

УДК 535.214

## ЛАЗЕРНИЙ ПІНЦЕТ

Студ. М. О. Єрмакова, гр. БА 1 - 18  
 Науковий керівник доц. І. В. Олейнікова  
 Київський національний університет технологій та дизайну

Дана робота присвячена дослідженню властивостей сучасних лазерних технологій та можливість їх використання для моделювання структур, що складаються з одиничних клітин або білкових молекул. В той саме час був розроблений спосіб отримувати дуже швидкі і потужні лазерні імпульси, які можуть випаровувати тверді матеріали.

Основною задачею даною роботи став аналіз сучасних досягнень в галузі лазерних технологій з майбутнім використанням для моделювання наноструктур. Саме відкриття фемтосекундних лазерів дозволило створити такий унікальний пристрій, як лазерний пінцет.

Основні напрямки розвитку лазерних технологій можна поділити на два основних. Перший з них - це збільшення потужності лазерного випромінювання шляхом посилення чірпірованих імпульсів. Другий напрямок пов'язаний з використанням лазерних променів, тобто потоків поляризованого і вузькоспрямованого світла, які можуть як мікроскопічні щипці, захоплювати фізичні об'єкти розміром всього декілька мікронів і маніпулювати ними.

До відкриття лазерного пінцету фізики давно знали про відкритий Лебедевим тиск світла. Світло тисне на частки, і ідея полягала в тому, що всередині лазерного пучка мали виникати сили, що діють на мікроскопічний об'єкт і внаслідок цього будуть підштовхувати його до середини променя і, таким чином, утримувати на місці. Промінь світла - це електромагнітна хвиля, тобто коливання електричного (і магнітного) поля. В електричному полі при проходженні хвилі виникають області як меншою, так і більшою напруженості, а закони електромагнетизму свідчать, що внесена в промінь частка виявиться наелектризована і буде рухатися в бік більшої напруженості поля, тобто по градієнту. Так як в центрі пучка виникають найбільші значення напруженості поля (рис.1), то саме туди і зсуваються в результаті не надто великі (до 10 мікрометрів в діаметрі) об'єкти. Якщо ще направити два променя назустріч один одному, то предмет до того ж не буде «здувати» тиском світла.

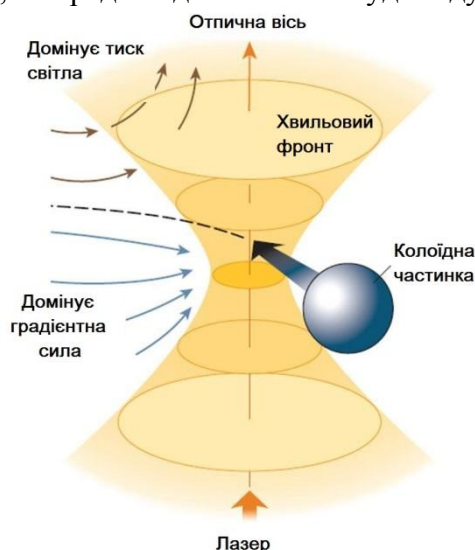


Рисунок 1 – Пастка для атомів в центрі лазерного пучку

Ця конструкція носить назву оптичної пастки, і в ній при певних умовах можна підвісити навіть окремі атоми. Пастка для атомів, втім, суттєво відрізняється від лазерного



пінцета хоча б тим, що працює у вакуумі. Пінцет ж може маніпулювати об'єктами навіть всередині рідини, тобто їм можна підчепити живу клітину. Різні клітини мають різні оптичні властивості, тому один і той же пінцет буде по-різному з ними взаємодіяти. Відповідно, на цьому принципі можна зібрати автоматичну установку для сортування клітин і отримання однорідного зразка з наявної в розпорядженні суміші. А недавно з штучних мікроскопічних бульбашок біологи за допомогою лазерного пінцета зібрали цілу мережу, яка може стати основою для складних біохімічних систем - від штучних клітин до діагностичних пристроїв. Можна сміливо сказати, що оптичний пінцет Ешкіна дозволив доторкнутися до того, що до цього доторкнутися було просто неможливо. Зрушити бактерію на кілька мікрометрів в сторону, потикати в живу клітину для визначення механічних властивостей (пружності, наприклад) і при цьому не пошкодити її - такі завдання або не вирішувалися традиційними маніпуляторами зовсім, або вирішувалися з набагато більшими труднощами. Крім того, оптичним пінцетом можна дуже точно і при цьому дбайливо утримувати об'єкт, що вивчається на одному місці, а це в поєднанні з флуоресцентними мітками (окремими молекулами) дозволяє стежити, наприклад, за поведінкою навіть не конкретних біологічних молекул, а буквально окремих їх частин. Для вчених, які хочуть вивчати будь-якої внутрішньоклітинний процес на молекулярному рівні, оптичний пінцет виявляється в ряді випадків чимось на зразок лещат для майстра: чи не закріпивши деталі, роботи не зробиш.

Друга проблема розвитку лазерних технологій полягала в наступному. При досягненні певного рівня потужності світло починає самосфокусуватися, збиратися в компактний джгут. У цьому джгуті виникають плазмові згустки, здатні пропалити дзеркала, лінзи та інші елементи лазера. Рішення «зробити імпульс більш тривалим, посилити його і потім знову стиснути» було реалізовано фізиками в своєму піонерському експерименті: вони спочатку подовжували імпульс, робили його розтягнутим у часі і не настільки інтенсивним, а потім направляли його в підсилювач і потім на дифракційну решітку, яка знову скорочувала тривалість імпульсу.

Порівняно скромна енергія, поділена на вкрай малий час і розподілена по дуже малої площі, дає фантастичну потужність: сучасний імпульсний лазер може видати кілька петаватт, тобто на частки секунди потужність випромінювання перевищує сумарну потужність електростанцій Землі в тисячі разів.

Поява надкоротких лазерних імпульсів дозволило в тому числі створити абсолютно нові способи обробки матеріалів за допомогою контрольованого випаровування ділянок поверхні. «Коли у вас лазерний імпульс потрапляє на поверхню, він завжди її нагріває, і це нагрівання зачіпає не тільки те плямочка, куди його сфокусували, а й околиці - він її псує. А надкороткі імпульси просто не встигають нагріти зайвого; це новий метод, за допомогою якого можна створювати матеріали з впорядкованими структурами на поверхні.

У висновку хотілось б зазначити, що розвиток лазерних технологій залишається одним з пріоритетних напрямків розвитку фізики. Лазерний пінцет може стати основним інструментом у моделюванні атомних структур, що принесе значний прогрес наноіндустрії. Відомі раніше імпульси наносекундних лазерів створювали хвилі, що призводили руйнування матеріалів поблизу кінця лазерного промені. Ультракорткі та інтенсивні імпульси фемтосекундних лазерів значно зменшують це руйнування, що значно розширює межі їх застосування у медицині та в процесі зберігання даних.

**Ключові слова:** фемтосекундний лазер, лазерний пінцет, підсилення інтенсивності лазерного випромінювання, пастка для атомів.