

діяльність заснована не тільки на знанні свого предмета і володінні методикою викладання, а й на глибокому розумінні вікових етапів розвитку людини.

Список використаних джерел

1. Колісник В. Використання інтерактивної дошки на уроках фізики / Василь Колісник. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://timso.koippo.kr.ua/hmura11/>
2. Silveistr A. Use of the interactive whiteboard at physics lessons for students of non-physical specialties of pedagogical universities / A. Silveistr, M. Mokliuk. // Social and legal aspects of the development of civil society institutions: collective monograph.– Warsaw: BMT Erida Sp.zo.o., 2019. - Part I. – P. 47-60.

AGE PECULIARITIES OF THE USE OF INTERACTIVE WHITEBOARD FOR PHYSICS

Abstract. *The article examines the possibilities of studying physics in institutions of secondary education on the basis of the use of an interactive whiteboard. Described age characteristics of students and their influence on work with software means of interactive whiteboard.*

Keywords: interactive whiteboard, software interactive whiteboard, computer training programs, visual material, interactivity, visualization.

Юлія Олішевська, Ольга Рябенка, Вікторія Думенко

ФІЗИЧНА СУТЬ МЕТОДУ ОПТИЧНОГО ПІНЦЕТА ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. *У статті проаналізовано фізичну суть роботи оптичного пінцета, який призначений для безконтактного захоплення мікрооб'єктів та маніпулювання ними на основі використання петаватних лазерних імпульсів; описано можливості застосування його в біомедичних дослідженнях, особливо для дослідження клітин, вірусів і бактерій, класифікації і сортування клітин, синтезу клітин, вивчення молекул ДНК.*

Ключові слова: оптичний пінцет, лазер, градієнтна сила, мікрооб'єкти.

Постановка проблеми. 2 жовтня 2018 року, Шведська академія наук присудила Нобелівську премію з фізики «за новаторські винаходи в області лазерів». Половину премії отримав 96-літній американський фізик Артур Ешкін (Arthur Ashkin), що винайшов технологію оптичного пінцета, іншу половину поділять між собою Жерар Муру (Gerard Mourou) і Донна Стрікленд (Donna Strickland), що розробили метод генерації фемтосекундних петаватних лазерних імпульсів [1, 2]. Це відкриття здійснило революцію в лазерній фізиці, а технологію оптичного пінцета члени Нобелівського комітету назвали давньою мрією письменників-фантастів. Оптичний пінцет відкриває широкі можливості для дослідження широкого кола біохімічних і біофізичних процесів, в біофотоніці, в біомедицині, в хімії, в електроніці, нанотехнології і т. д. Останні наукові результати в області лазерного маніпулювання підтвердили можливість використання лазерного пінцета в різних біологічних додатках, таких, як захоплення клітин, бактерій, вірусів, класифікація і сортування клітин, синтез клітин і внутрішньоклітинна хірургія; проводиться велика кількість експериментів з вивчення молекул ДНК, захоплених за допомогою лазерного пінцета, для дослідження сил взаємодії об'єктів на мікромасштабах [3].

Актуальність цього відкриття для біомедичних дослідження є надзвичайною і відкриває нові перспективи.

Мета роботи: описати фізичну суть роботи оптичного пінцету та розглянути перспективи його застосування для досліджень біомедичних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Методом оптичного пінцета називають безконтактне захоплення досліджуваних мікрооб'єктів, таких, як атоми, молекули, клітини (у діапазоні від десятків мікронів до нанометрів), у лазерному пучку, а також маніпулювання положенням цих мікрооб'єктів в просторі [3].

Перші роботи 1970-х років в області оптичного управління і захоплення мікрооб'єктів належать Роберту Ешкіну. У цих роботах були представлені результати спостереження дії сил тиску світла на різні прозорі мікрочастинки, було продемонстровано, що положення прозорих діелектричних мікрочастинок можна змінювати і контролювати, прикладаючи оптичні сили як в воді, так і в повітрі. Була вперше показана експериментальна можливість оптичного захоплення мікрочастинок в тривимірні оптичні пастки, створені як на основі двох лазерних пучків, що поширюються в протилежних напрямках, так і на основі одного жорстко сфокусованого лазерного пучка. Саме такий однопроменевий підхід, що дозволяє управляти положенням мікрооб'єктів, набув широкого поширення і називається методом оптичного пінцета [4, 5].

Можливість маніпулювання захопленими мікрооб'єктами, а також розробка методик з калібрування сил оптичного захоплення для різних мікрооб'єктів дає можливість застосовувати оптичний пінцет для задач, пов'язаних з сортуванням, упорядкуванням або локалізацією одиночних мікрооб'єктів, зважених в рідині і кількісним вимірюванням сил взаємодії фемтоньютонного масштабу між ними.

Унікальною особливістю оптичного пінцета є можливість вивчення властивостей одиночних мікрооб'єктів. Досягається це тим, що, як правило, використовується суспензія частинок без урахування взаємодії з підкладкою, зондом і т. п. Для усунення можливості перегріву і руйнування мікроразривів довжину хвилі лазера вибирають таким чином, щоб речовина захоплюваних об'єктів і навколишнього середовища не поглинала на цій довжині хвилі.

Принцип роботи оптичного пінцета залежить від розміру переміщуваного об'єкта. Якщо $d > \lambda$, то можна використати наближення геометричної оптики, щоб розрахувати траєкторії променів, відбитих заломлених частинкою. Для простоти можна вважати частинку ідеальною сферою (розсіювання Мі). Електромагнітна хвиля, яка розсіяна на частинці, передає їй деякий імпульс - а отже, створює ефективну силу, яка штовхає частинку уздовж градієнта квадрату електричного поля, тобто у бік збільшення інтенсивності світла (тому силу називають градієнтною).

У результаті частинка буде «притискатися» до осі променя, біля якої інтенсивність лазера максимальна. Якщо ж спрямовувати на частинку два лазери, що поширюються в протилежних напрямках, або сфокусувати лазер за допомогою системи лінз, то можна «затиснути» її в трьох вимірах і змусити переміщуватися слідом за точкою фокусування.

Градієнтна сила пояснюється на прикладі дії на плоску мішень площею S , яка бомбардується кульками масою m і швидкостями v , причому концентрація кульок рівна n . Коли кулька пружно відбивається від мішені, вона передає їй імпульс

$$p = 2mv. \quad (1)$$

За час Δt загальний імпульс

$$\Delta P = pn = 2Snmv^2 \Delta t \quad (2)$$

на мішень діє сила

$$F = \Delta P / \Delta t = 2Snmv^2. \quad (3)$$

У випадку оптичного пінцета мішенню є мікрочастинка, а кульками - фотони електромагнітної хвилі. Через складну форму частинки ефективна сила розраховується більш складним способом, однак її природа залишається тією ж.

Якщо ж діаметр мікрочастинки $d < \lambda$, то роботу оптичного пінцета можна пояснити за допомогою наближення електричного диполя. Коли така частинка потрапить в електричне поле лазерного пучка, її заряд перерозподіляється за об'ємом, і в ній наводиться електричний дипольний момент. З іншого боку, енергія диполя, поміщеного в електричне поле, залежить від його орієнтації, отже, у спробі зменшити цю енергію

мікрочастинка буде повертатися й «повзти» уздовж градієнта поля. Тому з боку лазера діє ефективна градієнтна сила [6].

Градієнтна сила пропорційна інтенсивності лазерного випромінювання :

$$F_{grad} = \frac{2\pi\alpha}{cn_m^2} \nabla I_0, \quad \alpha = n_m^2 a^3 \left(\frac{m^2-1}{m^2+2} \right), \quad (4)$$

де α - поляризованість сфери; n_m - коефіцієнт заломлення середовища; I_0 - інтенсивність випромінювання на частинці; c - швидкість світла; a - радіус частинки; m - відношення показника заломлення частинки до показника заломлення середовища.

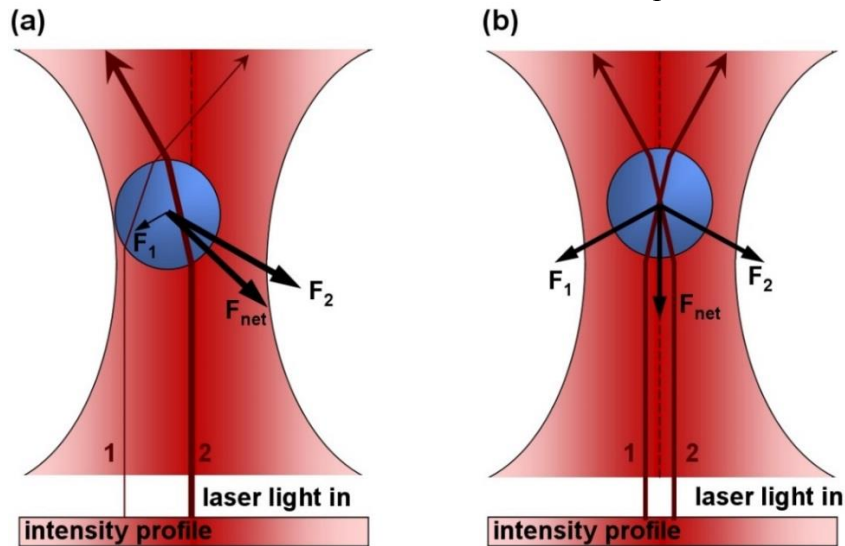


Рис. 1. Схема роботи оптичного пінцета

Градієнтна сила спрямована по градієнту електромагнітного поля, область з найбільшою інтенсивністю світла в області перетяжки лазерного випромінювання, в разі, коли $m > 1$. Другий компонент сили визначається поглинанням і перевипромінювання світла точковим диполем:

$$F_{scatt} = \frac{I_0 \sigma n_m}{c}, \quad \sigma = \frac{128\pi^5 a^6}{3\lambda^4} \left(\frac{m^2-1}{m^2+2} \right), \quad (5)$$

де σ - поперечний переріз розсіювання сфери; λ - довжина хвилі випромінювання лазера [3].

Умову стабільного оптичного захоплення можна записати в такий спосіб:

$$\frac{F_{grad}}{F_{scatt}} = \frac{3\sqrt{3}}{64\pi^5} \frac{n_m^2}{\left(\frac{m^2-1}{m^2+2} \right)} \frac{\lambda^5}{a^3 \omega_0^2} \geq 1. \quad (6)$$

Приклад застосування оптичного пінцету для дослідження біомолекул представлено на рис. 2.



Рис. 2. Вилучення полярного тільця із яйцеклітини

Лазерний пінцет пропонується застосовувати для вимірювання сили взаємодії еритроцитів в агрегаті, що є важливим в реології крові [7].

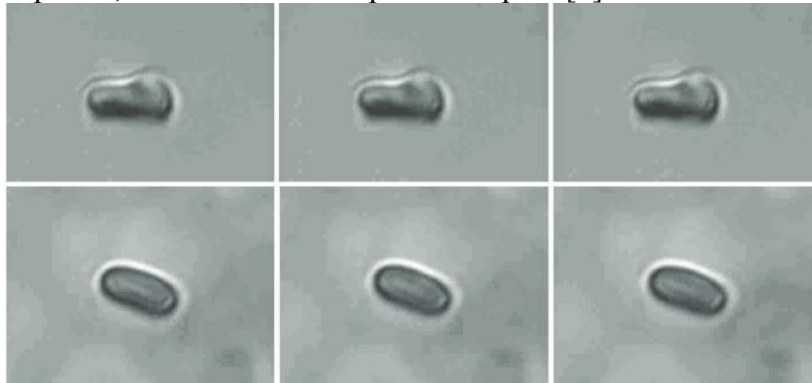


Рис. 3. Еритроцити крові при утриманні лазерним пінцетом [7]

Висновки. Відкриття оптичного пінцета є надзвичайно важливим для вирішення багатьох завдань сучасної біології, хімії, медицини. В перспективі оптичний пінцет дасть можливість здійснити відкриття в галузях біомедичних досліджень.

Список використаних джерел

1. Скальпель и пинцет [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nplus1.ru/material/2018/10/02/laser-nobel>
2. Что такое лазерный пинцет? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-russian-45726540>
3. Минин И.В. Оптические и акустические ловушки // Вестник СГУГиТ, Том 22, № 3, 2017. – С. 194 – 214.
4. Ashkin A. Acceleration and trapping of particles by radiation pressure // Physical Review Letters. 1970. Т. 24. - С. 156–159.
5. Ashkin A., Dziedzic J. M., Bjorkholm J. E., Chu S.. Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles // Optics Letters. 1986. Т. 11 . - С. 288.
6. А. Голубев Оптический пинцет [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nkj.ru/archive/articles/2965/>
7. А. Ю. Маклыгин, А. В. Приезжев, А. В. Карменян, С. Ю. Никитин, И. С. Оболенский, А.Е. Луговцов, К. Ли Измерение силы взаимодействия между эритроцитами в агрегате с помощью лазерного пинцета // Квантовая электроника, 2012, том 42, №6 . – С. 500–504.

PHYSICAL NATURE OF THE METHOD OF OPTICAL PINNOCLE AND ITS APPLICATION FOR BIOMEDICAL INVESTIGATIONS

Abstract. The article analyzes the physical essence of the work of optical pinsetz, which is intended for contactless capture of microobjects and manipulation of them on the basis of the use of petativnyh laser pulses; describes the possibilities of its application in biomedical research, especially for the study of cells, viruses and bacteria, classification and sorting of cells, cellular synthesis, DNA molecule studies.

Key words: optical tweezers, laser, gradient force, microobjects.

Юлія Олішевська, Ангеліна Стороженко, Вікторія Думенко

ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ МЕТОДІВ ТЕПЛОБАЧЕННЯ ДЛЯ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. У статті проаналізовано фізичні основи методу тепlobачення, який ґрунтується на взаємодії електромагнітного випромінювання інфрачервоного діапазону з біотканинами; розглянуто можливості практичного застосування методу для медичної діагностики, зокрема для діагностики пухлинних утворень грудної і щитовидної залоз, захворювань суглобів, уражень сонних артерій і артерій кінцівок, а також порушень венозного кровообігу.

Ключові слова: інфрачервоне випромінювання, тепlobачення, біологічна тканина, термограма.