаткував цілу сім'ю лазерів, що використовують кристали та скло з домішками і діють

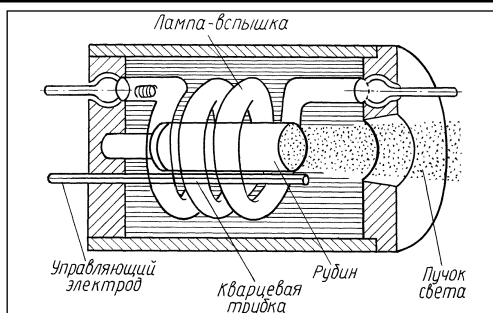


Схема рубінового лазера

в хвильовому інтервалі від ближньої інфрачервоної ділянки до оптичної. У подальшому завдяки розробці відповідної апаратури було одержано дуже високі пікові потужності та короткі імпульси.

У 1960 р. побудовано газовий (гелієво-неоновий) лазер на основі ідеї, висунутої 1959 р. А. Джаваном [21], в якому для збудження використовується електричний розряд (А. Джаван, У. Беннетт (молодший), Д. Ерріотт) [22]. Він також започаткував сім'ю лазерів, що працюють на багатьох різних газах і дають випромінювання від 0,1 мм до ультрафіолета. Серед перших лазерів саме газові були більш монохроматичними порівняно з твердотільними, проте ефективність обох цих типів була дуже низькою — енергія на виході становила ~1% від споживчої. Однак вже в 1962 р. останнє обмеження вдалося подолати завдяки створенню нового класу лазерів — напівпровідникових, що використовували особливості переходів у цих матеріалах, зокрема можливість здійснення генерації в широкому діапазоні за допомогою різноманітних методів її реалізації зі значним коефіцієнтом підсилення (к.к.д.). У 1959 р. ідею напівпровідникового лазера висунули М.Г. Басов, Б.М. Вул і Ю.М. Попов [23], а в наступному році М.Г. Басов, О.М. Крохін і Ю.М. Попов розробили



А. Шавлов



Т. Мейман

принципи використання напівпровідників у лазерах та методи їх створення [24]. Перший напівпровідниковий лазер на основі $p-n$ -переходів з використанням арсеніду галію GaAs було побудовано групою Р. Холла в США [25]. У тому ж році його також створили там в інших лабораторіях [26]. Важливим кроком у розвитку лазерів стала розробка Ж.І. Алфьоровим і Г. Кремером концепції лазера на подвійній гетероструктурі (ПГС) [27, 28].

«У нашому патенті ми також зазначили можливість досягнення високої густини інжекттованих носіїв та інверсної заселеності з допомогою подвійної інжекції, — писав Ж.І. Алфьоров. — Ми особливо звернули увагу на те, що лазери на гомопереходах не забезпечують безперервний режим генерації при високих температурах і як додаткову перевагу ПГС-лазерів розглянули можливість збільшення випромінювальної поверхні й використання нових матеріалів для одержання випромінювання в різних ділянках спектра» [29, с. 1073].

У 1966 р. Ж.І. Алфьоров передбачив ефект суперінжекції, відкрив його в 1968 р. експериментально, а також підтвердив унікальні інжекційні властивості широкозонних емітерів, продемонструвавши індуковане випромінювання в ПГС AlGaAs_3 , та створив значну частину приладів, в яких реалізовано основні переваги гетероструктур, зокрема низькопорогові ПГС-лазери, що працюють при кімнатній температурі. За розробку напівпровідникових гетероструктур, які дістали широке використання у високочастотній електроніці та оптоелектроніці, Ж.І. Алфьорову та Г. Кремеру присуджено Нобелівську премію з фізики 2000 р.

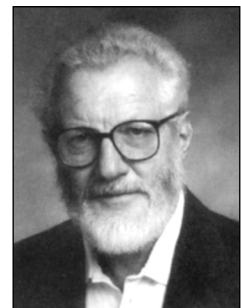
У 1964 р. побудовано молекулярний лазер (К. Пател) і лазер на швидких

електронах (М.Г. Басов), 1965 р.— хімічний лазер (Дж. Піментел, Дж. Касперс), 1966 р.— лазер на органічних барвниках (П. Сорокін, Дж. Ланкард) та ін. Отже, розроблено цілі класи різних лазерів з певними характеристиками і призначеннями, в широкому спектральному діапазоні [30]. А. Шавлов невдовзі після побудови першого лазера в 1961 р. зазначав: «Перелік можливих застосувань оптичних мазерів може бути розширено майже необмежено. З появою оптичного мазера керування світлом досягло зовсім нового рівня. Однак одна з найпривабливіших перспектив для працюючих у цій галузі полягає в тому, що новий ступінь управління відкриє такі можливості використання світла, які до цього навіть не уявлялися у сні» [30, с. 16].

У наступні роки зусилля дослідників було спрямовано на удосконалення «старих» і створення квантових приладів нових типів, що працюють у нових діапазонах частот, на підвищення їх потужності, к.к.д., розширення галузі їх використання. Майже відразу після створення лазерів їх почали використовувати в науці, техніці та медицині. Так, Д. Нельсон і Р. Коллінс провели експеримент з одержання інтерференції на двох щілинах за допомогою світла від рубінового лазера. Дослід показав, що світлові хвилі, вийшовши через



Ж. Алфьоров



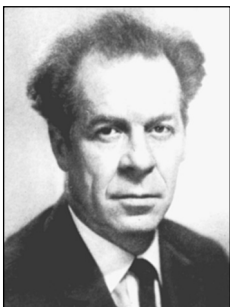
Г. Кремер

щілини, справді когерентні й, падаючи на екран, підсилюють або гасять одна одну, оскільки проходять різні шляхи, та утворюють на екрані відповідну інтерференційну картину. Використовуючи лазери, А. Джаван зі співробітниками повторив дослід Майкельсона—Морлі з більш високою точністю.

Лазери почали широко використовувати як у суміжних фізичних напрямках, так і у власне лазерній фізиці, зокрема для вивчення атомних спектрів. При цьому було відкрито чимало цікавих явищ. У 1962 р. Е. Вудбері та У. Нг виявили ефект вимушеного комбінаційного розсіяння світла, на основі якого та з використанням накачки лазерним випромінюванням було побудовано комбінаційний лазер, або Раман-лазер (Р. Терхьюн, 1963 р.). У 1963 р. У. Лемб (молодший), проаналізувавши докладно роботу газового лазера, передбачив на оптичних частотах у центрі атомної лінії провал у вихідній потужності (провал Лемба). Того ж року його зареєстрували У. Беннетт, Р. Макфарлейн і У. Лемб. Метод спостереження «провалу Лемба» дістав широке використання в експерименті, зокрема в спектроскопічних дослідженнях. Вже в тому ж 1963 р. А. Джаван і А. Сьоке показали, що вузький резонансний провал, вільний від доплерівського розширення, при

не надто низьких тисках газу чутливий до зіштовхувального розширення. Тоді ж П. Лі і М. Скольник (1963) передбачили «зворотний провал Лемба», коли в центрі лінії поглинання спостерігається пік у вихідній потужності лазера. Вузькі, вільні від доплерівського розширення оптичні резонанси, що проявляються в провалах Лемба, було використано для стабілізації частоти лазерного випромінювання. Отже, провали, пов'язані з насиченням, використовуються для усунення доплерівського розширення та стабілізації частоти лазерів [30].

Протягом 60-х років розширювався перелік робочих середовищ, використовуваних у лазерах, а також методів їх збудження. А створення лазерів на органічних барвниках дало змогу одержувати генерацію зі смугою випромінювання до 100 Å і більше. У 1964 р. було побудовано волоконні лазери. Невдовзі фізики дійшли висновку, що найкращим високоефективним джерелом для накачки широкосмугових лазерів може бути інший лазер. У 1968 р. Т. Хьонш і П. Тошек для вивчення впливу насичення всередині лазера на розподіл молекул використали промінь іншого лазера, який працював на суміжному переході. Отже, фізика і техніка лазерів зайняли гідне місце в структурі сучасної науки і техніки.



В.Л. Броуде



М. Шпак



М. Бродін



М. Соскін

Дослідження з цих напрямків відразу було започатковано і в Україні. Їх розвитку активно сприяла А.Ф. Прихотько в Інституті фізики АН України. Так, у 1962 р. А.Ф. Прихотько, В.Л. Бродуде, В.С. Машкевич, М.С. Соскін теоретично обґрунтували можливість одержання генерації на електронно-коливальних переходах органічних молекул у всьому оптичному діапазоні. Було одержано (1966—1967) генерацію від великої групи нових ефективних сполук класу поліметилових барвників і показано їх перспективність для одержання генерації в усій ближній інфра-

червоній області спектра (М.Т. Шпак, Є.А. Тихонов). У 1965 р. М.С. Бродіним зі співробітниками вперше створено лазери на ряді змішаних напівпровідників, що дозволило забезпечити частотну перебудову генерації у всій видимій і ближній ультрафіолетовій областях спектра. Показано, що основним каналом їх генерації є екситонні переходи. У 1965—1966 рр. М.С. Соскін створив перестроювальні лазери на кристалі рубіна і неодимовому склі. У подальшому лазерні роботи дістали в інституті бурхливий самостійний розвиток.

1. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов.— М.: Наука, 1965—1967.— 4 т.
2. *Дирак П.* Собрание научных трудов.— М.: Физматлит, 2002—2004.— 4 т.
3. *Дунская И.М.* Возникновение квантовой электроники.— М.: Наука, 1974.
4. *Rabi I., Zacharias J., Millman S., Kusch P.* // *Phys. Rev.* — 1938. — **53**. — P. 318; 1939. — **55**. — P. 524.
5. *Таунс Ч., Шавлов А.* Радиоспектроскопия.— М.: Изд-во иностр. л-ры, 1959.
6. *Завойский Е.К.* // *Phys. USSR.* — 1945. — **9**, N3. — P. 245.
7. *Purcell E., Torrey H., Pound R.* // *Phys. Rev.* — 1946. — **69**. — P. 37.
8. *Purcell E., Pound R.* // *Phys. Rev.* — 1951. — **81**. — P. 279.
9. *Кастлер А.* Оптические методы изучения низкочастотных резонансов (Нобелівська лекція з фізики 1966 р.) // *УФН.* — **93**, вып. 1. — С. 5—18.
10. *Kastler A.* // *J. de Phys.* — 1950. — **11**, 255.
11. *Бутаева Ф.А., Фабрикант В.А.* О среде с отрицательным коэффициентом поглощения // Исследования по экспериментальной и теоретической физике.— М.: Изд-во АН СССР, 1959. — С. 62.
12. *Басов Н.Г., Прохоров А.М.* // *ЖЭТФ.* — 1954. — **27**. — С. 431.
13. *Gordon J.B., Zeiger H.J., Townes Ch.H.* // *Phys. Rev.* — 1954. — **95**. — P. 282.
14. *Таунс Ч.* Получение когерентного излучения с помощью атомов и молекул (Нобелівська лекція з фізики 1964 р.) // *УФН.* — 1966. — **88**, вып. 3. — С. 461—483.
15. *Прохоров А.М.* Квантовая электроника (Нобелівська лекція з фізики 1964 р.) // *УФН.* — 1965. — **85**, вып. 4. — С. 599—604.
16. *Басов Н.Г.* Полупроводниковые квантовые генераторы (Нобелівська лекція з фізики 1964 р.) // *УФН.* — 1965. — **85**, вып. 4. — С. 585—598.
17. *Басов Н.Г.* О квантовой электронике.— М.: Наука, 1987.
18. *Schawlow A., Townes Ch.* // *Phys. Rev.* — 1958. — **112**. — P. 1940.
19. *Прохоров А.М.* // *ЖЭТФ.* — 1959. — **34**. — С. 1658.
20. *Maiman T.* // *Nature.* — 1960. — **187**. — P. 493.
21. *Javan A.* // *Phys. Rev. Lett.* — 1959. — **3**. — P. 87.
22. *Javan A., Bennett W.R. (Jr), Herriott D.* // *Phys. Rev. Lett.* — 1961. — **6**. — P. 106.
23. *Басов Н.Г., Вул Б.М., Понив Ю.М.* // *ЖЭТФ.* — 1959. — **37**. — С. 585.
24. *Басов Н.Г., Крохин О.Н., Попов Ю.М.* // *УФН.* — 1960. — **72**. — С. 161.
25. *Hall R.N. et. al.* // *Phys. Rev. Lett.* — 1962. — **9**. — P. 366.
26. *Nathan N., Dumke W. et. al.* // *Appl. Phys. Rev. Lett.* — 1962. — **1**. — P. 62.

-
27. Алферов Ж.И., Казаринов Р.Ф. Полупроводниковый лазер с электрической накачкой. — Автор. свид. №181737 (заявлено 30.03.1963).
28. Kroemer H. // Proc. IEEE. — 1963. — 51. — P. 1782.
29. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии (Нобелівська лекція з фізики 2000 р.) // УФН. — 2002. — 172. — С. 1068—1086.
30. Лазеры. — М.: Наука, 1977.

Одержано 31.08.2010

Ю.А. Храмов

50-летний лазер: предыстория, создание, последствия

Раскрыты условия возникновения новых направлений физики и ее приложений — квантовой электроники и физики лазеров, в частности непосредственно история создания мазеров и лазеров, а также их значение для дальнейшего развития физики.

О.В. Романець

Євгеніка в 20-х роках ХХ ст. в Україні

Висвітлено розвиток євгенічних поглядів в працях вітчизняних вчених та науковців-медиків в 20-х роках ХХ ст. Показано вплив цих ідей на формування в Україні закладів медико-генетичного спрямування, розвиток профілактичної медицини, становлення санітарно-гігієнічної служби.

Висвітленню питань формування та впровадження євгенічних ідей у різних країнах присвячено багато оглядових, історико-наукових публікацій зарубіжних та російських авторів [1—6]. Безумовно, цю тематику не можна вважати зовсім не розробленою і в Україні, де виходили друком праці з історії медичної генетики [7—9], збірки і статті, присвячені окремим персоналіям, що здійснили внесок у розвиток даної галузі [10-13] тощо. Однак, на нашу думку, цілісного дослідження впливу євгеніки на розвиток генетики, медицини, біоетики в Україні не здійснювалось. Євгеніка, що об'єднувала

уявлення наукового, соціального, політичного, філософського гатунків, передувала розвитку медичної генетики як окремого наукового напрямку. Особливо бурхливо вона розвивалась в 20-ті роки ХХ ст., однак мала надзвичайний вплив на подальший розвиток науки, а деякі її аспекти у вигляді медичної генетики, біоетики, санітарії та гігієни, профілактичної медицини, планування сім'ї розвиваються і нині. Термін «євгеніка», попри те, що саме це явище вже давно належить минулому, донині дуже поширений і вживаний та уособлює одну з найбільш фарсових і трагічних сторінок розвитку людства.

© О.В. Романець, 2010