

УДК 535.214

ОПТИЧНИЙ ПІНЦЕТ: ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ЙОГО РОБОТИ ТА ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ

Михайленко Я.Р.

Науковий керівник – доцент Чубукін Олександр Сергійович
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. фізики,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 271-49-04.

+38(068) 884-58-08, e-mail: oleksandr.chubukin@nure.ua

This work is devoted to the study of the physical operation principles of the optical instrument called optical tweezers, which allows to manipulate microscopic objects by means of laser light. The paper discusses the background to the emergence of optical tweezers, the physical principles on which their operation is based and the main types of optical traps used in such instruments. In addition, the main fields of application of optical tweezers are shown, as well as the prospects for their development.

Завдання утримання малих (порядку десятків мікрон) розмірів частинок і переміщення їх за необхідною траєкторією є досить актуальним у біології, біохімії, біофізиці та медицині. Для цих цілей у біо- і нанотехнологіях використовують інструмент, відомий під назвою "оптичний пінцет" (лазерний пінцет, оптична пастка), який за допомогою гостро сфокусованого пучка світла здатний утримувати мікрочастинки з діелектричних матеріалів [1].

Оптична маніпуляція й утримання частинок за допомогою лазерів ґрунтується на явищі тиску світла, коли випромінювання розглядається як потік частинок. Відомо, що фотон несе в собі імпульс $p=h/\lambda$, і під час його взаємодії з речовиною може відбуватися обмін їхніми імпульсами, у результаті чого світло змінює напрямок поширення. Це означає, що виникає результуюча сила, пов'язана з цією зміною, і за певних умов мікрочастинка, що змінила напрямок світлового потоку, піддається дії сил, які спрямовані в область підвищеної інтенсивності. До таких сил належать: *сила розсіювання* - сила, що виникає під час зміни імпульсу світла під час його проходження через речовину, *та градієнтна сила* - сила, що діє на мікрочастинку і збігається з напрямком градієнта інтенсивності поля.

Спільно ці сили можуть діяти на частинки, розмір яких набагато менший за довжину хвилі випромінювання. При цьому об'єкти, діелектрична проникність яких більша, ніж навколишнє середовище притягуються в область високої інтенсивності. Якщо ж діелектрична проникність мікрочастинок менша, то вони, навпаки, виштовхуються з цієї області. Металеві частинки відбивають світло і тому не розглядаються як об'єкти захоплення

Фізичний принцип роботи лазерного пінцета наступний. Якщо розглядати мікрочастинку як діелектричну сферу з діаметром меншим за довжину хвилі лазерного випромінювання ($d < \lambda$), то при зміщенні сфери від центру пучка (рис 1.а) найбільша зміна імпульсу променів з більшою інтенсивністю викличе появу результуючої сили, спрямованої до центру пастки), під дією якої сфера зміщуватиметься до центру пучка. Коли сферу розташується в центрі пучка, як показано на малюнку (рис 1.б), сила буде спрямована вздовж центральної лінії світлового пучка і частка перестане зміщуватися.

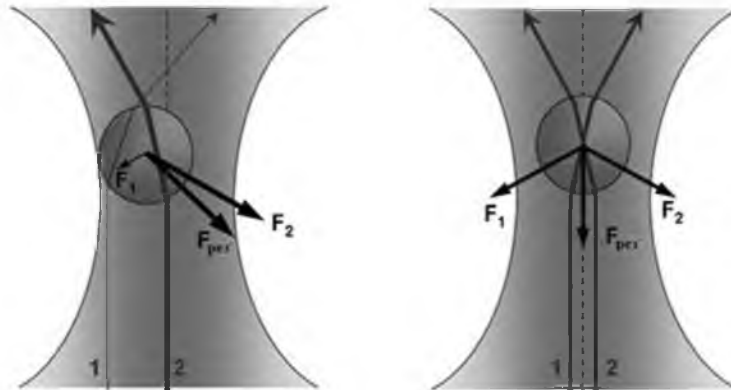


Рисунок 1 – Фізичний принцип роботи лазерного пінцету.

Даний фізичний принцип використовується в роботі основних типів оптичних пасток, до яких відносяться, однопучкові 2-D і 3-D пастки, а також двопучкова 3-D пастка, яка використовує для захоплення мікрочастинок два зустрічні гаусівські пучки [2].

Основними галузями застосування оптичних пінцетів є атомна фізика, біологія, мікрочірургія, нанотехнології та мікромеханіка. Так наприклад в біофізиці за допомогою лазерних пінцетів відбуваються маніпуляції с живими вірусами, бактеріями, та окремими молекулами ДНК. Поєднання оптичних пінцетів з використанням інших лазерних пучків, дозволяє використовувати їх в мікрочірургії. Так наприклад, можливо, захопити окрему хромосому та розрізати на її на шматочки для подальшого аналізу. Для захоплення застосовується інфрачервоний лазер-пастка (1064 нм), а розрізання як відбувається зеленим (532 нм) лазером [3]. Такий пристрій називається "оптичним скальпелем".

Список використаних джерел:

1. Лазерні щипці – Вікіпедія. Вікіпедія – Вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Лазерні щипці](https://uk.wikipedia.org/wiki/Лазерні_щипці).
2. Ashkin A. Optical trapping and manipulation of neutral particles using lasers /A. Ashkin. – Singapore: World Scientific, 2006. – P. 439.
3. Dynamic trapping and manipulation of biological cells with optical tweezers /X. Li, C. C. Cheaha, S. Hub, et al. // Automatica. – 2018. – Vol.49. – I. 4. –P. 1058–1067.