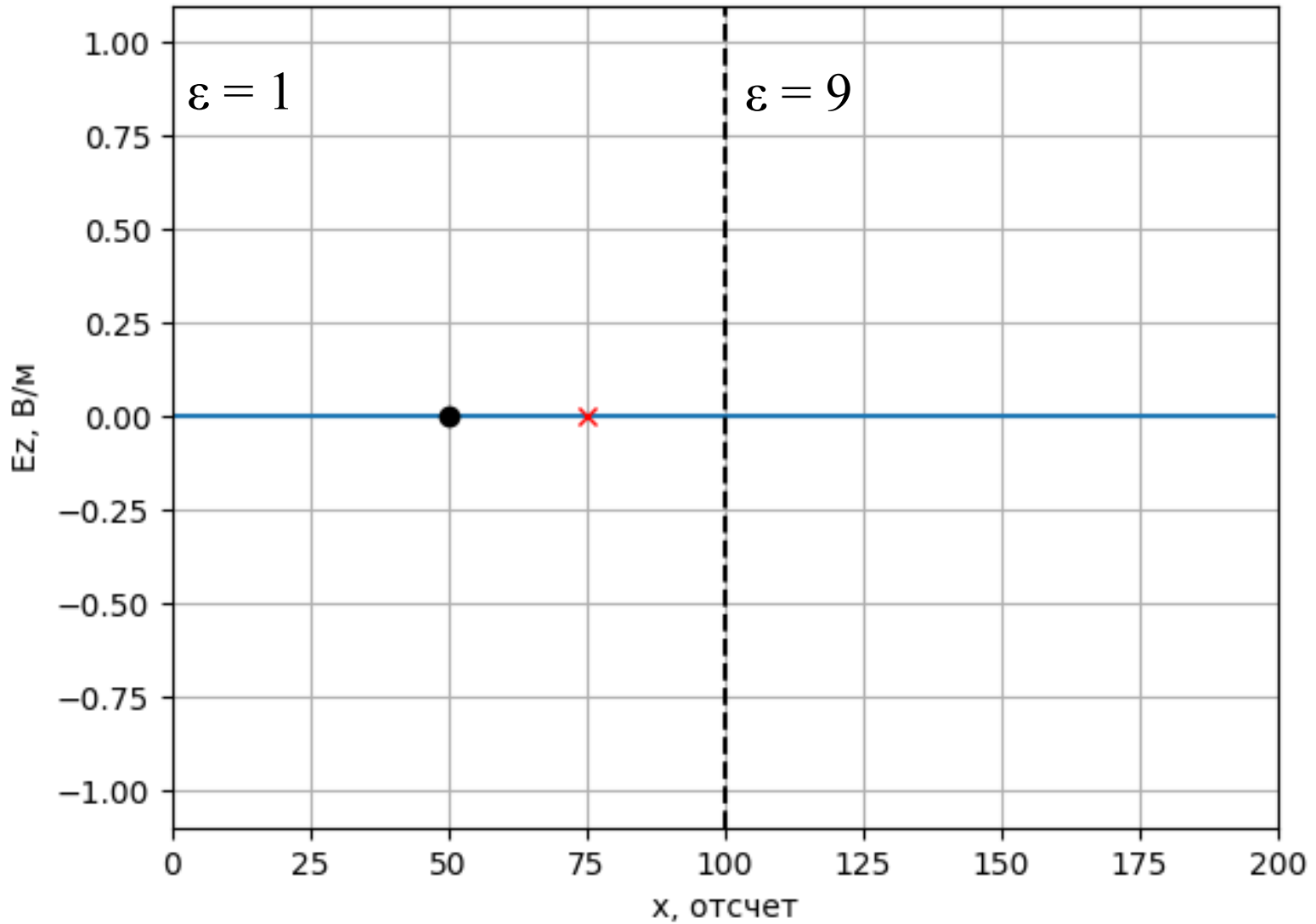


«Метод конечных разностей во временной области (FDTD)»

Моделирование распространения электромагнитной волны в неоднородных средах

Геометрия решаемой задачи (fdtd_heterogen_01.py)



Конечно-разностная схема

$$H_y^{q+1/2}[m+1/2]=$$

$$=H_y^{q-1/2}[m+1/2]+\left(E_z^q[m+1]-E_z^q[m]\right)\frac{1}{\mu Z_0}S_c$$

$$E_z^{q+1}[m]=$$

$$=E_z^q[m]+\left(H_y^{q+1/2}[m+1/2]-H_y^{q+1/2}[m-1/2]\right)\frac{Z_0}{\varepsilon}S_c$$

Конечно-разностная схема

$$\begin{aligned} H_y^{q+1/2}[m+1/2] = \\ = H_y^{q-1/2}[m+1/2] + \left(E_z^q[m+1] - E_z^q[m] \right) \frac{1}{\underline{\mu[m+1/2]} Z_0} S_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_z^{q+1}[m] = \\ = E_z^q[m] + \left(H_y^{q+1/2}[m+1/2] - H_y^{q+1/2}[m-1/2] \right) \frac{Z_0}{\underline{\varepsilon[m]}} S_c \end{aligned}$$

Хранение компонент поля и параметров материалов в реализации FDTD

Индекс →	0	1	2	3		$M-4$	$M-3$	$M-2$	$M-1$
E_z	E_0	E_1	E_2	E_3	...	E_{M-4}	E_{M-3}	E_{M-2}	E_{M-1}
eps	ε_0	ε_1	ε_2	ε_3	...	ε_{M-4}	ε_{M-3}	ε_{M-2}	ε_{M-1}

Индекс →	0	1	2	3		$M-4$	$M-3$	$M-2$	$M-1$
H_y	$H_{1/2}$	$H_{1+1/2}$	$H_{2+1/2}$	$H_{3+1/2}$	...	$H_{M-4+1/2}$	$H_{M-3+1/2}$	$H_{M-2+1/2}$	$H_{M-1+1/2}$
μ	$\mu_{1/2}$	$\mu_{1+1/2}$	$\mu_{2+1/2}$	$\mu_{3+1/2}$	...	$\mu_{M-4+1/2}$	$\mu_{M-3+1/2}$	$\mu_{M-2+1/2}$	$\mu_{M-1+1/2}$

Учет параметров среды

Если $\varepsilon = f_{\varepsilon}(m)$, $\mu = f_{\mu}(m)$

$$Ez[m] = Ez[m] + (Hy[m] - Hy[m - 1]) * Sc * Z0 / eps[m]$$

$$Hy[m] = Hy[m] + (Ez[m + 1] - Ez[m]) * Sc / (Z0 * mu[m])$$

Демонстрация моделирования распространения электромагнитной волны в неоднородных средах

`fdtd_heterogen_01.py`

Коэффициенты отражения и прохождения

Для волны, падающей по нормали:

Коэффициент отражения:

$$\Gamma = \frac{\dot{E}_{\text{отр}}}{\dot{E}_{\text{пад}}} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Коэффициент прохождения:

$$T = \frac{\dot{E}_{\text{пр}}}{\dot{E}_{\text{пад}}} = \frac{2 Z_2}{Z_2 + Z_1}$$

$$Z = \sqrt{\frac{\mu \mu_0}{\epsilon \epsilon_0}} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

Коэффициенты отражения и прохождения идеального диэлектрика

Для границы раздела двух диэлектриков

$$\mu_1 = \mu_2 = 1$$

Коэффициент отражения:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}}$$

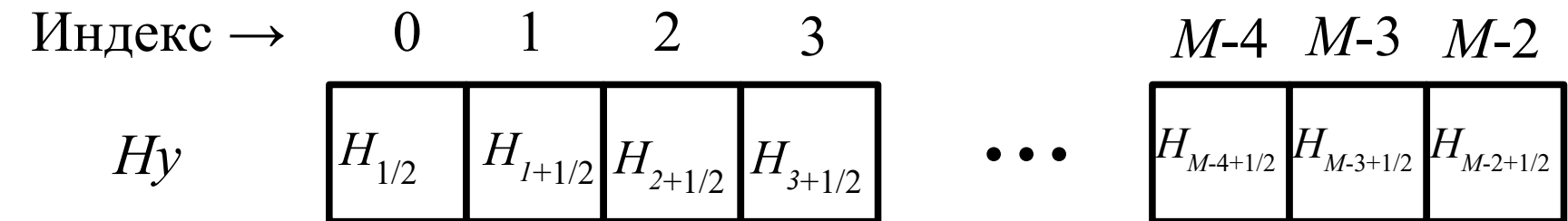
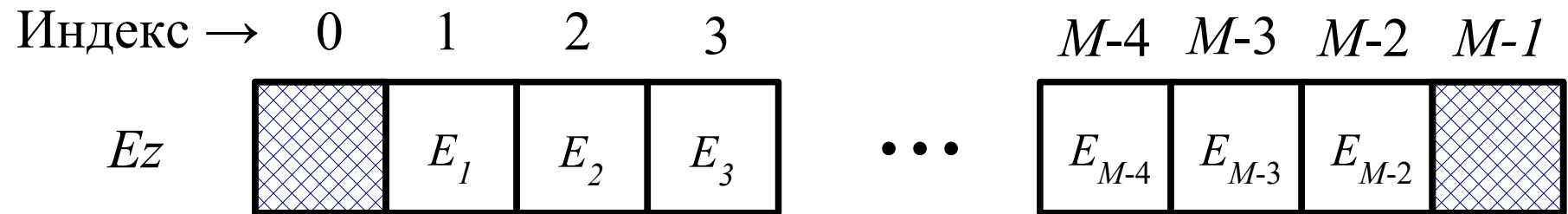
Коэффициент прохождения:

$$T = \frac{2\sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}}$$

1

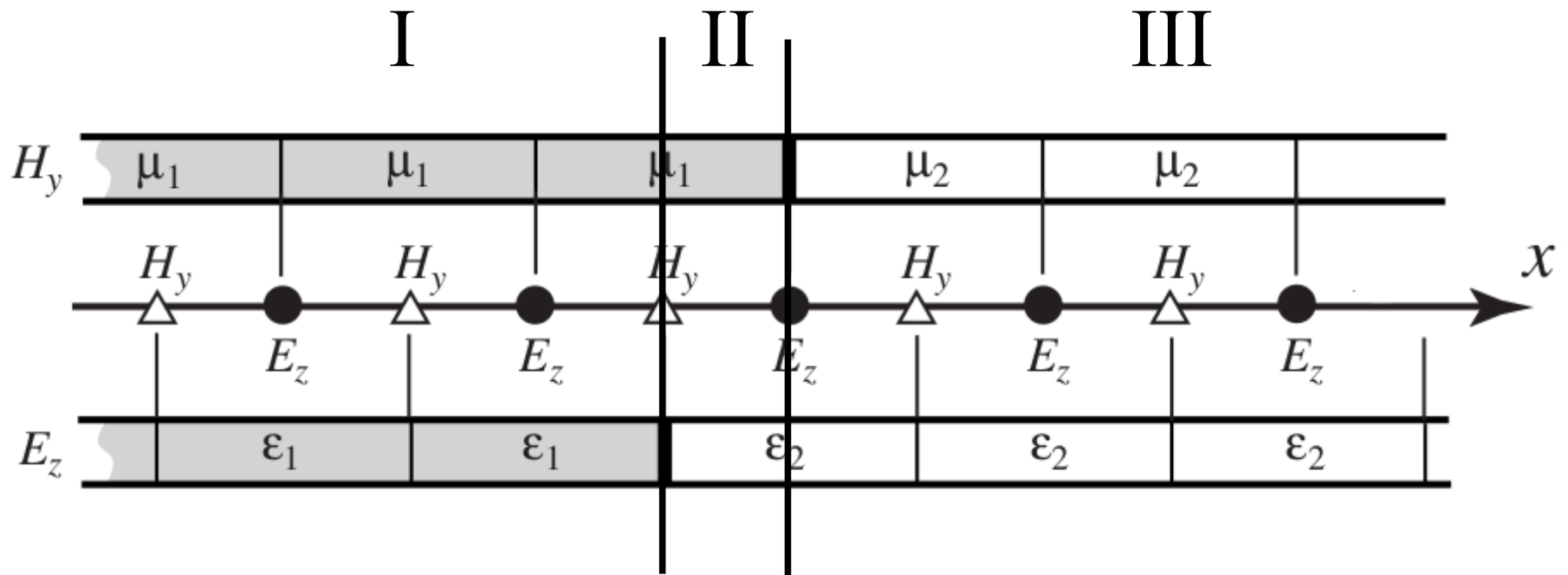


1



Демонстрация моделирования распространения электромагнитной волны в неоднородных средах

Погрешность из-за дискретной сетки



Погрешность из-за дискретной сетки

