

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 группа<sup>1</sup> 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  $\phi$  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**)?

<sup>1</sup>D.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](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](http://www.nanometer.ru) в качестве участника (этот пароль Вы задавали при регистрации и заполнении анкеты участника).