

Задача 1 «Увидеть невидимое» (базовая).

Микроскопия ставит перед собой задачу увидеть объекты как можно более меньших размеров. Принципиальным ограничением *оптических* микроскопов является *дифракционный предел* - экспериментатор не может рассмотреть в микроскоп объект размером меньше, чем половина длины волны используемого излучения (типичная максимальная величина - около 500нм). Это ограничение связано с тем, что световые волны, несущие в себе информацию о малейших деталях объекта, просто не распространяются на далекие *оптические расстояния* от объекта. Проблема была неразрешимой до того момента, как в в 2000 году Д.Р. Смит и его группа¹ впервые получили первые образцы *суперлинз*. Они позволили "рассмотреть" объекты размером до десятых частей длины волны.

Суперлинзы состоят из материалов, обладающих одновременно отрицательными диэлектрической и магнитной проницаемостями. В таких системах показатель преломления становится отрицательным. Отправной точкой в изучении оптики сред с отрицательным показателем преломления является работа Виктора Веселаго, опубликованная им еще в 1967г. Ему удалось теоретически предсказать те свойства, подтверждения которым сейчас находятся экспериментально. Попробуйте объяснить следующие свойства суперлинз:

1 Под углом φ к нормали из среды с показателем преломления n_1 в среду с показателем преломления n_2 падает луч. Нарисовать ход прошедшего и преломленного луча, указать направление волнового вектора и вектора Умова-Пойнтинга. Рассмотреть варианты: а) $n_1 > 0, n_2 < 0$, б) $n_1 < 0, n_2 < 0$ (**1 балл**). Описать условия, при которых падающий луч испытывает преломление на границе раздела двух сред, но отраженный луч будет отсутствовать. Объяснить, почему (**1 балл**).

2 Объясните, почему дифракционный предел точности обычных оптических приборов не работает для суперлинз (**3 балла**).

3 Экспериментатор хочет изучить поверхность образца с помощью плоскопараллельной пластинки с показателем преломления $n = -1$ толщиной d . В его распоряжении есть детектор, регистрирующий действительное изображение. На каком расстоянии экспериментатору нужно поставить этот детектор от поверхности образца? И каким образом расположить линзу? (**2 балла**)

4 Из воздуха (показатель преломления $n_1 = 1$) на плоскопараллельную суперлинзу с показателем преломления $n_2 = -1$ нормально падает свет от непрерывно излучающего лазера мощностью 1 Вт. С обратной стороны линзы закреплено зеркало. Указать величину и направление силы, действующей на зеркало (**2 балла**).

5 Конечно, идеальных сред с постоянным отрицательным показателем преломления $n(\lambda) = \text{const} < 0$ в широком оптическом диапазоне не существует. Необходимым требованием для существования суперлинз является наличие нелинейного закона дисперсии $n(\lambda)$. Почему? Каким законам природы противоречит отсутствие дисперсии в суперлинзах? (**3 балла**)

6 Предыдущие рассуждения позволяют понять, как «увидеть невидимое». А можно сделать наоборот и с использованием метаматериалов создать современную «шапку - невидимку»? Кратко прокомментируйте это утверждение (**1 балл**). Можно ли создать «шапку - невидимку» с помощью нанотехнологий (**1 балл**)?

¹D.R. Smith, Willie J. Padilla, D.C. Vier, S.C. Nemat-Nasser, and S. Schultz, Phys. Rev. Lett. 84, 4184 (2000).

Методические замечания:

1. Задача решается в рамках базовых знаний и здравого смысла
2. Вопросы можно задать в специальном разделе форума <http://www.nanometer.ru/forum/viewforum.php?f=19> или найти ответ самостоятельно (в том числе изучив доступные Вам Лекции на сайте Олимпиады <http://www.nanometer.ru/lectures.html?UP=156195>)
3. Решение оформляется и отсылается только в электронном виде, как описано в инструкциях к работе с задачами и решениями заочного теоретического тура, приведенных в разделе «Олимпиада» http://www.nanometer.ru/olymp2_o4.html
4. Подписывать решения не надо, Ваша фамилия, имя и отчество будут зашифрованы при проверке, идентификация для системы проверки производится по логину и паролю, который Вы вводите при входе на сайт Олимпиады www.nanometer.ru в качестве участника (этот пароль Вы задавали при регистрации и заполнении анкеты участника).