

Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический
Университет "ЛЭТИ"

кафедра физики

Задание №1 по дисциплине

"Физические основы информационных технологий"

Название: Искривление луча в оптическом канале

Фамилия И.О.: Чернякова В.А.

Группа: 1304

Преподаватель: Альтмарк А.М.

Итоговый балл:

Крайний срок сдачи: 22.10.23

Санкт-Петербург

2023

Условие задания.

Найти длину траектории светового луча S в прямолинейном дисперсионном оптоволоконном канале, рисунок 1, с показателем преломления n_1 . Оптоволокно окружено средой с показателем преломления n_2 . Функцию распределения показателя преломления $n_1(y, \omega)$ можно представить как:

$$n_1(y, \omega) = f_1(y) \left(1 - \left(\frac{(0.35 \cdot 10^{14})}{\omega} \right)^2 \right),$$

где y – поперечная координата, ω – циклическая частота светового луча.

Функцию $f_1(y)$, функцию $Zf(y)$, описывающую координату z выходного торца волновода, начальный угол ввода луча α в волновод, координату ввода луча в волновод $y=y_0$, радиус канала R можно взять в файле FOIT_IDZ1.xlsx. Все геометрические размеры даются в безразмерных координатах.

Необходимо построить график траектории луча, а также записать ответ S в текстовый файл IDZ1\IDZ1.txt. Помимо текстового файла IDZ1.txt в папке IDZ1 должен находиться Word-файл (Pdf-файл) с отчетом, а также файл с кодом (Python, Mathcad, Mathematica). Для лучшего понимания отчетности смотрите папку “Пример организации яндекс-папки студентов”.

Пример содержания файла IDZ1.txt:

4.53258

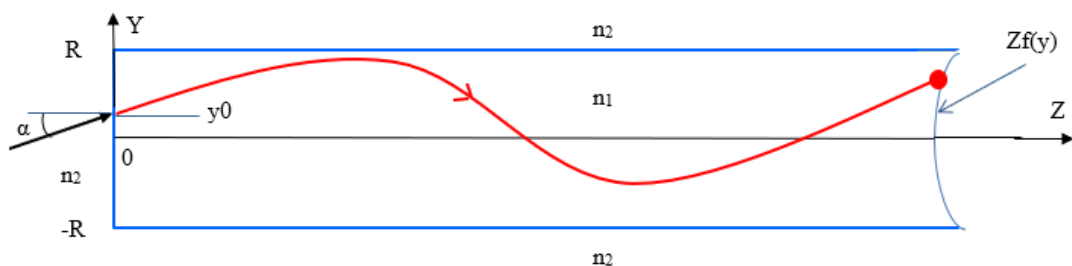


Рисунок 1 – прямолинейный дисперсионный оптоволоконный канал.

Вариант 18.

Данные:

$$R = 1.8$$

$$n_2 = 1$$

$$f_1(y) = 1.4 + 0.3 \cdot \cos(0.5 \cdot y^4)$$

$$Zf(y) = 12 + 3 \cdot \sin(17.951958020513104 \cdot y)$$

$$\omega = 3.3 \cdot 10^{14} \text{ рад/с}$$

$$y_0 = -0.4$$

$$\alpha = -42^\circ$$

Основные теоретические положения.

Закон преломления.

На рисунке 2 показан пример преломления луча в среде.

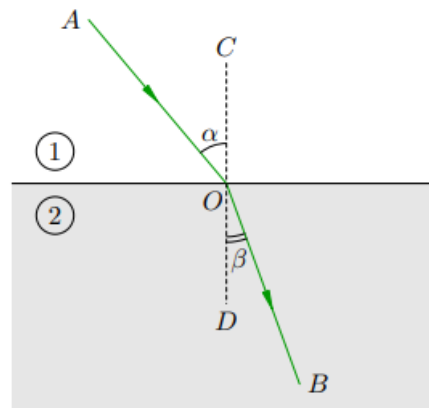


Рисунок 2 – преломление луча.

1) Падающий луч, преломлённый луч и нормаль к поверхности раздела сред, проведённая в точке падения, лежат в одной плоскости.

2) Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению показателя преломления второй среды к показателю преломления первой среды:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Полное внутренне отражение.

При переходе световых лучей из оптически более плотной среды в оптически менее плотную наблюдается явление — полное внутреннее отражение.

По мере увеличения угла падения прослеживается та же закономерность: всё большая доля энергии падающего луча достаётся отражённому лучу, и всё меньшая — преломлённому лучу.

При дальнейшем увеличении угла падения преломлённый луч и подавно будет отсутствовать.

Среда не выпускает наружу лучи с углами падения, равными или превышающими некоторое значение α_0 — все такие лучи целиком отражаются назад в среду.

Принцип работы оптоволокна.

Важнейшим техническим применением полного внутреннего отражения является волоконная оптика. Световые лучи, запущенные внутрь оптоволоконного кабеля (световода) почти параллельно его оси, падают на поверхность под большими углами и целиком, без потери энергии отражаются назад внутрь кабеля. Многократно отражаясь, лучи идут всё дальше и дальше, перенося энергию на значительное расстояние.

Выполнение работы.

1. Инициализация переменных.

В начале программы объявляются переменные, в которых будут храниться все известные величины согласно номеру варианта – 18.

2. Функции для вычислений.

Прописываются функции, необходимые для вычисления некоторых значений.

- $fl[y_]$ – функция используется при вычислении $nl[y_]$.
- $Zf[y_]$ – функция, описывающая координату z выходного торца волновода.
- $nl[y_]$ – функция распределения показателя преломления $nl(y, \omega)$.

3. Введение новых переменных.

Для получения ответа на задачу необходимо ввести новые переменные для промежуточных вычислений.

- z – длина пути луча по оси z . Изначально равно 0.
- y – текущая высота вхождения луча падения. Изначально равно y_0 .
- dy – направление луча. Луч идет вверх, тогда значение равно 1, иначе -1. Изначально равно -1, так как угол вхождения отрицательный.
- s – длина траектории луча. Изначально равно 0.
- $length$ – длина сегмента траектории луча.

- *sinGamma* – синус нового угла падения. Изначально равен $\text{Sin}[Pi/2 - \text{ArcSin}[\text{Sin}[\alpha] * n2 / n1[y]]]$.

По закону преломления можно найти синус преломленного угла. Для нахождения значения самого угла необходимо взять арксинус от получившегося синуса. Следующий угол падения оптоволоконного канала находится с найденным преломленным в одном прямоугольном треугольнике. Поэтому для нахождения *sinGamma* из 90 градусов или $Pi/2$ вычитается преломленный угол и находится от этого значения синус.

- *nGamma* – плотность среды, где находится новый угол падения. Равен изначально $n1[y]$, так как плотность среды зависит от высоты, на которой находится граница разделов двух сред.

- *dotsLightBeam* – список, где будут храниться координаты траектории луча по осям z и y соответственно.

4. Решение задачи.

Для более подробного описания решения представлен рисунок 3. Изображена только положительная часть графика, так как для отрицательной все аналогично.

- *While* [$z \leq Zf[y]$]

То есть, когда длина пути луча по оси z станет больше, чем выходной торец волновода, задача будет решена, так как последующие вычисления будут за границами волновода.

Действия внутри цикла.

- $y += \text{length} * \text{Sqrt}[1 - \text{sinGamma}^2] * dy;$

Нахождение значения, на которое поднимается или опускается луч. В данном случае *length* является гипотенузой прямоугольного треугольника. С помощью второго множителя можно найти значение косинуса угла γ . И таким образом, перемножив гипотенузу на косинус угла, находится прилежащий катет, а именно высота подъема. Значение умножается на dy , так как луч может идти либо вверх, тогда на 1, либо вниз, тогда на -1.

- *If* [$\text{Abs}[y] \geq R$, $nBeta = n2$, $nBeta = n1[y]$]

На новой полученной высоте необходимо вычислить значение плотности новой среды преломления. Поэтому происходит проверка выхода

лучом за пределы оптоволоконного канала. Если выход за пределы произошел, то $nBeta$ (плотность новой среды преломления) становится равной n_2 , находящейся за границей, иначе $nBeta$ равно значению $n_1[y]$.

- $\sinBeta = (\sinGamma * nGamma) / nBeta$;

Используя закон преломления, можно найти синус следующего преломленного луча в среде.

- $If[\sinBeta > 1, \sinBeta = \sinGamma; dy *= -1]$;

Проверка значения синуса преломленного угла. В случае, если синус получился больше единицы, значит, угол полностью отражается от границы раздела и будет равен падающему углу. А направление луча становится обратным. То есть, если луч поднимался вверх, то теперь он будет опускаться вниз, и наоборот соответственно.

- $S += length$;

На каждом шаге значение длины траектории луча увеличивается на длину сегмента траектории луча.

- $z += \sinBeta * length$;

Продвижение по оси z . Рассмотрим рисунок 3. На нем \sinBeta будет равен синусу угла β_1 – следующий преломленный угол, $length$ – гипотенуза в прямоугольном треугольнике. В таком случае, умножая гипотенузу на синус угла, мы находим противолежащий катет, в данном случае это и будет искомое увеличение z .

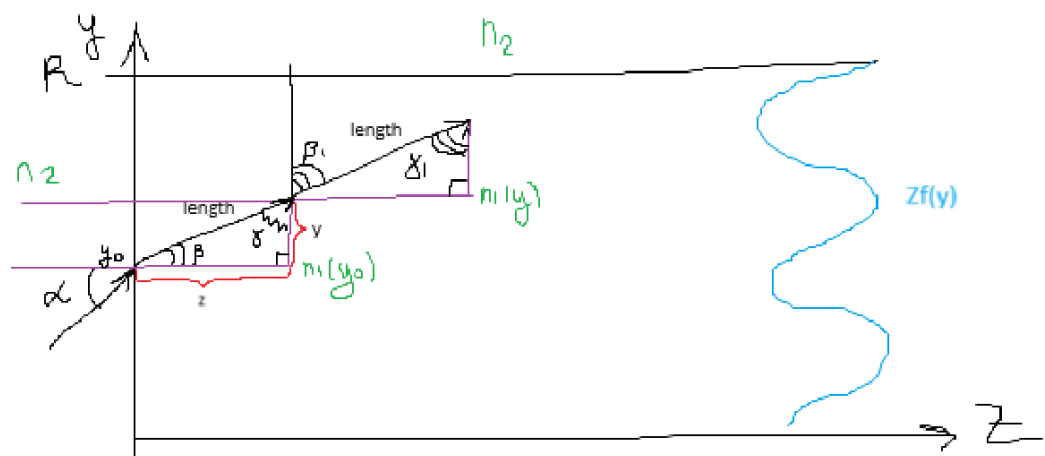


Рисунок 3 – пример хода луча в канале.

- $\sinGamma = \sinBeta$;

Нахождение значения синуса нового угла падения. По рисунку 3 $\sin\Gamma$ равен синусу угла γ_1 . Этот угол равен значению β_1 , синус которого и есть $\sin\beta$, так как они являются накрестлежащими углами при параллельных прямых.

- $n\Gamma = n\beta$;

Плотность среды, где находится угол падения. Она будет равна значению плотности среды, где находится найденный на текущем шаге преломленный угол.

- $\text{AppendTo}[\text{dotsLightBeam}, \{x, y\}]$;

Добавление в список расположение координат траектории луча для отображения на графике.

Действия внутри цикла заканчиваются

- $\text{endWaveguide} = \{\}$
 $\text{For}[i = -R, i < R, i += 0.0001,$
 $\text{AppendTo}[\text{endWaveguide}, \{Zf[i], i\}]$
 $];$

Данный цикл позволяет записать координаты конца торца волновода для отображения их на графике.

5. Отображение на графике

Для отображения траектории луча и конца волновода используется функция $\text{Show}[]$, в котором устанавливается стиль графика, отображаемый диапазон, линии координатной сетки и отображение на осях.

Разработанный программный код смотри в приложении А.

Тестирование.

На рисунках 4 – 5 представлены результат работы программы.

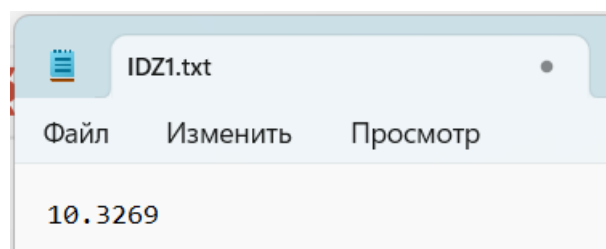


Рисунок 4 – значение длины траектории.

На рисунке 5 зеленым цветом обозначена траектория луча, синим цветом – границы волновода, учитывая функцию, описывающую выходной торец.

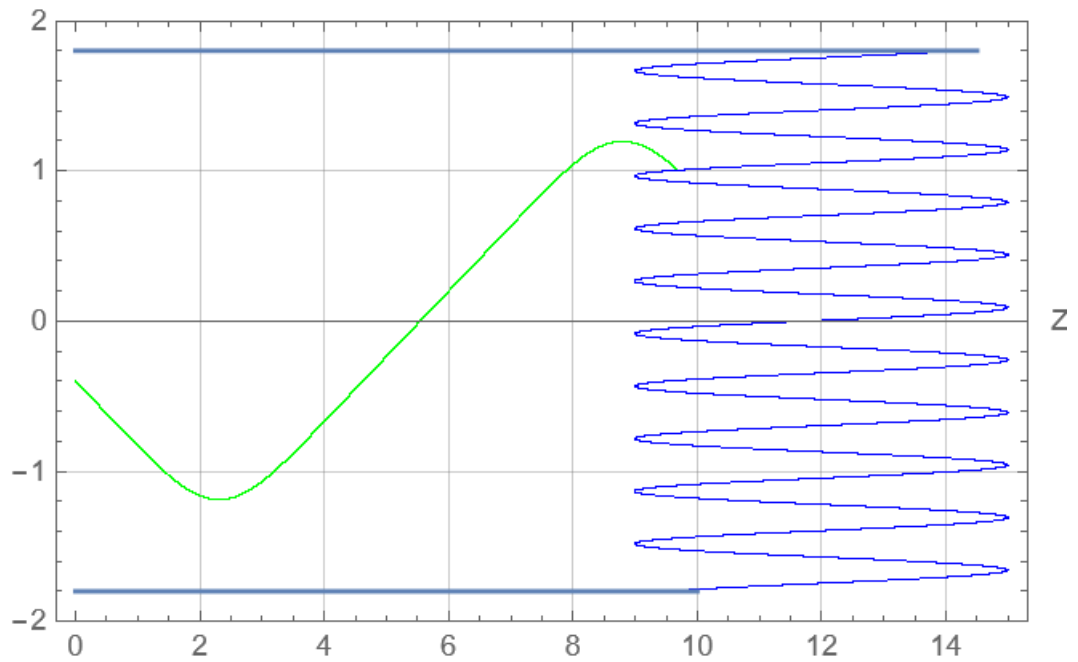


Рисунок 5 – график, полученный в результате работы программы.

Выводы.

В ходе лабораторной работы написана программа, которая вычисляет траекторию светового луча S в прямолинейном дисперсионном оптоволоконном канале.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

Файл: IDZ1.nb

```
R = 1.8
n2 = 1
\[Omega] = 3.3 * 10^14
y0 = -0.4
\[Alpha] = -42 Degree

f1[y_] := 1.4 + 0.3 * Cos[0.5 * y^4]

Zf[y_] := 12 + 3 * Sin[17.951958020513104 * y]

n1[y_] := f1[y] * (1 - ((0.35 * 10^14) / \[Omega])^2)

z = 0
y = y0
dy = -1
S = 0
length = 0.0001
sinGamma = Sin[Pi/2 - ArcSin[Sin\[Alpha] ] * n2 / n1[y]]
nGamma = n1[y]
dotsLightBeam = {}

While[ z <= Zf[y],
  y += length * Sqrt[1 - sinGamma^2] * dy;
  If[Abs[y] >= R, nBeta = n2, nBeta = n1[y]];
  sinBeta = (sinGamma * nGamma) / nBeta;
  If[sinBeta > 1, sinBeta = sinGamma; dy *= -1 ];
  S += length;
  z += sinBeta * length;
  sinGamma = sinBeta;
  nGamma = nBeta;
  AppendTo[dotsLightBeam, {z, y}];
] ;
Print[S];

endWaveguide = {}
For[i = -R, i < R, i += 0.0001,
```

```

AppendTo[endWaveguide, {Zf[i], i}]
];

Show[
ListPlot[dotsLightBeam,
  PlotStyle -> {PointSize[0.001], Green},
  PlotRange -> All,
  Frame -> True,
  GridLines -> Automatic,
  AxesLabel -> {"Z", "Y"}],
ListPlot[endWaveguide,
  PlotStyle -> {PointSize[0.001], Blue},
  PlotRange -> All,
  Frame -> True],
Plot[1.8, {x, 0, 14.5}, PlotRange -> {0, 2}],
Plot[-1.8, {x, 0, 10}, PlotRange -> {-2, 0}],
PlotRange -> All,
AxesLabel -> {"Z", "Y"}
]

```