

4. Cauda V, Pugliese D, Garino N, Sacco A, Bianco S, Bella F, et al. Multi-functional energy conversion and storage electrodes using flower-like zinc oxide nanostructures. *Energy* 2014
5. Yang J., Mei S., Ferreira J.M.F. Hydrothermal synthesis of TiO₂ nanopowders from tetraalkylammonium hydroxide peptized sols // *Materials Science and Engineering: C*. - 2001
6. Sahil Sahni, S. Bhaskar Reddy, B.S. Murty Influence of process parameters on the synthesis of nano-titania by sol-gel route // *Materials Science and Engineering: A*. - 2007
7. Gong D., Grimes C.A., Varghese O.K., Hu W., Singh R.S., Chen Z., Dickey E.C. Titanium oxide nanotube arrays prepared by anodic oxidation // *Journal of Materials Research*. - 2001
8. Zhao L, Yu JG, Fan JJ, Zhai PC, Wang SM. Dye-sensitized solar cells based on ordered titanate nanotube films fabricated by electrophoretic deposition method. *Electrochem Commun* 2009
9. Jiu JT, Isoda S, Wang FM, Adachi M. Dye-sensitized solar cells based on a single-crystalline TiO₂ nanorod film. *J Phys Chem B* 2006
10. Fujihara K, Kumar A, Jose R, Ramakrishna S, Uchida S. Spray deposition of electrospun TiO₂ nanorods for dye-sensitized solar cell. *Nanotechnology* 2007
11. X. Feng, K. Shankar, O.K. Varghese, M. Paulose, T.J. Latempa, C.A. Grimes, Vertically aligned single crystal TiO₂ nanowire arrays grown directly on transparent conducting oxide coated glass: synthesis details and applications, *Nano Lett.* 2008
12. J.B. Baxter, A.M. Walker, K.V. Ommering, E.S. Aydil, Synthesis and characterization of ZnO nanowires and their integration into dye-sensitized solar cells, *Nanotechnology* 2006
13. Brunauer S., Deming L.S., Deming W.S., Teller E. On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases // *Journal of the American Chemical Society*. – 1940

Аманжолова К.А., Баймуханова Б.Н., Карагандинский государственный университет имени академика Е.А.Букетова, физико-технический факультет, студентка гр. ФПК-406
(*Научный руководитель – ф.-м.г.к., доцент Аймуханов А.К.*)

ПОГЛОЩЕНИЕ И ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ ОКСАЗИНА 1 В БЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

В настоящее время активно ведутся исследования, связанные с возбуждением локализованного плазмонного резонанса наночастиц металлов [1, с.206; 2, с.73]. Среди оптических проявлений локализованного плазмонного резонанса наночастиц (НЧ) металлов наиболее известным является гигантское комбинационное рассеяние (ГКР) света [3]. Молекулы люминофоров, помещенные вблизи поверхности НЧ металлов, также испытывают действие локальных электромагнитных полей. При этом в зависимости от расстояния между НЧ и молекулой флуоресценция последних либо усиливается, либо гасится [4, с. 757;]. При близких расстояниях и непосредственном контакте НЧ и флуорофоров свечение гасится из-за преобладания безызлучательного переноса энергии от флуоресцирующих молекул к НЧ.

С практической точки зрения интерес к плазмонному эффекту связан с возможностью созданию высокочувствительных люминесцентных сенсоров [5], оптоэлектронных устройств [6, с. 346], нанолазеров [7], эффективных фотовольтаических ячеек [8, с. 1] и др. Одним из современных перспективных направлений лазерной физики является создание и исследование композитных сред из лазерно-активных молекул и металлических нанокластеров [9]. Есть данные о том, что добавление НЧ металлов в активную среду лазеров на красителях приводит к понижению порога генерации [10, 11].

Наночастицы Ag были получены абляцией серебряной мишени второй гармоникой твердотельного Nd лазера: YAG лазера (1) (SOLAR LQ 215, $\lambda_{ген} = 532$ нм, $E_{имп} = 90$ мДж, $\tau = 10$ нс). Схема установки для получения наночастиц методом лазерной абляции в жидкости представлена на рисунке 1. Излучение лазера направлялось с помощью зеркала (1) и фокусировалось линзой (2) на горизонтально расположенную мишень – пластину серебра (5), находящуюся в кювете с жидкостью (4).

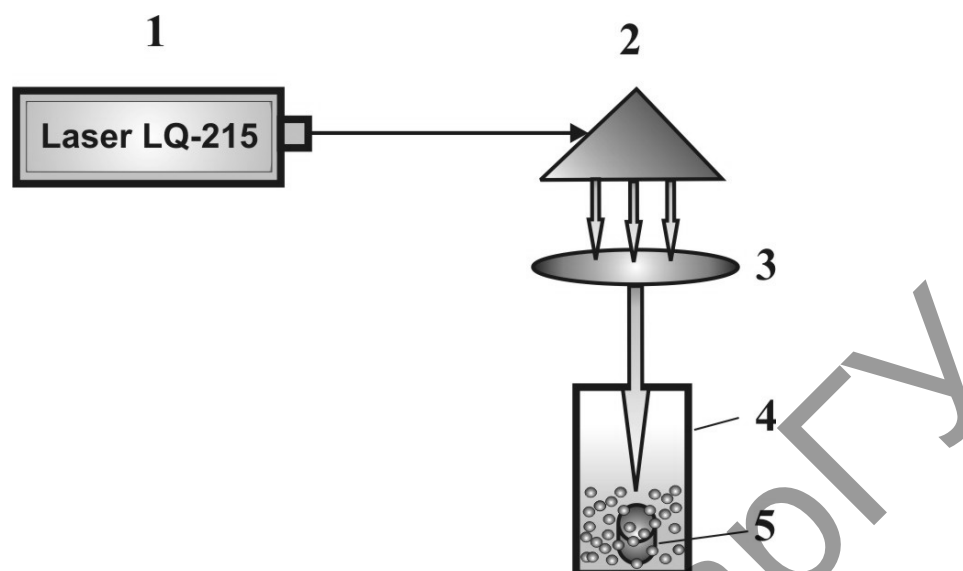


Рисунок 1. Схема установки для получения наночастиц серебра методом лазерной абляции пластины металлического серебра в жидкости

Диаметр луча на поверхности мишени составлял $0,01 \text{ см}^2$. В качестве среды был использован этанол. Концентрация наночастиц Ag определялась по изменению массы мишени до и после абляции и составила $3,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л в течение 10 минут аблирования.

Средние размеры наночастиц Ag были определены методом динамического рассеяния света на анализаторе размера субмикронных частиц Zetasizer Nano ZS.

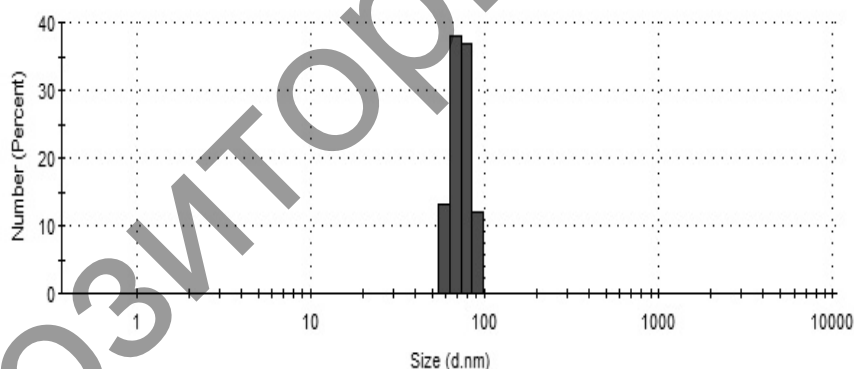


Рисунок 2. Распределение размеров НЧ серебра в этаноле

Измерения показали, что в исследуемой среде средний размер наночастиц составляет 85 нм.

Морфология поверхности наночастиц исследовалась на электронном микроскопе Tescan Mira 3MLU. Для получения микроскопических снимков взвесь наночастиц в жидком растворителе наносилась на поверхность подложки из стекла покрытого проводящим слоем оксида индия и олова (ITO). Затем подложка высушивалась в термическом шкафу в течении 20 минут. По мере испарения растворителя на поверхности подложки наночастицы группируются в агломерированные наноструктуры, которые состоят из множества скоплений одиночных наночастиц. Установлено, что в исследуемом растворителе наблюдается преимущественно сферическая форма наночастиц.

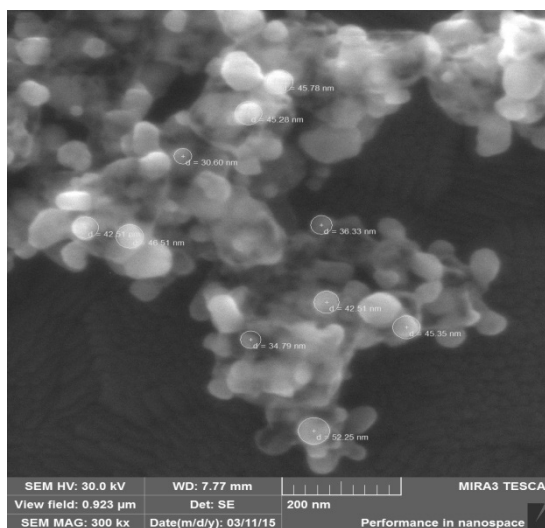
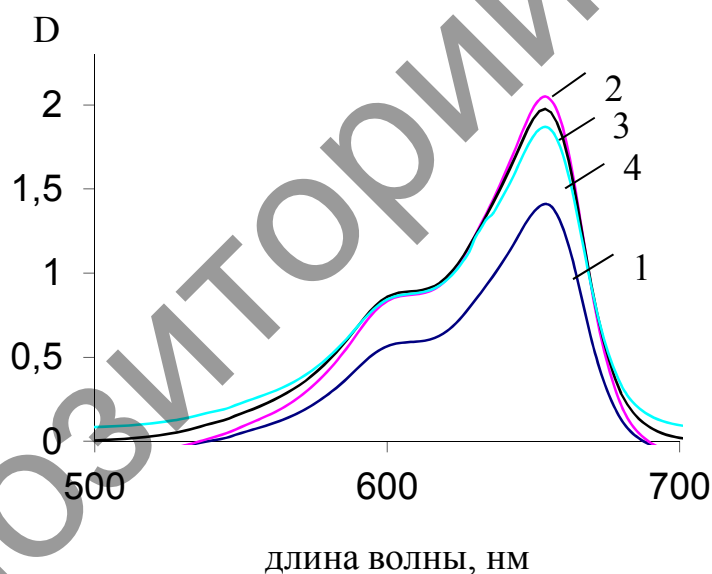


Рисунок 3. Микроскопические снимки наночастиц серебра

Регистрация спектров поглощения и флуоресценции исследуемых образцов осуществлялась на спектрометре Solar CM2203. Спектры поглощения НЧ Ag были измерены в кварцевой кювете толщиной 10 мм относительно кюветы с этанолом. При измерении зависимости спектров поглощения красителя от концентрации НЧ в кювету сравнения наливались этанольные растворы НЧ серебра соответствующей концентрации.



1 – 0; 2 – $2 \cdot 10^{-6}$ моль/л; 3 – $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 4 – 10^{-5} моль/л;

Рисунок 4. Спектры поглощения оксазина 1 в этаноле при разных концентрациях наночастиц серебра

На рисунке 4 показаны спектры поглощения молекул оксазина 1 в присутствии НЧ серебра при разных концентрациях. При малых концентрациях НЧ серебра наблюдается небольшое увеличение поглощательной способности раствора красителя. При добавлении в окрашенный раствор ($C_{кр} = 10^{-5}$ моль/л) НЧ серебра концентрации 10^{-5} моль/л величина оптической плотности в полосе поглощения оксазина 1 увеличивается в 1,5 раза. Дальнейшее увеличение НЧ в растворе приводит к падению оптической плотности в полосе поглощения красителя. При этом положение максимума полосы поглощения и ее полуширина не меняются.

На рисунке 5 показана зависимость оптической плотности в максимуме поглощения оксазина 1 от концентрации НЧ серебра. Из рисунка видно, что интенсивность поглощения красителя растет

вплоть до концентрации НЧ $C_{Ag} = 10^{-5}$ моль/л, а дальнейшее увеличение C_{Ag} приводит к уменьшению оптической плотности раствора.

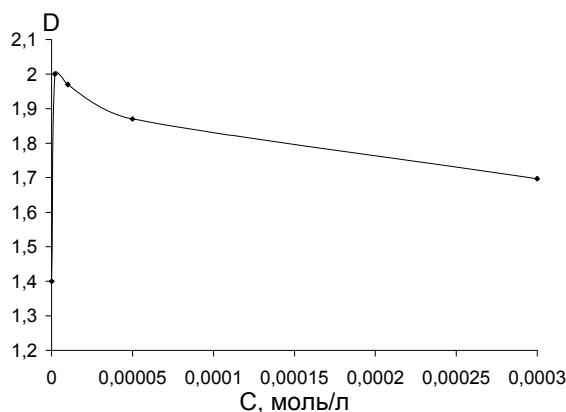
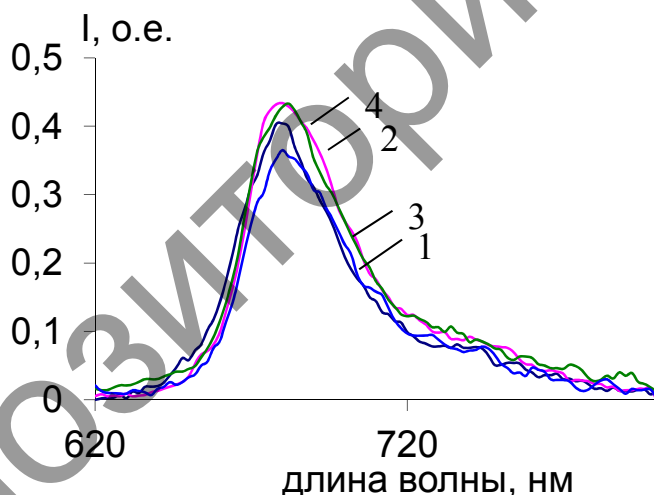


Рисунок 5. Влияние наночастиц серебра на оптическую плотность в максимуме оксазина 1

При фотовозбуждении этанольного раствора красителя длиной волны 500 нм концентрации 10^{-5} моль/л наблюдается спонтанная флуоресценция оксазина 1 с максимумом спектра на $\lambda_{\max} = 680$ нм и полушириной полосы $\Delta\lambda_{1/2}^{\text{полг}} = 34$ нм.

При добавлении в этанольный раствор оксазина 1 НЧ серебра интенсивность флуоресценции красителя зависит от концентрации НЧ Ag. Интенсивность свечения красителя растет вплоть до концентрации НЧ $C_{Ag} = 10^{-5}$ моль/л, а дальнейшее увеличение C_{Ag} приводит к тушению флуоресценции (рисунок 6). Положение максимума полосы и ее полуширина не меняются.



1 – 0; 2 – $2 \cdot 10^{-6}$ моль/л; 3 – $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 4 – 10^{-5} моль/л;

Рисунок 6. Спектры флуоресценции оксазина 1 в этаноле при разных концентрациях наночастиц серебра

На рисунке 7 показана зависимость интенсивности флуоресценции в максимуме оксазина 1 от концентрации НЧ серебра. Из рисунка видно, что интенсивность флуоресценции красителя растет вплоть до концентрации НЧ $C_{Ag} = 10^{-5}$ моль/л, а дальнейшее увеличение C_{Ag} приводит к тушению флуоресценции раствора красителя.

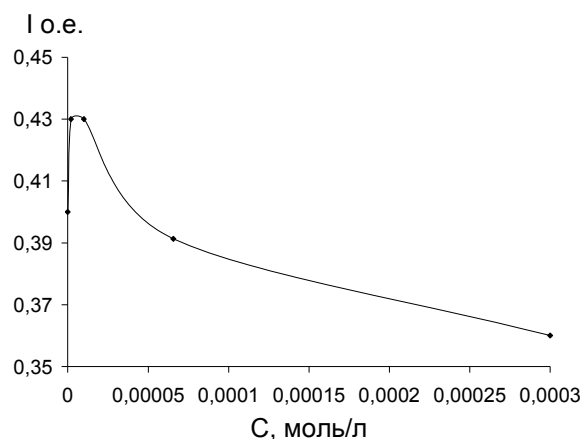


Рисунок 7. Влияние наночастиц серебра на интенсивность флуоресценции в максимуме оксазина 1

Согласно [12, с. 113002; 2, с. 203] причиной усиления флуоресценции молекул вблизи НЧ металлов является увеличение скорости возбуждения флуоресценции из-за ЛПР. В то же время при расположении молекул вблизи металлической поверхности или в контакте с ней происходит безызлучательный перенос энергии от молекул к НЧ, что приводит к уменьшению вероятности излучательного распада возбужденных молекул.

При низких концентрациях НЧ Ag, когда НЧ и молекулы красителя достаточно далеки друг от друга, наблюдаемое увеличение флуоресценции оксазина 1 связано с плазмонным резонансом НЧ серебра. При больших концентрациях НЧ Ag из-за уменьшения расстояния между флуорофорами и НЧ доминирует безызлучательная дезактивация возбужденного флуоресцентного состояния.

Интенсивность флуоресценции в растворах с НЧ серебра может увеличиться и вследствие дополнительного поглощения молекулами красителя возбуждающего излучения, рассеянного НЧ серебра. Однако, при высоких концентрациях НЧ, определяющим видимо, является безызлучательный канал распада возбужденных молекул.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при добавлении в этанольный раствор оксазина 1 НЧ серебра интенсивности поглощения и флуоресценции красителя увеличиваются. Максимум интенсивностей поглощения и свечения наблюдаются при концентрации НЧ 10^{-5} моль/л. Дальнейшее увеличение концентрации НЧ приводит к тушению поглощения и свечения.

Литература:

1. Климов В.В. Наноплазмоника. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 480 с.
2. Майер С.А. Плазмоника: теория и приложения. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 296 с.
3. Tian Z.Q. Surface-enhanced raman spectroscopy: advancements and applications // *J. Ram. Spect.* – 2005. – Vol. 36, № 6. – P. 466–470.
4. Герман А.Е., Гачко Г.А.. Зависимость усиления ГКР и флуоресценции от расстояния между адсорбируемой молекулой и металлической поверхностью // *Журн. прикл. спектр.* – 2001. – Т. 68, № 6. – P. 757–760.
5. Homola J., Yee S.S., Gauglitz G., Surface plasmon resonance sensors: review // *Sens Actuators B Chem.* – 1999. – Vol. 54. – P. 3–15.
6. Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики. – М.: Физматлит, 2009. – 484 с.
7. Oulton R.F. et al. Plasmon lasers at deep subwavelength scale // *Nature.* – 2009. – Vol. 461. – P. 629–632.
8. Vedraïne S., Gernigon V., Torchio Ph., Flory F., Heiser T., Leveque P., Escoubas L. Surface plasmon effect on metallic nanoparticles integrated in organic solar cells // *Proc. SPIE.* – 2011. – Vol. 172. – P. 1–7.
9. Донченко В.А., Землянов Ал.А., Панамарев Н.С., Харенков В.А. Оптические характеристики нанодисперсных активных сред. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 128 с.
10. Донченко В.А., Едреев И.А., Землянов Ал.А., Харенков В.А. Особенности суперлюминесценции в растворах Р6Ж с агломерированными металлическими наночастицами // *Изв. вузов. Физ.* – 2013. – Т. 56, № 8. – С. 9–15.

11. Kim W., Safonov V.P., Shalaev V.M., Armstrong R.L. Fractals in Microcavities: Giant coupled, multiplicative enhancement of optical responses // Phys. Rev. Lett. – 1999. – Vol. 82, № 24. – P. 4811–4814.
12. Anger P., Bharadwaj P., Novotny L. Enhancement and quenching of single-molecule fluorescence // Phys. Rev. Lett. – 2006. – Vol. 96. – P. 113002–113005.

Аюбекова А.Е., Изимов С.А., Каппар С.С., академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, физика-техникалық факультеті, РТК-312 тобының студенттері;

Роговая К.С., академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, физика-техникалық факультеті, МТФ-22 тобының магистранты;

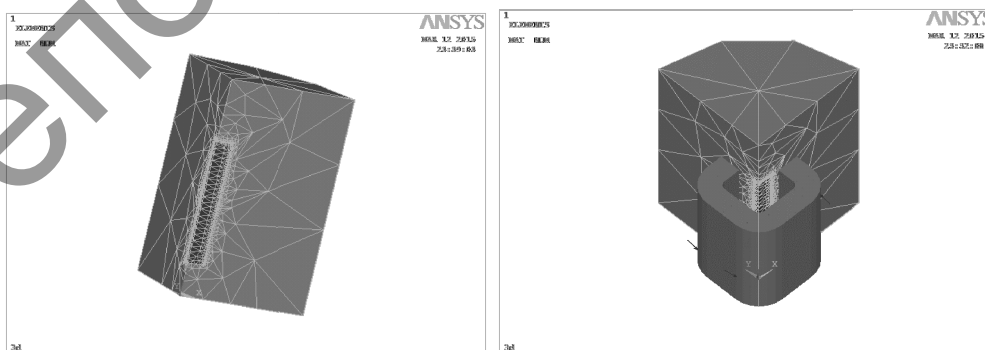
Танскожанова А.Р., академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, физика-техникалық факультеті, МТФК-15 тобының магистранты;

Оспанов А.Е., Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, ЭЭ-13-4 тобының студенті
(*Ғылыми жетекшісі – к.т.н., доцент Айкеева А.А.*)

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ЖҮЙЕНІҢ ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫ МОДЕЛІ

Имитациялық модельдеудің этапы 3D-модельдеу және оның симметриялы екенін ескере отырып, шешім электромагниттің төрттен бір қимасына жүргізілді, ол бірінші квадрант түрінде көрсетілген, Жұмыс жазықтығында металл болат өзекше және оны қоршаған ауа жазықтығы көрсетілген. Болат өзекше бір объект- параллелепипед, ол өзекшенің және өзекше мен орам арасындағы ауа кеңістігінің параметрлерін беру арқылы салынған. Екі параллелепипедті (өзекше және ауа кеңістігінің облысы) салғанда олар бір біріне қабаттасып, бір элементке бірігеді. Өзекше мен ауа кеңістігінің облысын біріктіріп тұрған ауа кеңістігі цилиндрдің төрттен бірімен көрсетілген. Ауа үшін магниттік өткізгіштік параметрі, ал өзекше үшін вектор параметрлері магнит индукциясы B мен магнит өрісінің кернеулігі H беріледі. Өзекшенің қима ауданын бөлу үшін SOLID96 элементі қолданылады [1,2]. Бұл элемент тек 3D-модельдері үшін ғана қолданылады. Электромагниттердің төрттен бір қимасын имитациялайтын облысты құрастыру үшін үш төбе координаттары арқылы параллелепипед салынады. Сыртқы ортаны (ауаны) имитациялайтын облыс цилиндр сегменті болып табылады. Келесі этапта модель облысы элементтерін ақырғы элементтерге бөледі. Бөлу кезінде элементтер көп болған сайын соғұрлым есептің шешімі дұрыс болатынын ескерген жөн. Облыстарды ақырғы элементтерге бөлу 1 суретте көрсетілген.

Модельдеудің келесі сатысында орам параметрлерін беру болып табылады, олар: орам саны, ішкі радиус, сыртқы радиус, орамдағы тоқ, орам қалыңдығы және тоқ бағыты көрсетіледі, ол электромагниттердің полюстерін анықтау үшін қажет. Осы жағдайда тоқ бағыты сағат тіліне бағыттас, яғни төменде оңтүстік полюспен, ал үстінде солтүстікпен орналасқан. Нәтижесінде алынған шығаруға дайын модель 1 суретте көрсетілген, мұнда ораммен оралған болат өзекшенің төрттен бірі көрсетілген. Модель элементін көрсету үшін орам толығымен көрсетілген.



Сурет 1. Электромагнит моделі

Электромагниттік әсерінен болатын тартылу күшін Максвелл формуласымен анықтауға болады, ол магнит өрісін талдаудан алынған, полюстің бетіне әсер етеді [2,58]. Егер жұмыс саңылауындағы өріс тең және полюстер қанықпаған болса, онда электромагнит үшін Максвелл тендеуі келесі түрде болады: