

Получение параметров одномерного фотонного кристалла методом матриц переноса

Задача:

Реализация метода матриц переноса - численного метода расчёта одномерной слоистой структуры с периодически изменяющимся показателем преломления на языке C++ с применением технологии параллельного программирования MPI (Message Passing Interface)

1-D

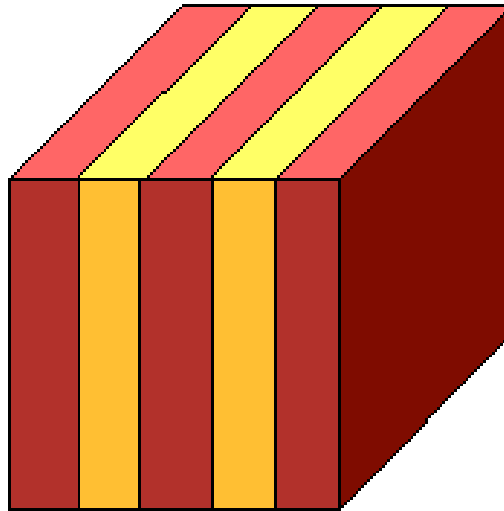
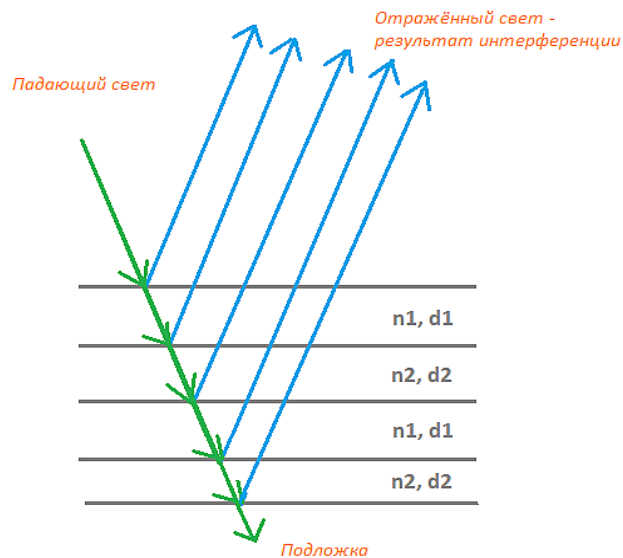
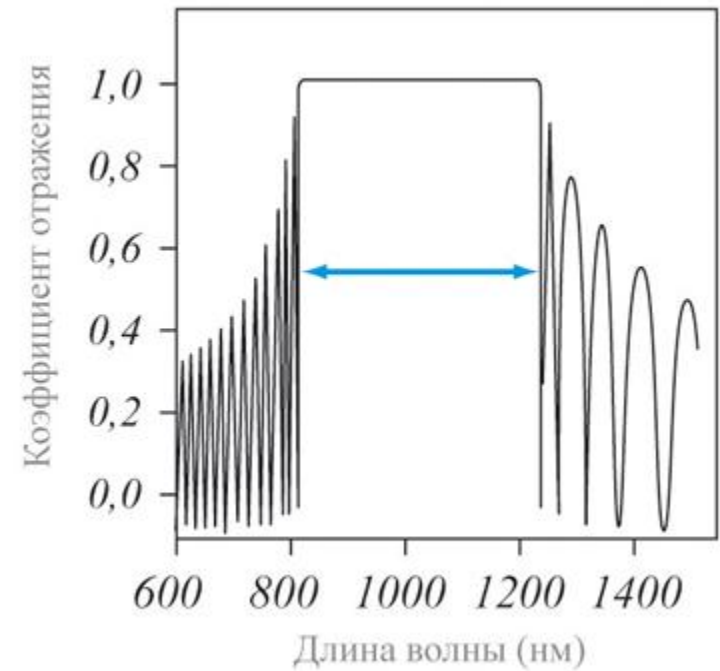


Схема одномерного фотонного кристалла

Физические основы поставленной задачи

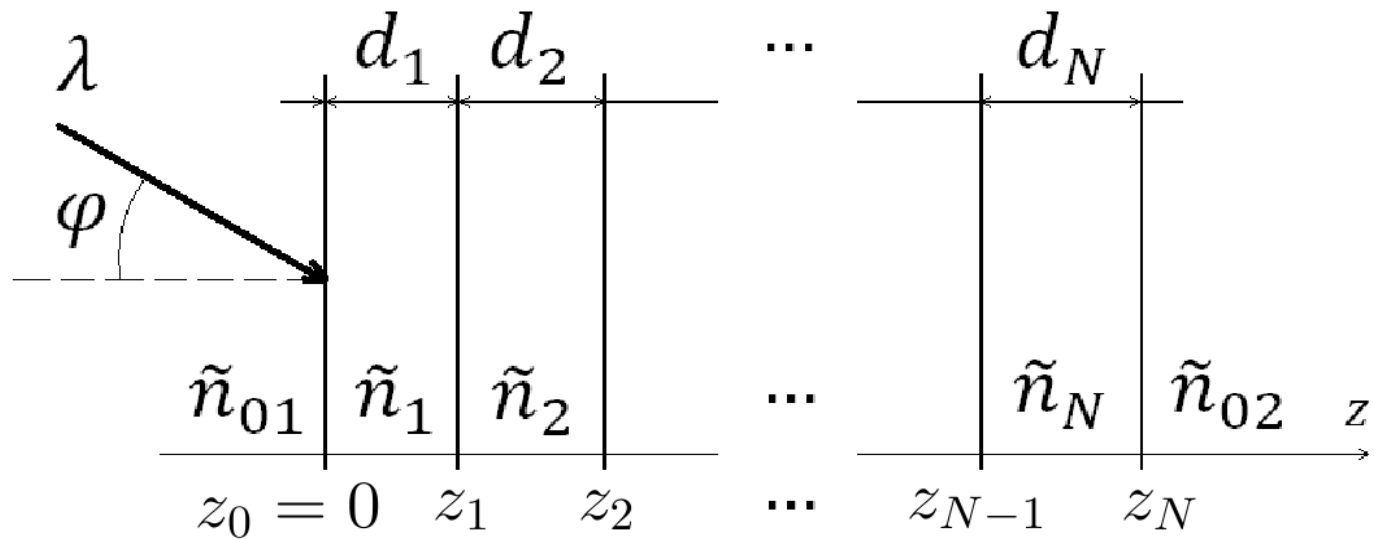


Преломление и отражение света в многослойной структуре



Спектр одномерного фотонного кристалла

Схема слоистой структуры



Разложение светового вектора на параллельную и перпендикулярную составляющую:

$$\begin{aligned} \vec{E}_{\parallel}(x, y, z, t) &= E_0 \sin \theta \vec{p} e^{-ik_z z - ik_x x} e^{i\omega t} \\ \vec{E}_{\perp}(x, y, z, t) &= E_0 \cos \theta \vec{s} e^{-ik_z z - ik_x x} e^{i\omega t} \end{aligned}$$

Фазовый сдвиг вектора амплитуд

$$\begin{bmatrix} E^+(z') \\ E^-(z') \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} e^{ik_z(z''-z')} & 0 \\ 0 & e^{-ik_z(z''-z')} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} E^+(z'') \\ E^-(z'') \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} e^{ik_z d[j]} & 0 \\ 0 & e^{-ik_z d[j]} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{E}(z') = \mathbf{P} * \mathbf{E}(z'')$$

Взаимодействие волны с границей раздела сред

$$\begin{bmatrix} E^+ (z' - 0) \\ E^- (z' - 0) \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} I_{11} & I_{12} \\ I_{21} & I_{22} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} E^+ (z' + 0) \\ E^- (z' + 0) \end{bmatrix}$$

$$E^+ (z' + 0) = t^* E^+ (z' - 0)$$

$$E^- (z' - 0) = r^* E^+ (z' - 0)$$

Матрица переноса

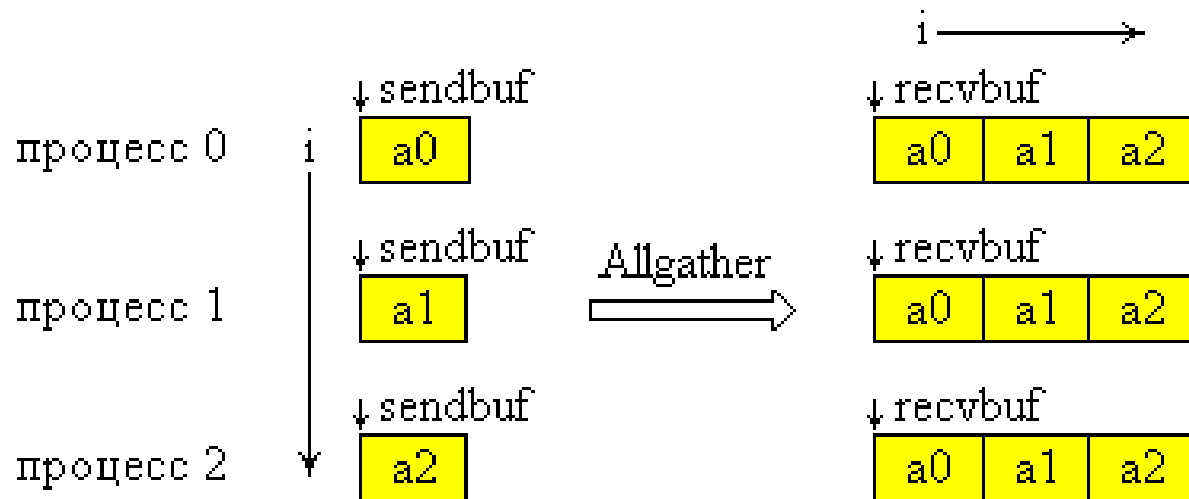
Полная матрица переноса T связывает $E(z_0 - 0)$ и $E(z_n + 0)$. Она получается при последовательном перемножении всех матриц распространения и интерфейсных матриц :

$$T = I(z_0) * P(z_0, z_1) * I(z_1) * P(z_1, z_2) * I(z_2) * \dots \\ \dots * I(z_{N-1}) * P(z_{N-1}, z_N) * I(z_N);$$

Элементы параллельного программирования:

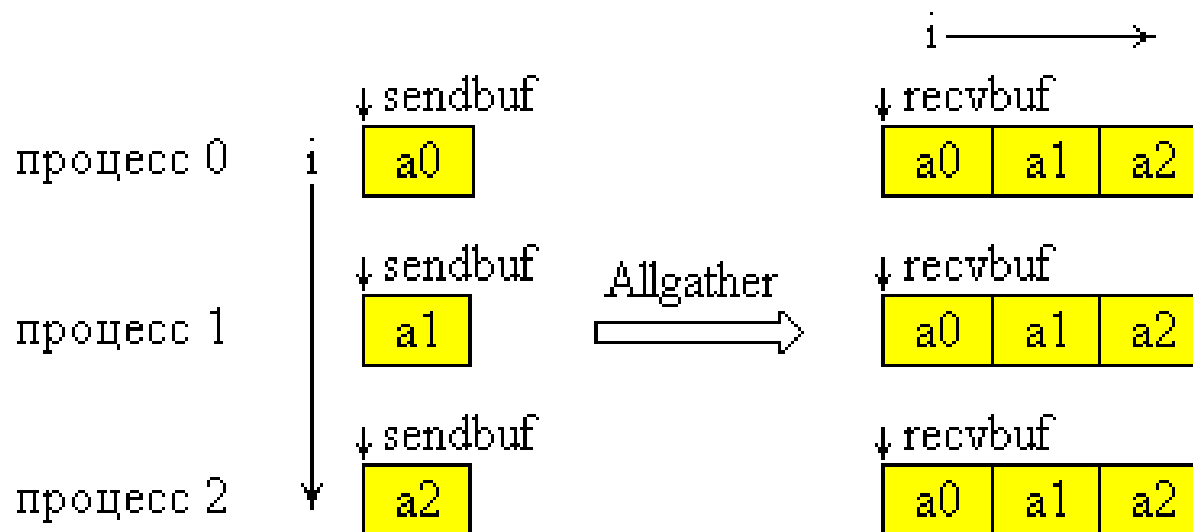
- I. Сборка количества обрабатываемых значений длин волн с каждого процесса и раздача этих данных всем процессам :

```
MPI_Allgather(&my_work, 1, MPI_INT, works, 1, MPI_INT,  
             MPI_COMM_WORLD);
```



2. Сборка полученных коэффициентов отражения, пропускания и поглощения на нулевом узле :

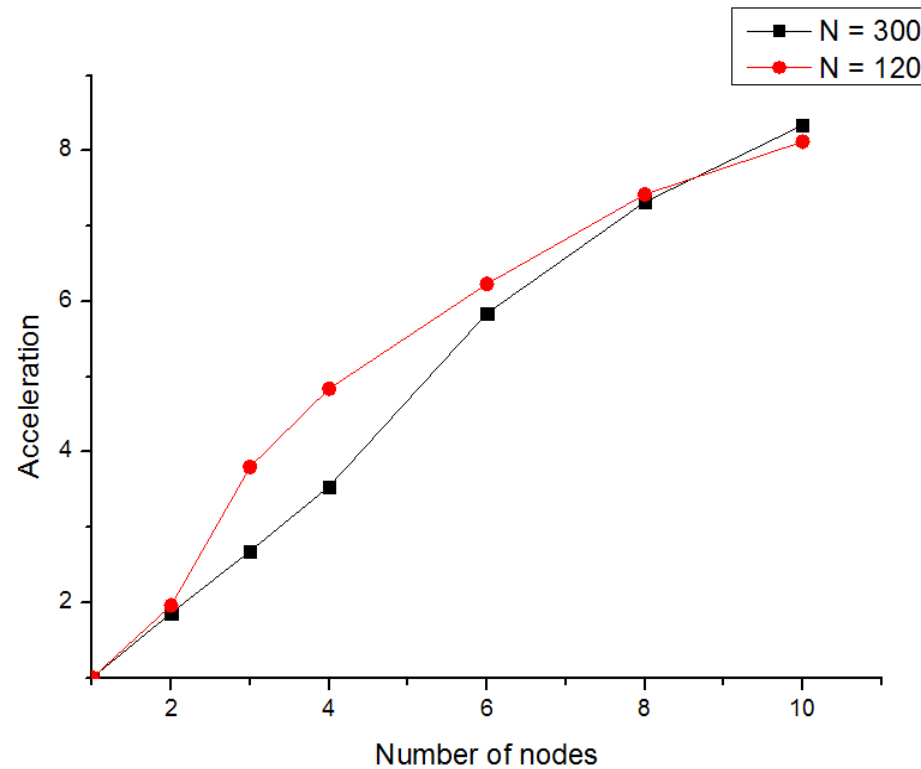
`MPI_Gatherv(RM, F*my_work, MPI_DOUBLE, ReflectMatrix, RecvCounts, Displs, MPI_DOUBLE, 0, MPI_COMM_WORLD);`



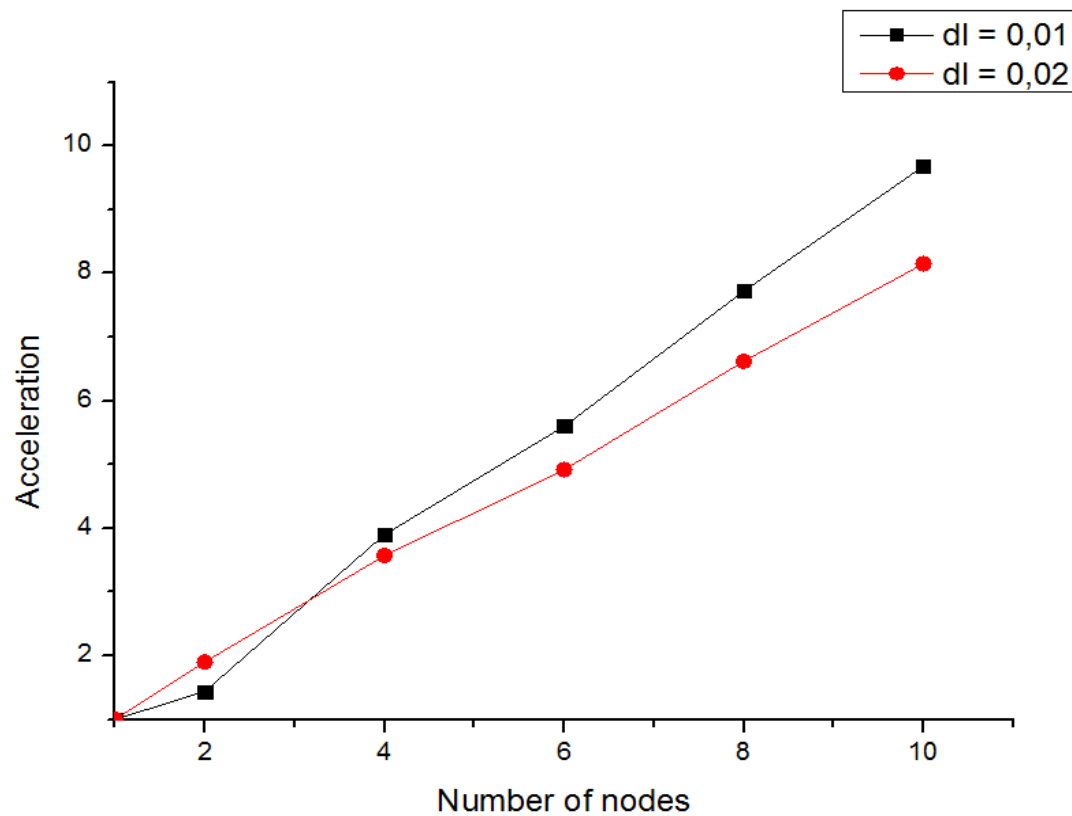
Результаты

1. Вычислительные эксперименты

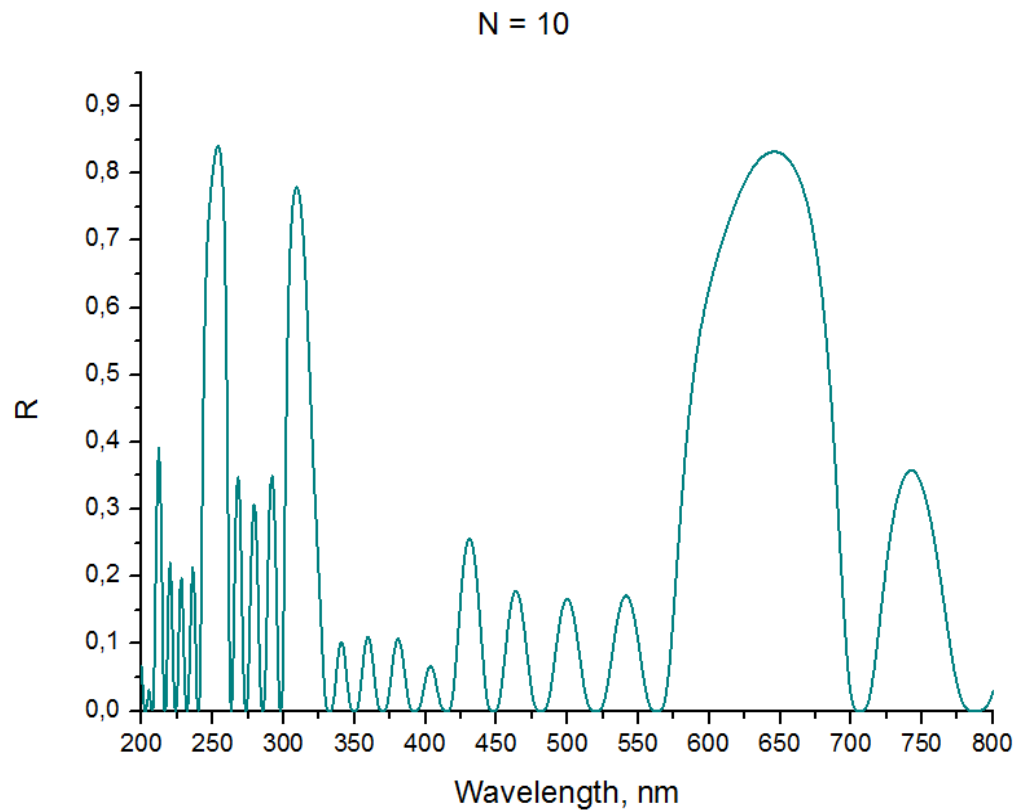
Зависимость ускорения от числа узлов при изменении числа слоёв **N** в фотонном кристалле



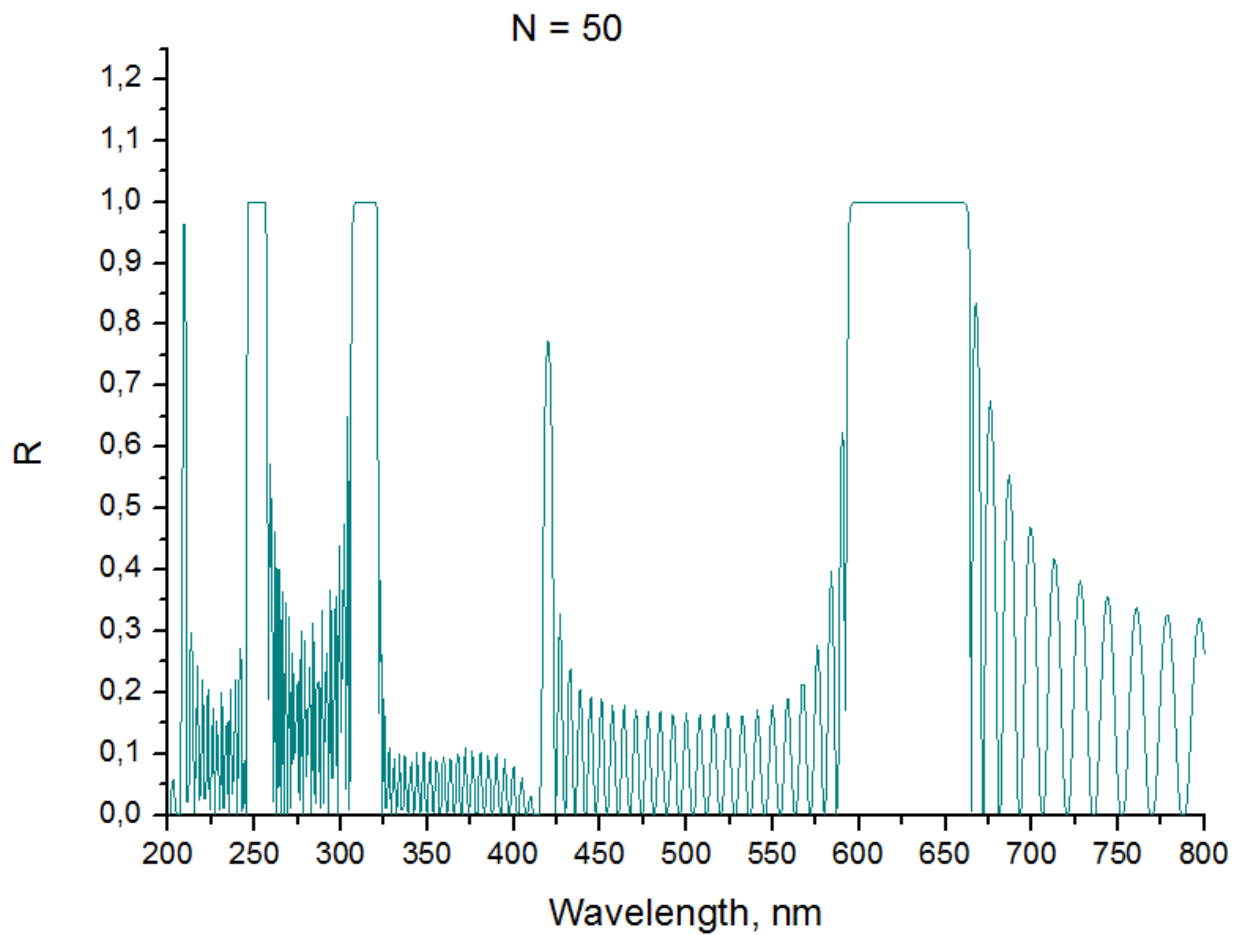
Зависимость ускорения от числа узлов при изменении шага разбиения спектрального интервала



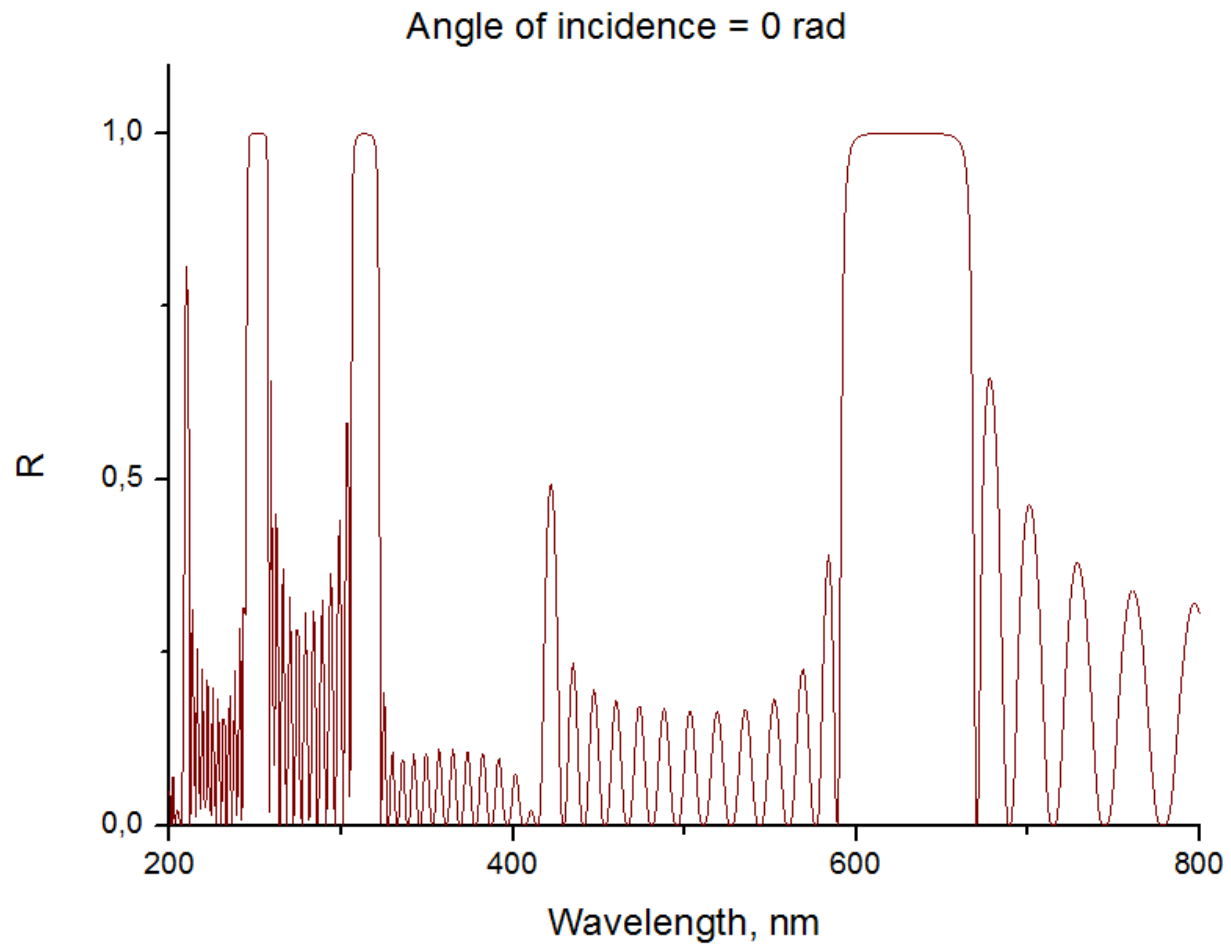
2. Численное моделирование



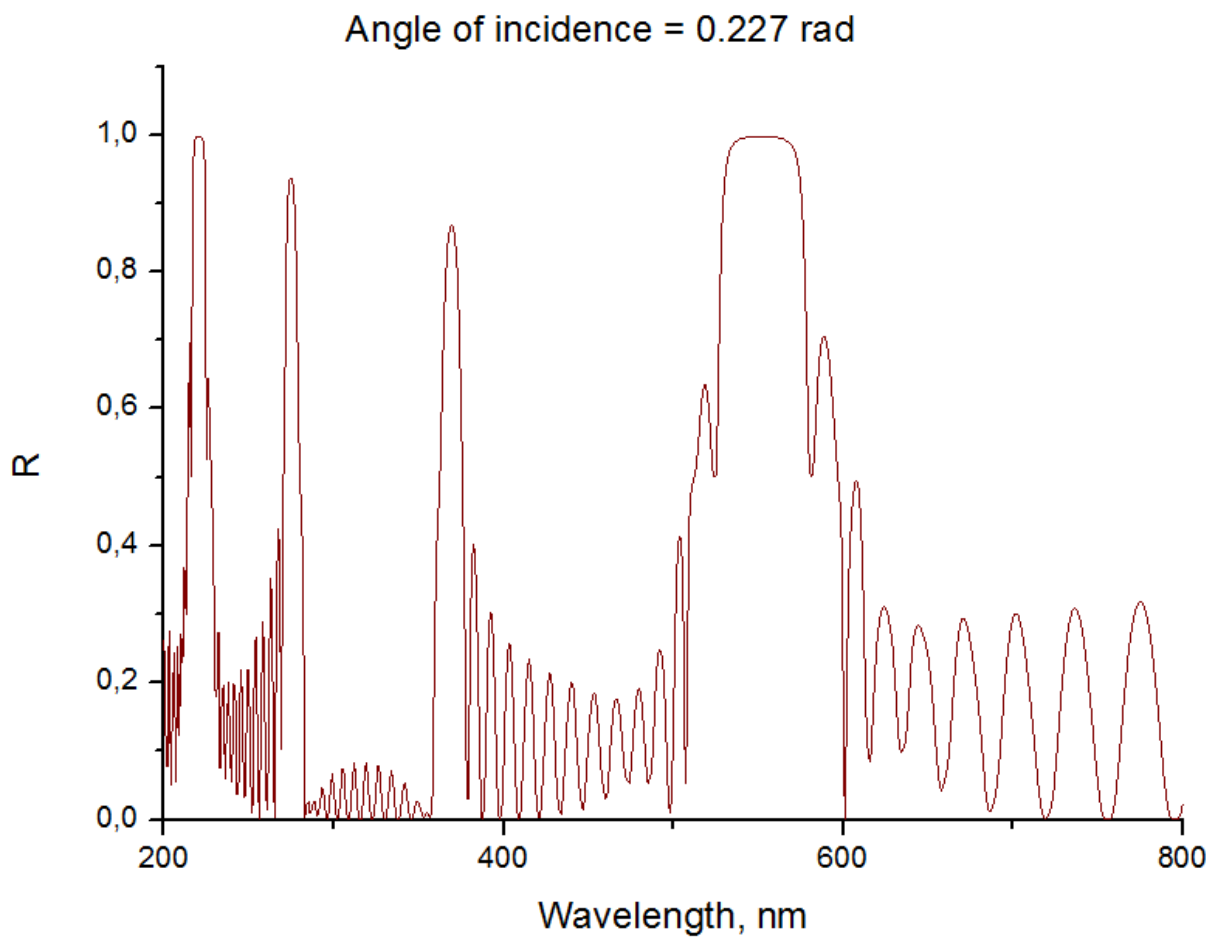
Спектр отражения фотонного кристалла при числе слоёв $N = 10$



Спектр отражения фотонного кристалла при числе слоёв $N = 50$



Спектр отражения фотонного кристалла при нормальном падении



Спектр отражения фотонного кристалла при угле падения 13 град.

Выводы:

- Использование технологий параллельного программирования позволило увеличить точность получаемых зависимостей коэффициентов отражения / пропускания от длины волны путём уменьшения шага разбиения спектрального интервала. Ускорение программы тем больше, чем меньше шаг разбиения спектрального интервала.
- Изменяя такие параметры фотонного кристалла, как толщина слоёв, их количество и показатели преломления, можно подобрать их так, что возникнет фотонная запрещенная зона (диапазон длин волн, которые полностью отражаются от кристалла) определённой ширины.