

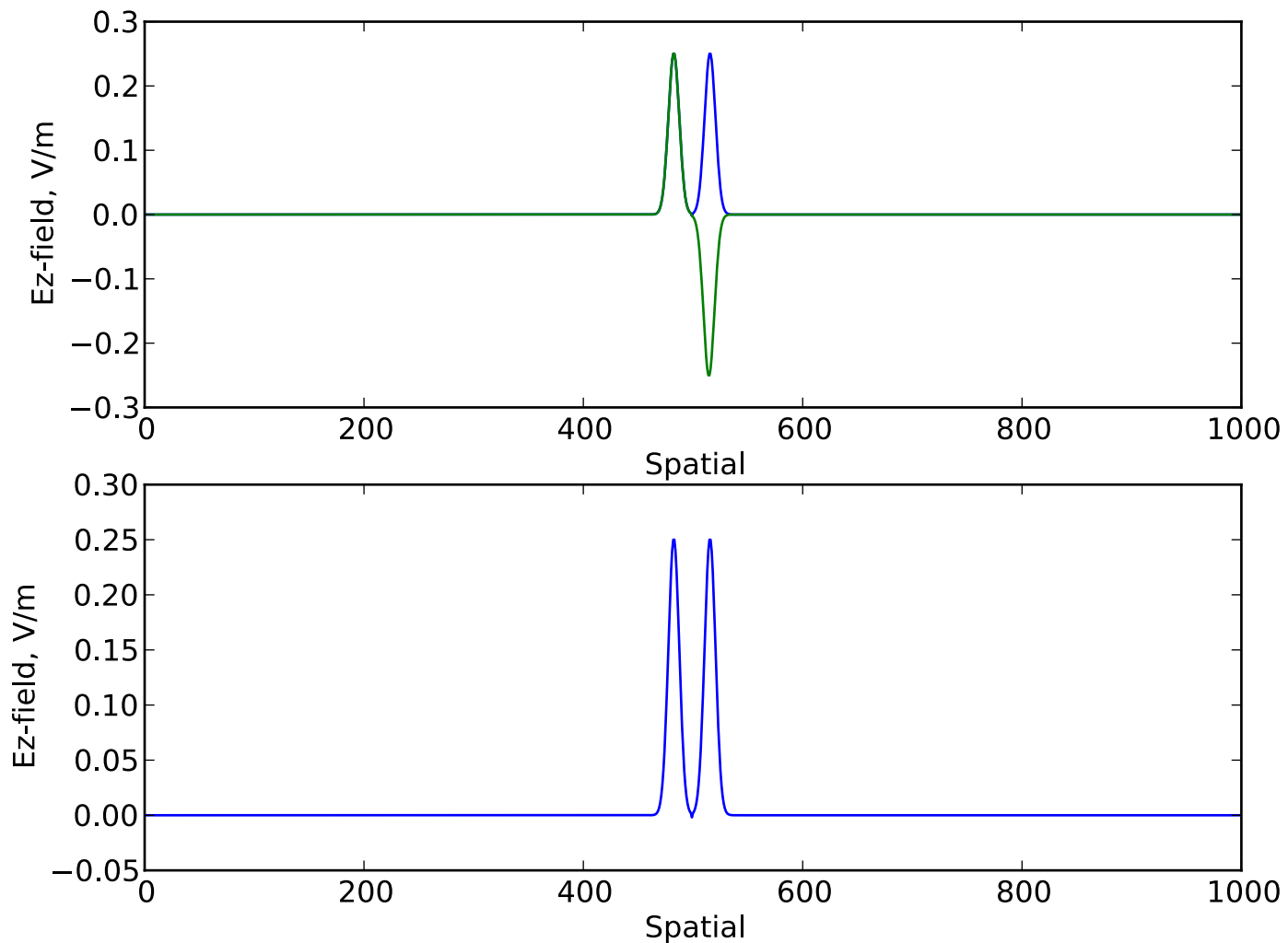
# Отчет по FD(TD и FD)

Студент: Павлов Н. Д.

Санкт-Петербург, 2016

# | Step: 0

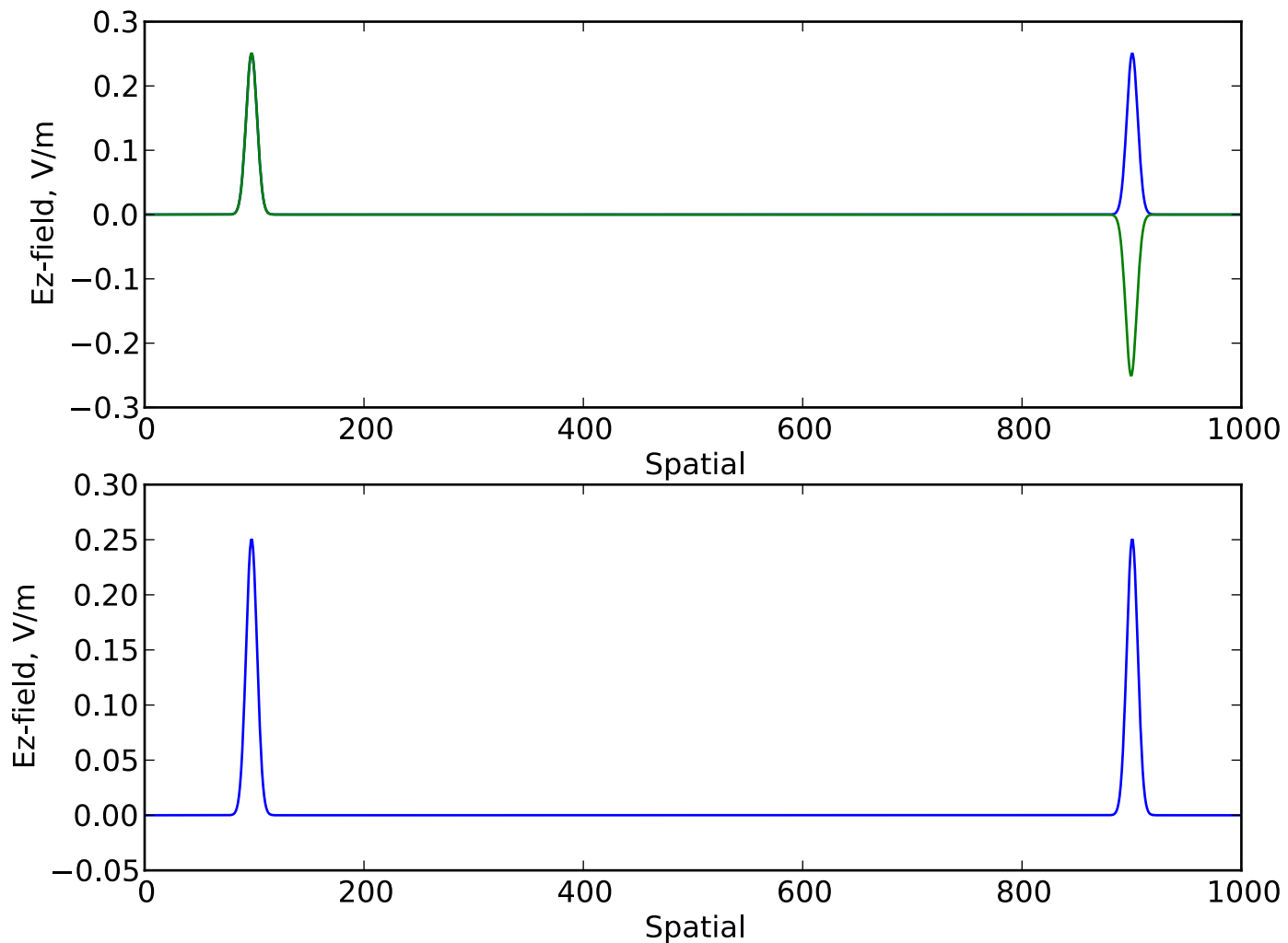
Источник создает два гауссовых пучка. Снимок в момент времени  $t=65$ .



Вводя источник поля с гауссовым профилем в домен, можно пронаблюдать следующую картину с данным пространственным распределением.

# | Step: 0

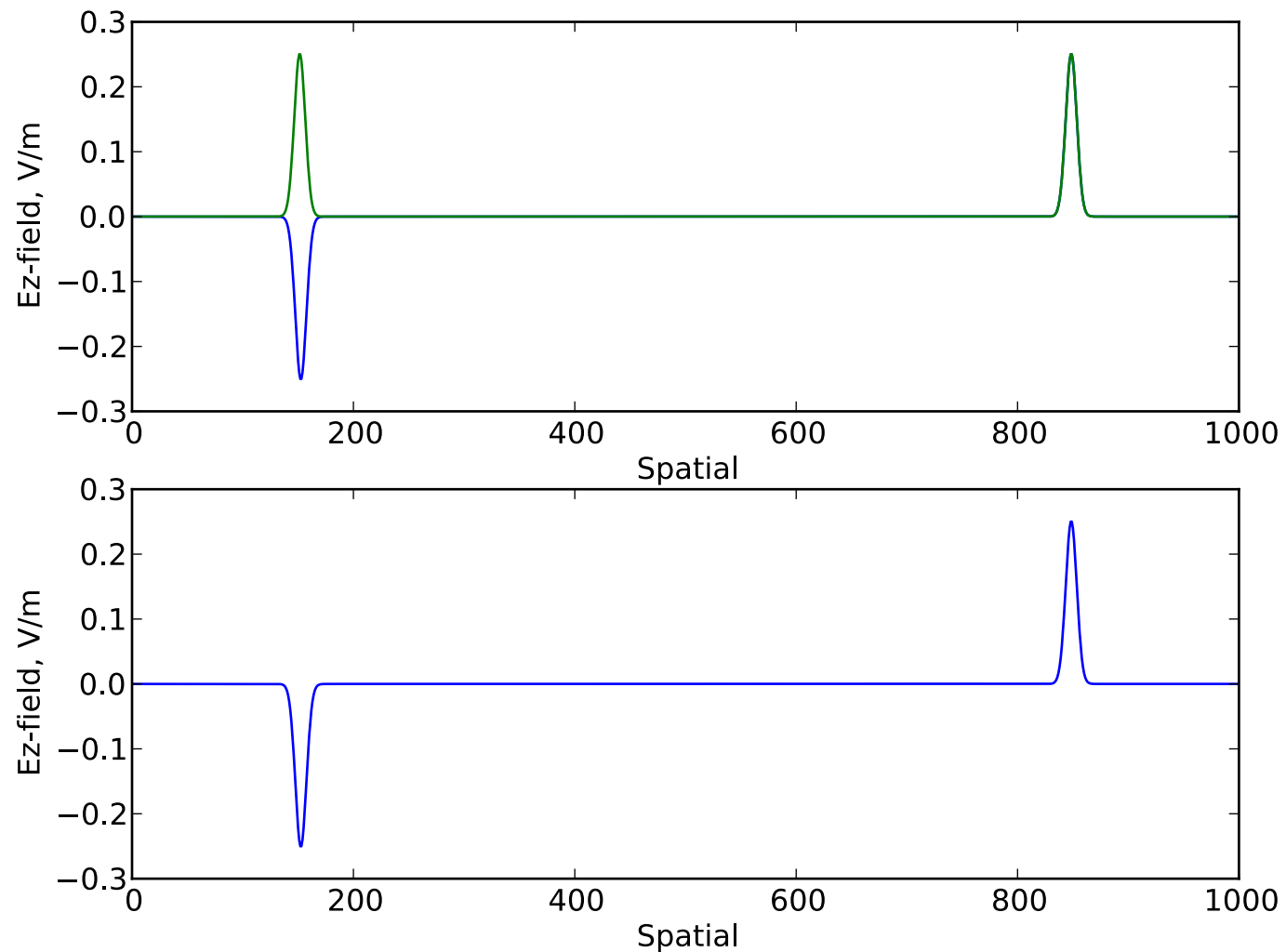
Снимок перед отражением. Снимок в момент времени  $t=450$ .



При  $t=450$  как мы видим из картинки, импульсы почти достигли границ домена. Электрическая граница слева. Магнитная справа. Посмотрим, что произойдет с импульсами дальше.

# | Step: 0

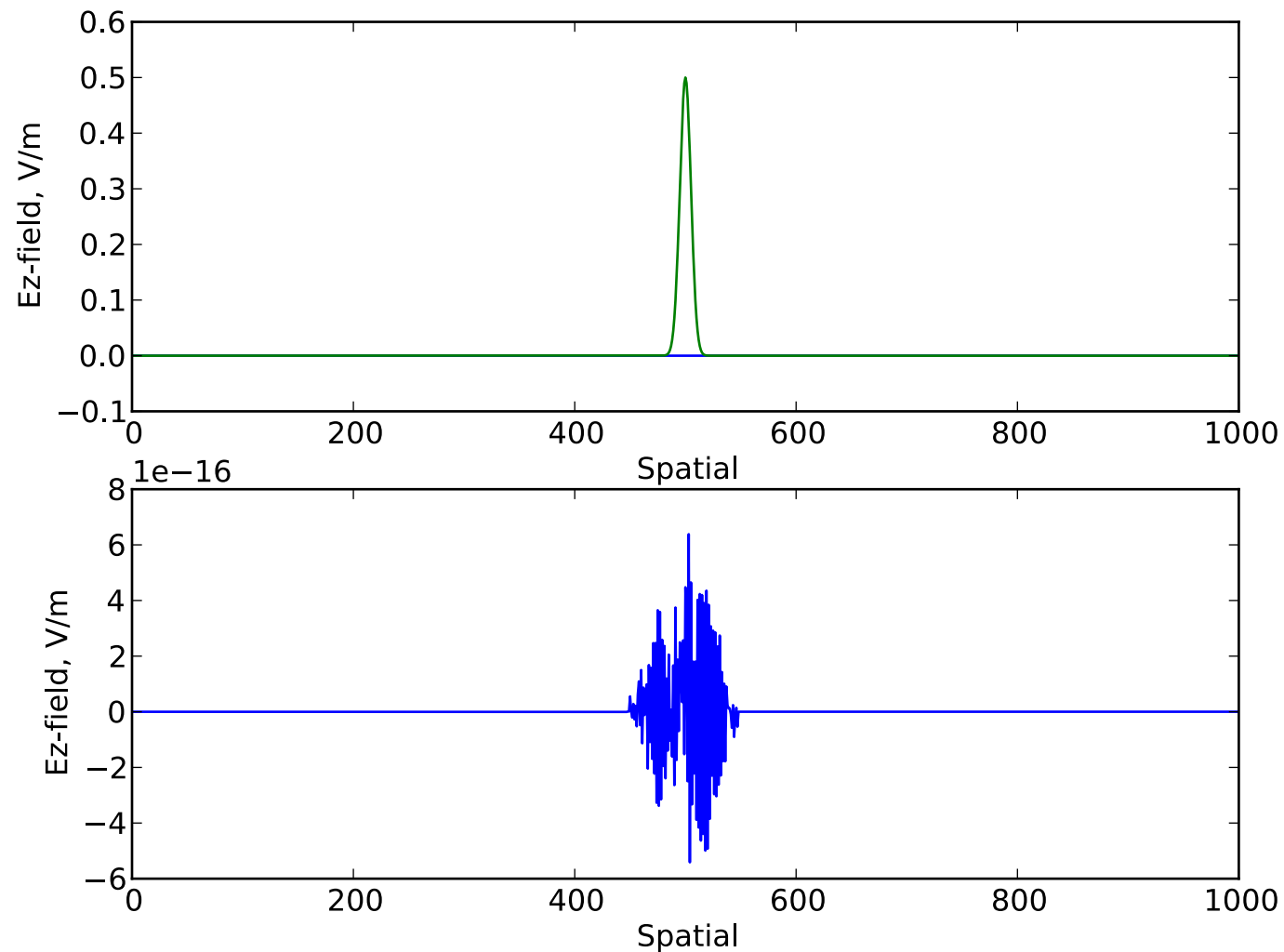
Снимок после отражения. Снимок в момент времени  $t=700$ .



Как мы видим, импульсы отразились и амплитуды претерпели изменения в соответствии с граничными условиями.

# | Step: 0

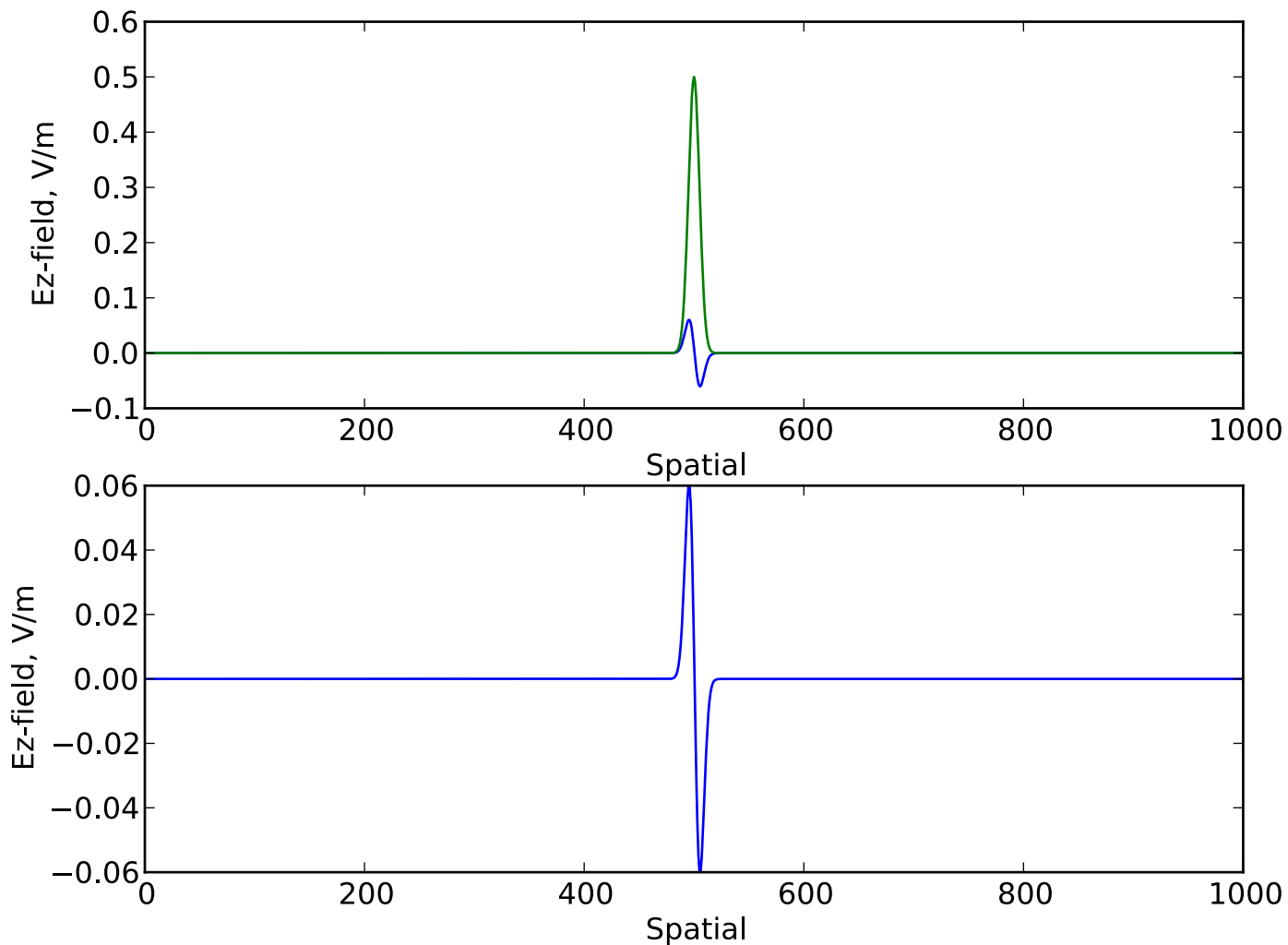
Практически полное стирание поля  $E$ . Снимок в момент времени  $t=1048$ .



В момент времени  $t=1048$  происходит практически полное стирание электрического поля  $E$ . Это произошло так как амплитуды электрического поля были в противофазе.

# | Step: 0

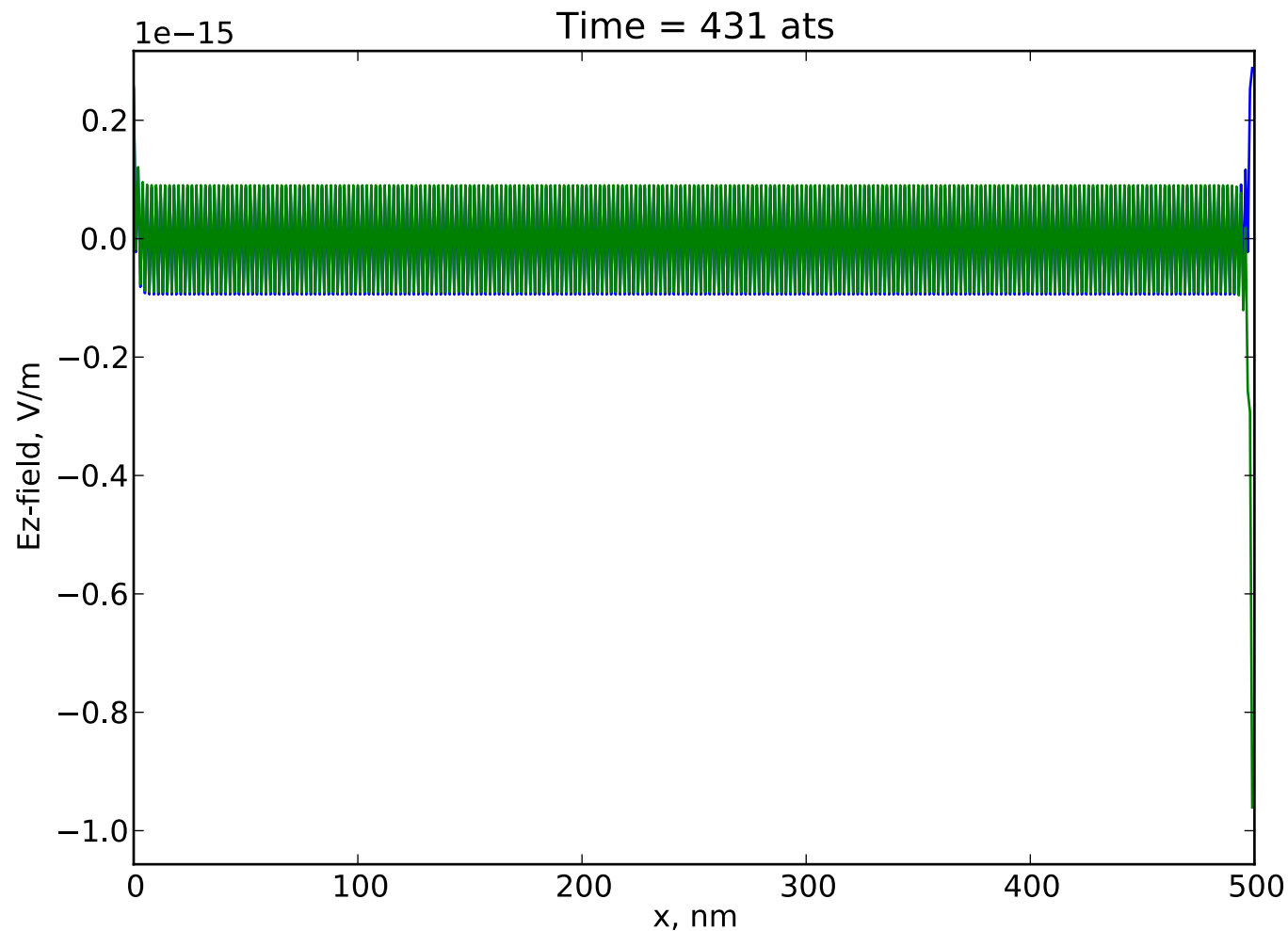
Момент времени последующий после стирания. Снимок в момент времени  $t=1049$ .



При дальнейшем увеличении времени, импульсы опять вернуться к прежним значениям амплитуды.

# |#| Step: 1

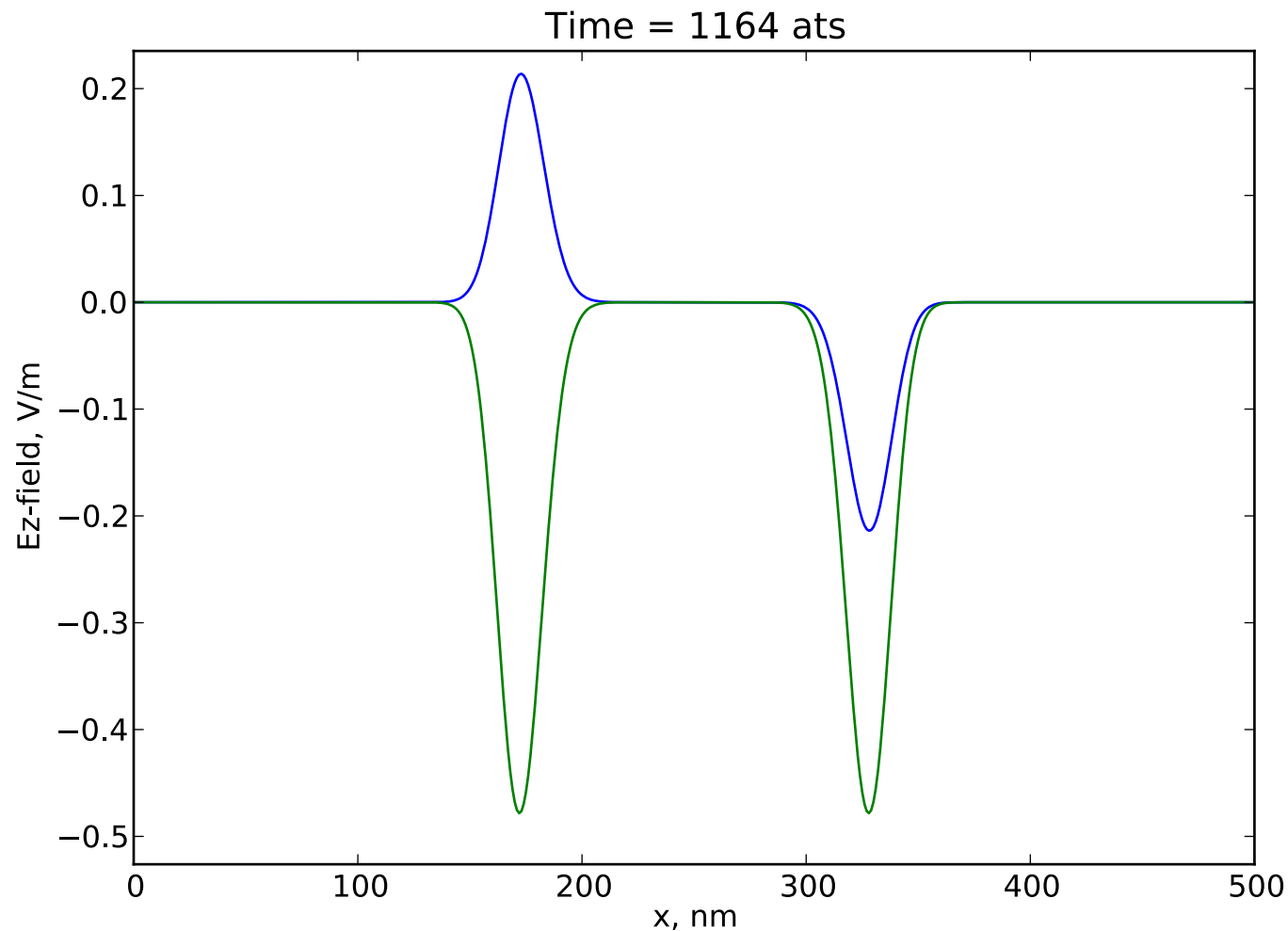
Стенки Simple ABC. Eps=1. Снимок в момент времени  $t=431$ . 1 отражения



Простейшим вариантом реализации бесконечно размерного домена кроется в правильно заданных граничных условиях. Таким образом импульсы как-бы не возвращаются в систему обратно после прохождения границы домена. В данном случае, мы просто приравниваем значения поля в крайних ячейках домена. Для вакуума переотражение в систему очень маленькое, что хорошо.

# |#| Step: 1

Стенки Simple ABC. Eps=5. Снимок в момент времени  $t=1164$ . 1 отражения

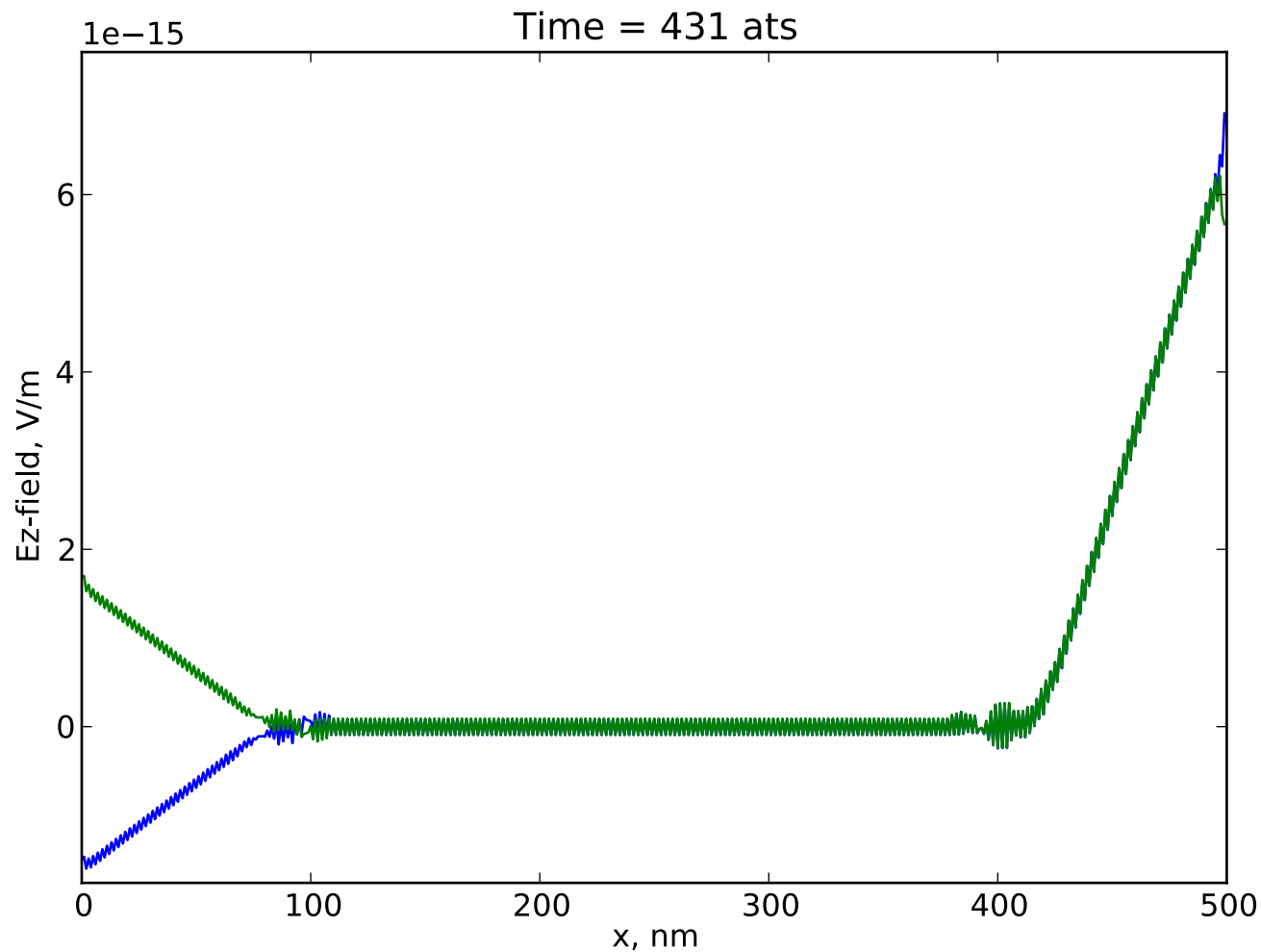


При распространении импульса в среде с диэлектрической проницаемостью равной 5, результат уже не такой хороший как для вакуума и это может приводить к нежелательным переотражениям в систему и последующему накоплению ошибки при измерении одного из импульсов.



# |#|Step: 1

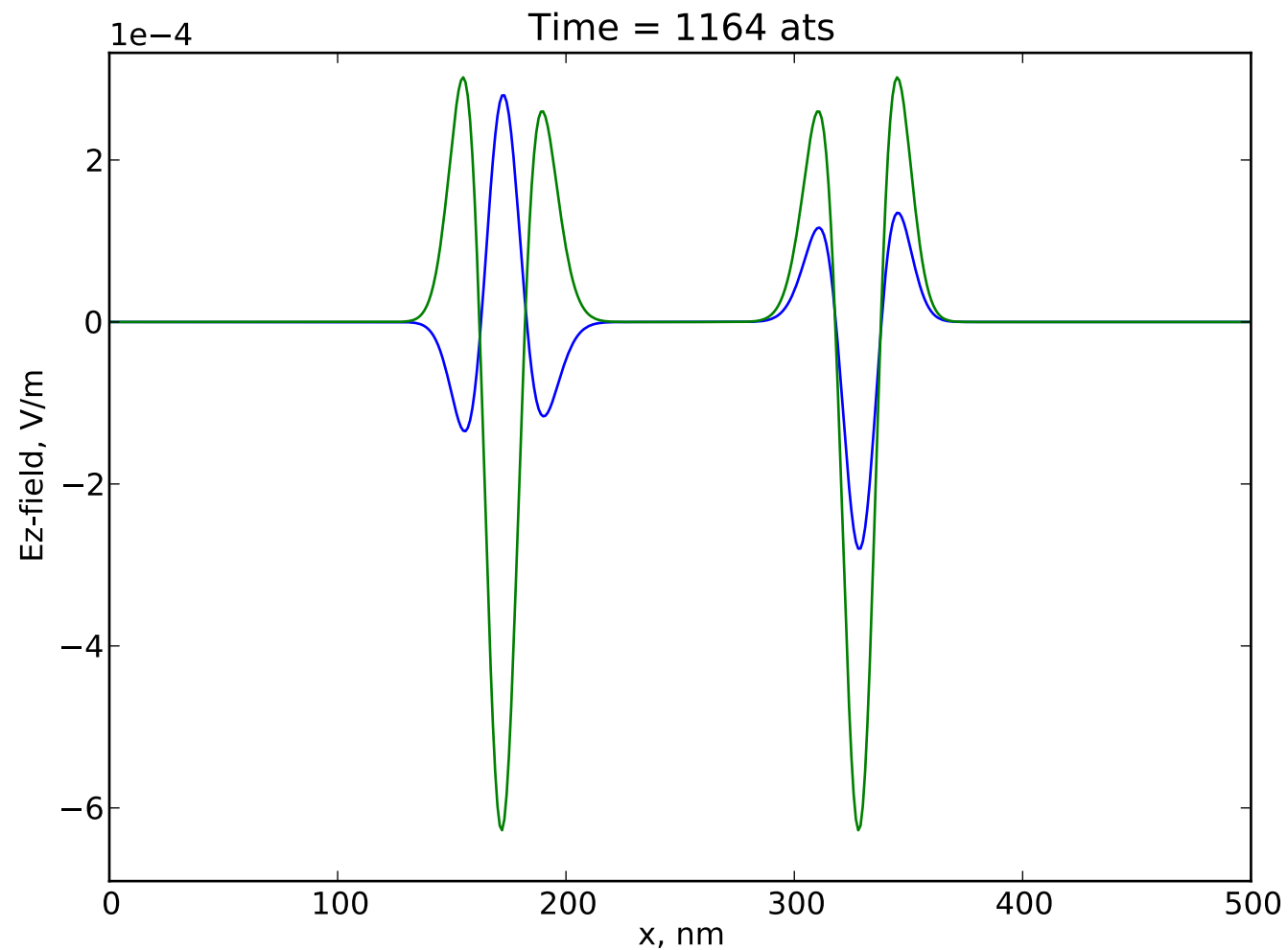
Стенки Mur ABC. Eps=1. Снимок в момент времени  $t=431$ . 1 отражения



Если же подобрать правильно значения амплитуд поля для последней ячейки, учитывая значение предыдущей, можно значительно увеличить эффективность метода. Для вакуума значение с простым ABC остается на уровне.

# |#| Step: 1

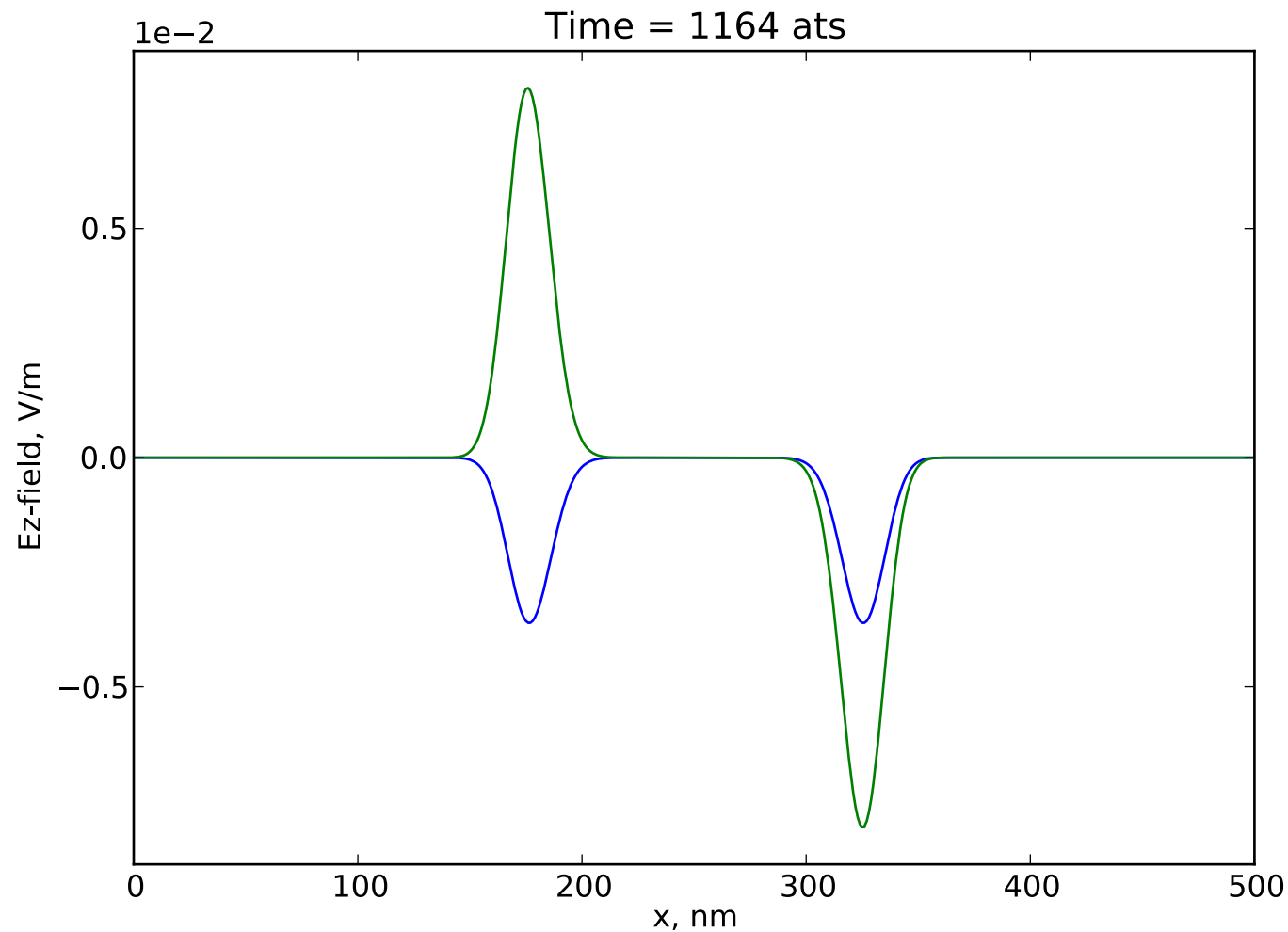
Стенки Mur ABC. Eps=5. Снимок в момент времени t=1164. 1 отражения



Для диэлектрика с  $\epsilon_r=5$  мы видим  
существенный выигрыш в точности.

# |#| Step: 23

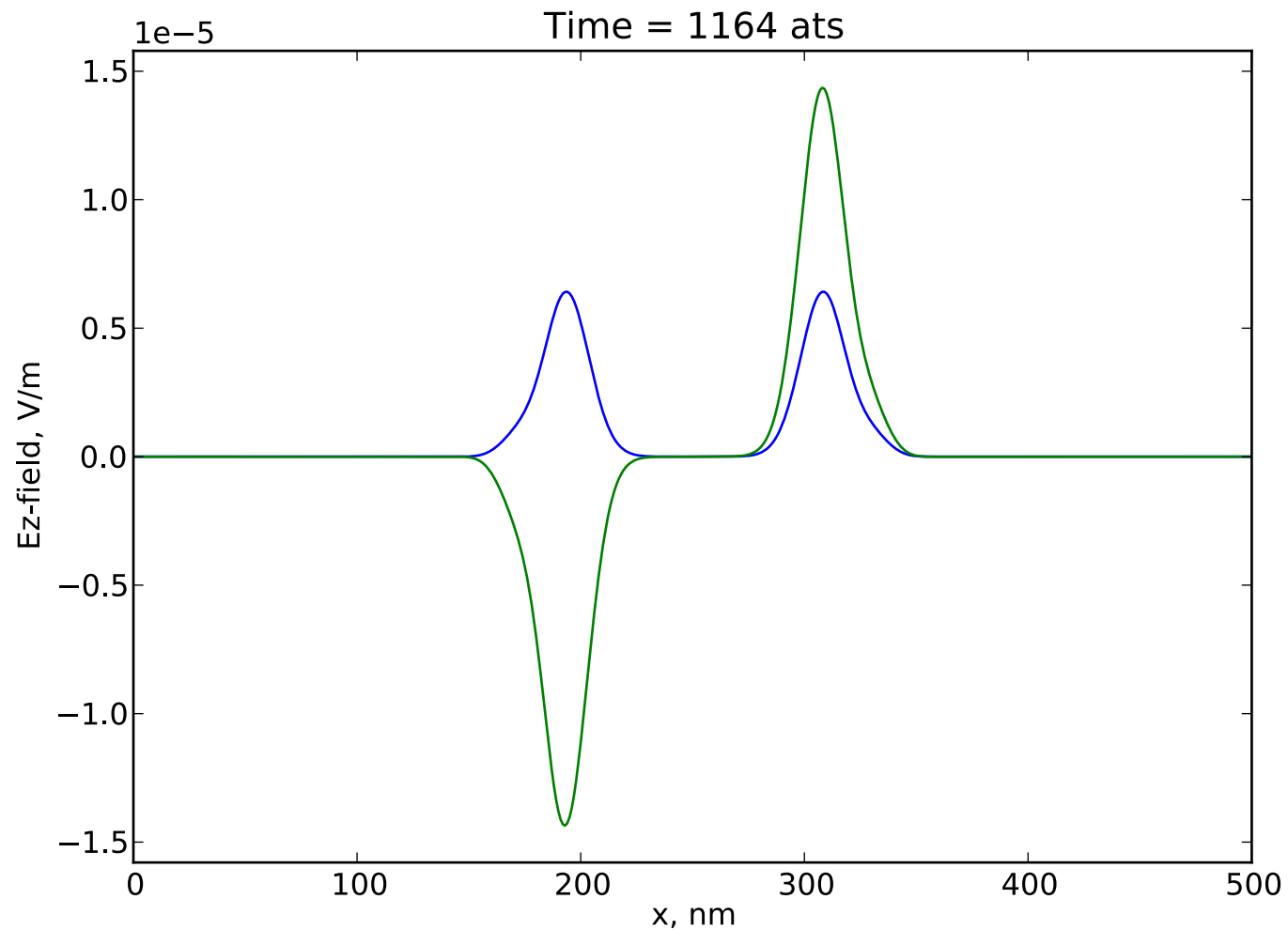
Стенки CPML. Eps=5. Снимок в момент времени t=1164. 5 ячеек



Учитывая метод согласования значения амплитуд поля на границах домена, можно еще не менее эффективно увеличить точность, за счет создания набора слоев с правильно подобранными значениями.

# |#| Step: 23

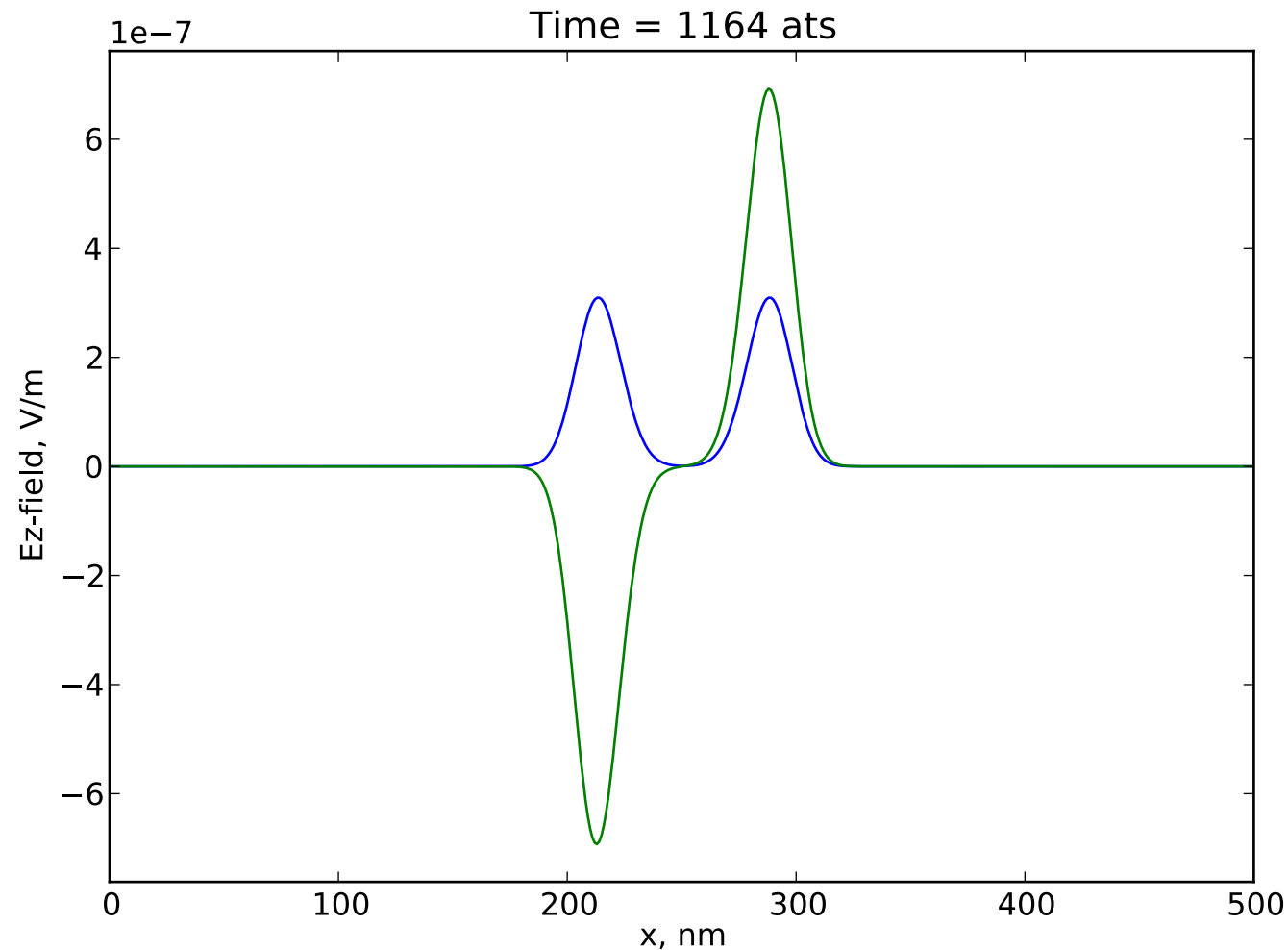
Стенки CPML. Eps=5. Снимок в момент времени t=1164. 10 ячеек



С увеличением количества ячеек на границы мы получаем наиболее точный метод зануления поля на границах домена.

## |#| Step: 23

Стенки CPML. Eps=5. Снимок в момент времени  $t=1164$ . 20 ячеек

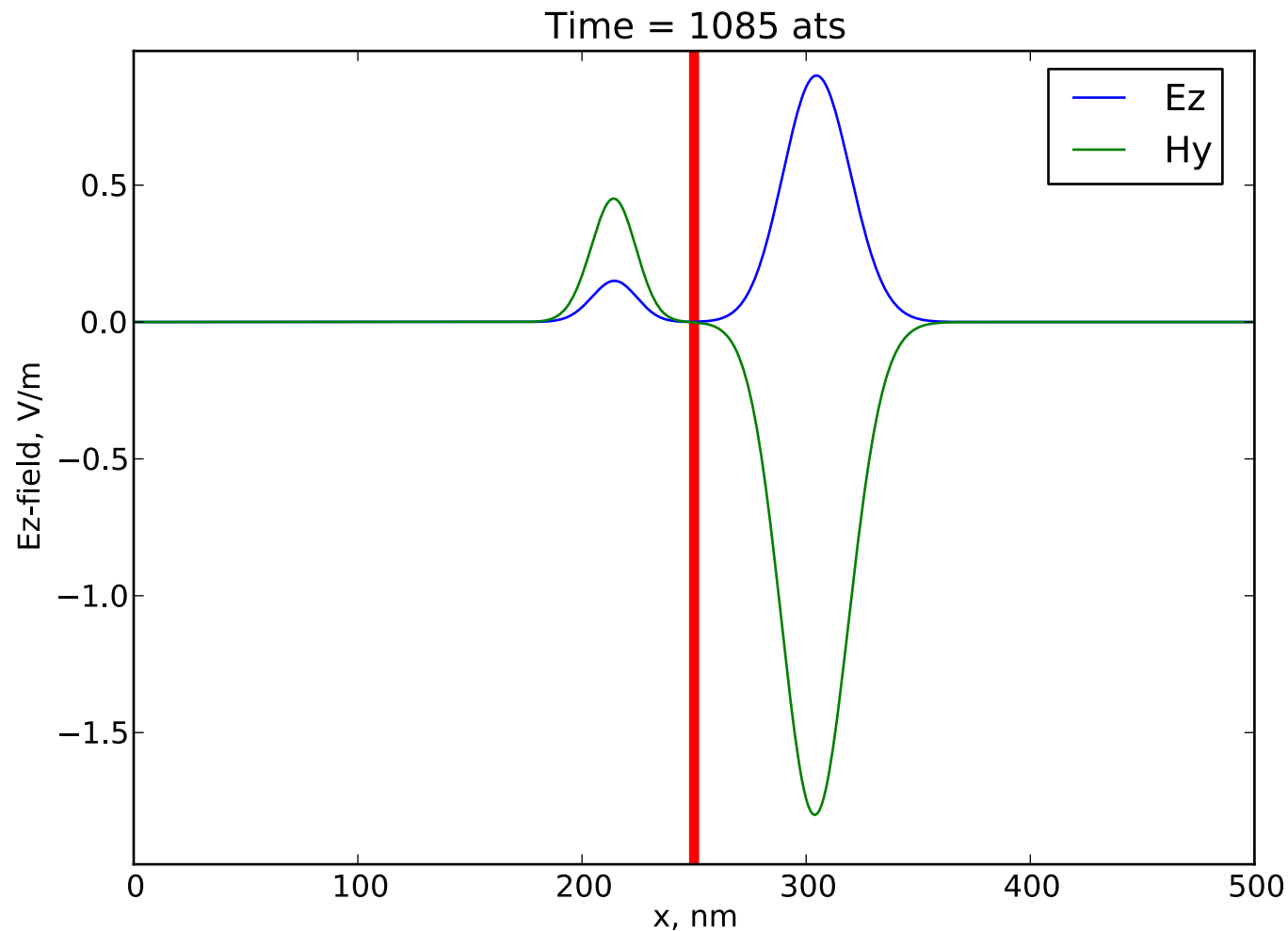


Подобный метод дает необходимую точность для создания эффективных поглощающих стенок домена и позволяет в дальнейшем проводить исследование одиночного импульса, распространявшегося в выделенном направлении.

Переместим наш источник из центра домена почти в левый край. И попробуем установить мониторы поля для решения задачи отражения от границы двух диэлектриков.

# |#| Step: 4

Стенки CPML. Eps=9 (слева) и 4 (справа). Снимок в момент времени  $t=1085$ . 20 ячеек.

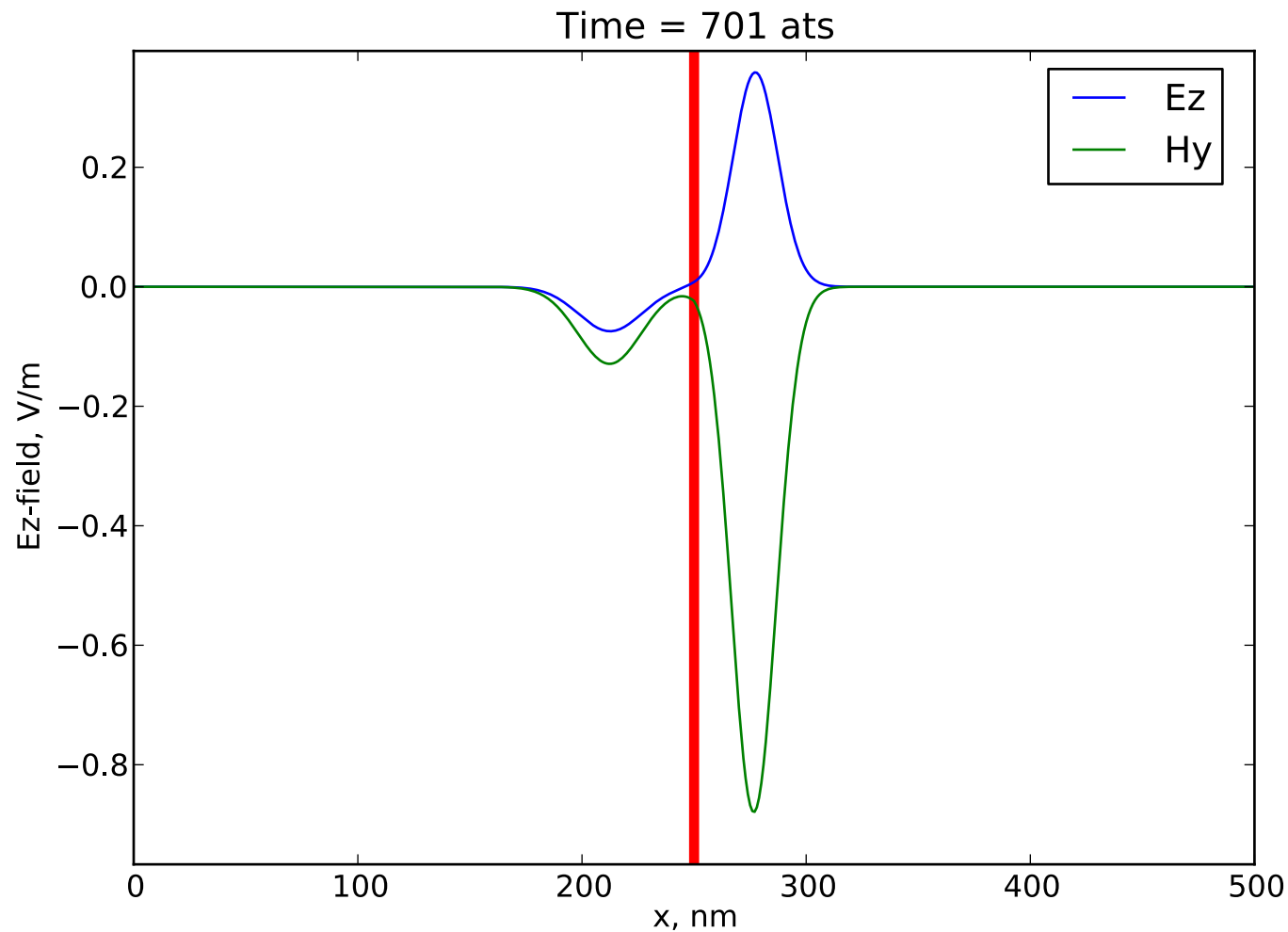


- $n1 = 3$
- $n2 = 2$
- FDTD = 0.959871
- Fresnel = 0.960000
- Error = 0.013439%

Картина поля снята после прохождения границы раздела диэлектрик-диэлектрик. Исходный импульс распространялся слева направо.

# |#| Step: 4

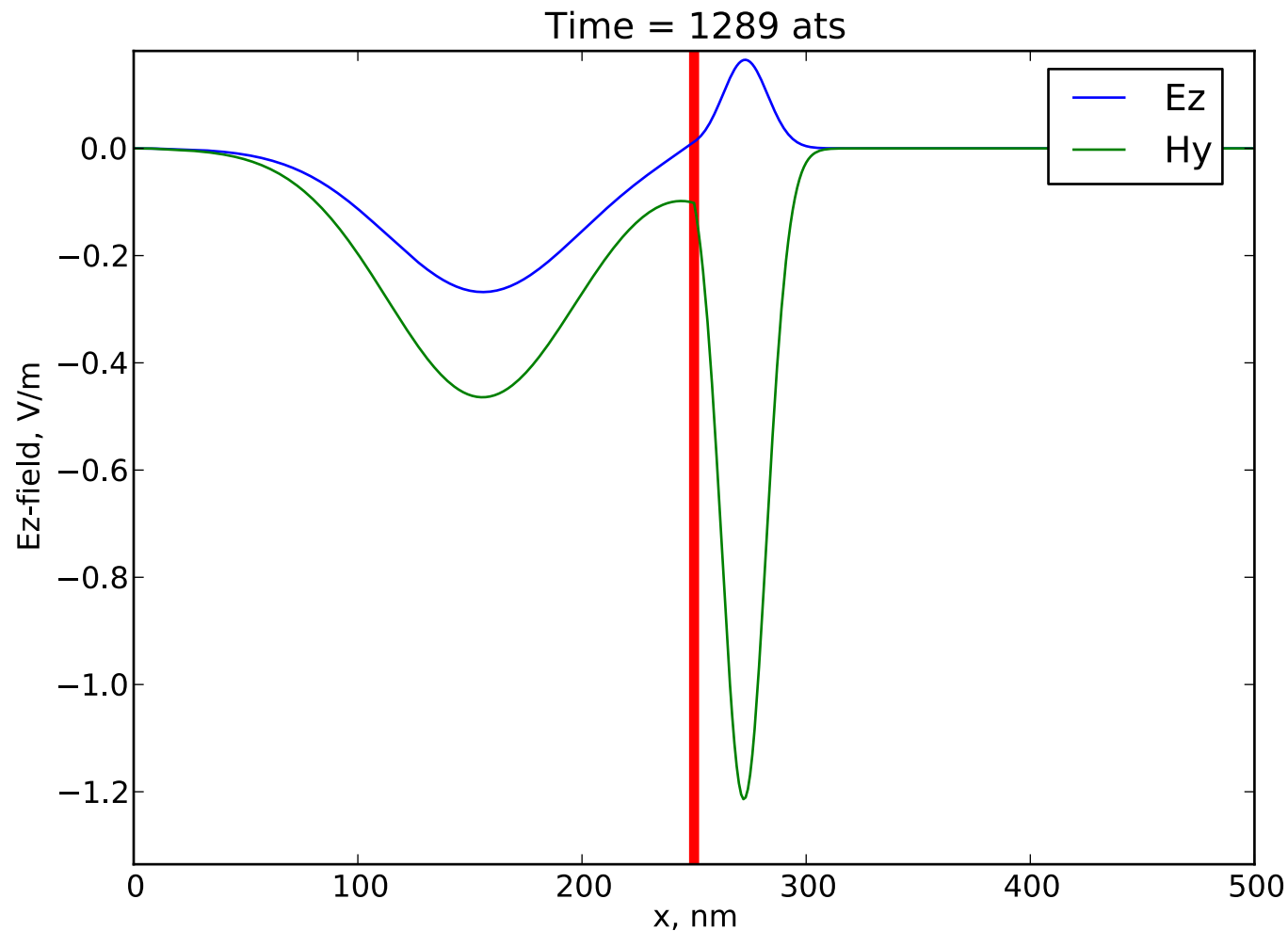
Стенки CPML. Eps=3 (слева) и 6 (справа). Снимок в момент времени  $t=701$ . 20 ячеек.



- $n1 = 1.732051$
- $n2 = 2.449490$
- FDTD = 0.970463
- Fresnel = 0.970563
- Error = 0.010261%

# |#| Step: 4

Стенки CPML. Eps=3 (слева) и 54 (справа). Снимок в момент времени  $t=1289$ . 20 ячеек.



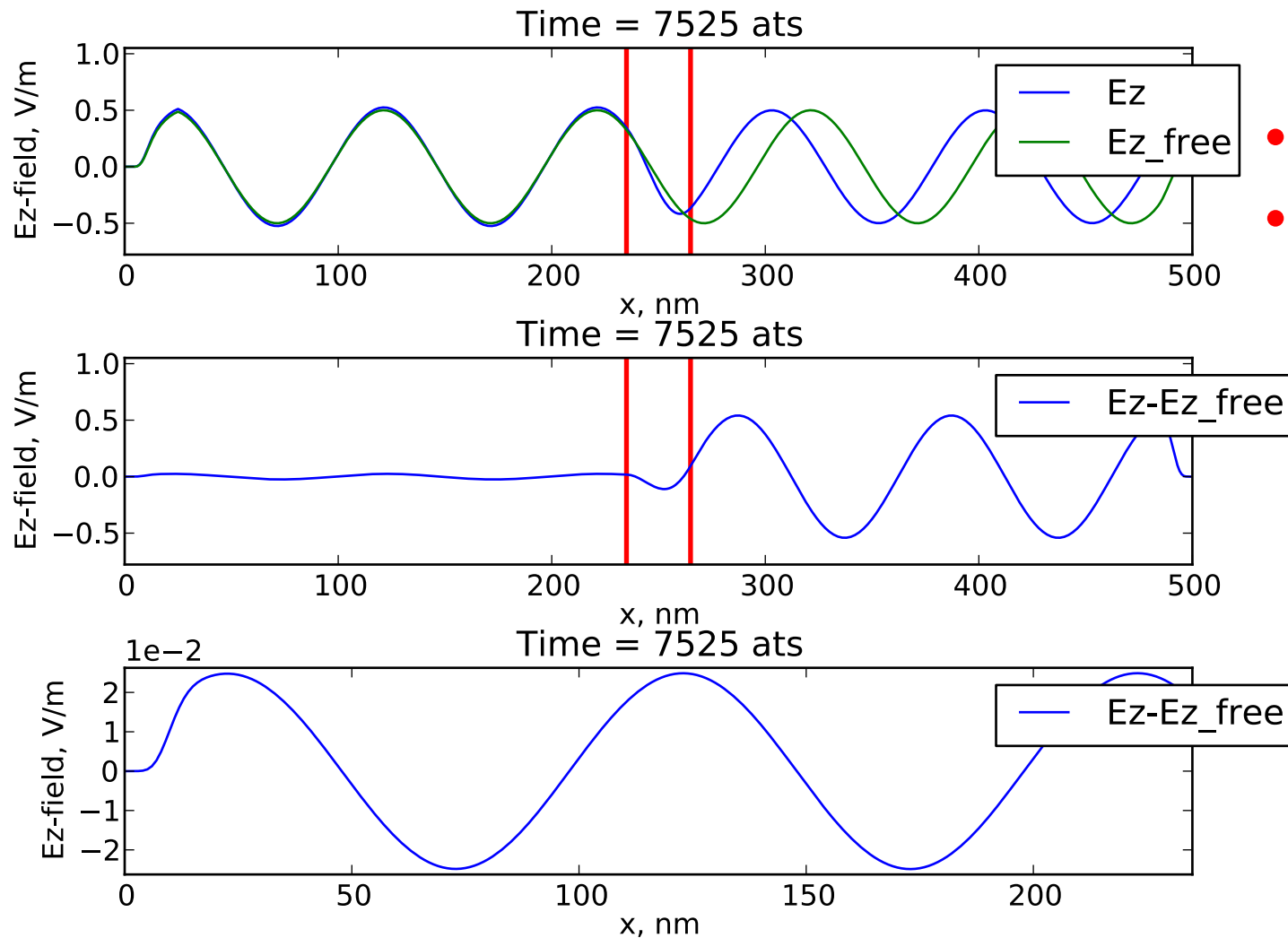
- $n1 = 1.732051$
- $n2 = 7.348469$
- $\text{FDTD} = 0.617170$
- $\text{Fresnel} = 0.617442$
- $\text{Error} = 0.043980 \%$

Как мы видим метод FDTD позволяет численно решать граничную задачу и иметь хорошее согласование с теорией. На приведенных примерах. Ошибка не более десятой процента.



# |#| Step: 5

Стенки CPML. Полуволновая пластинка. Снимок в момент времени  $t=4859$ . 20 ячеек.



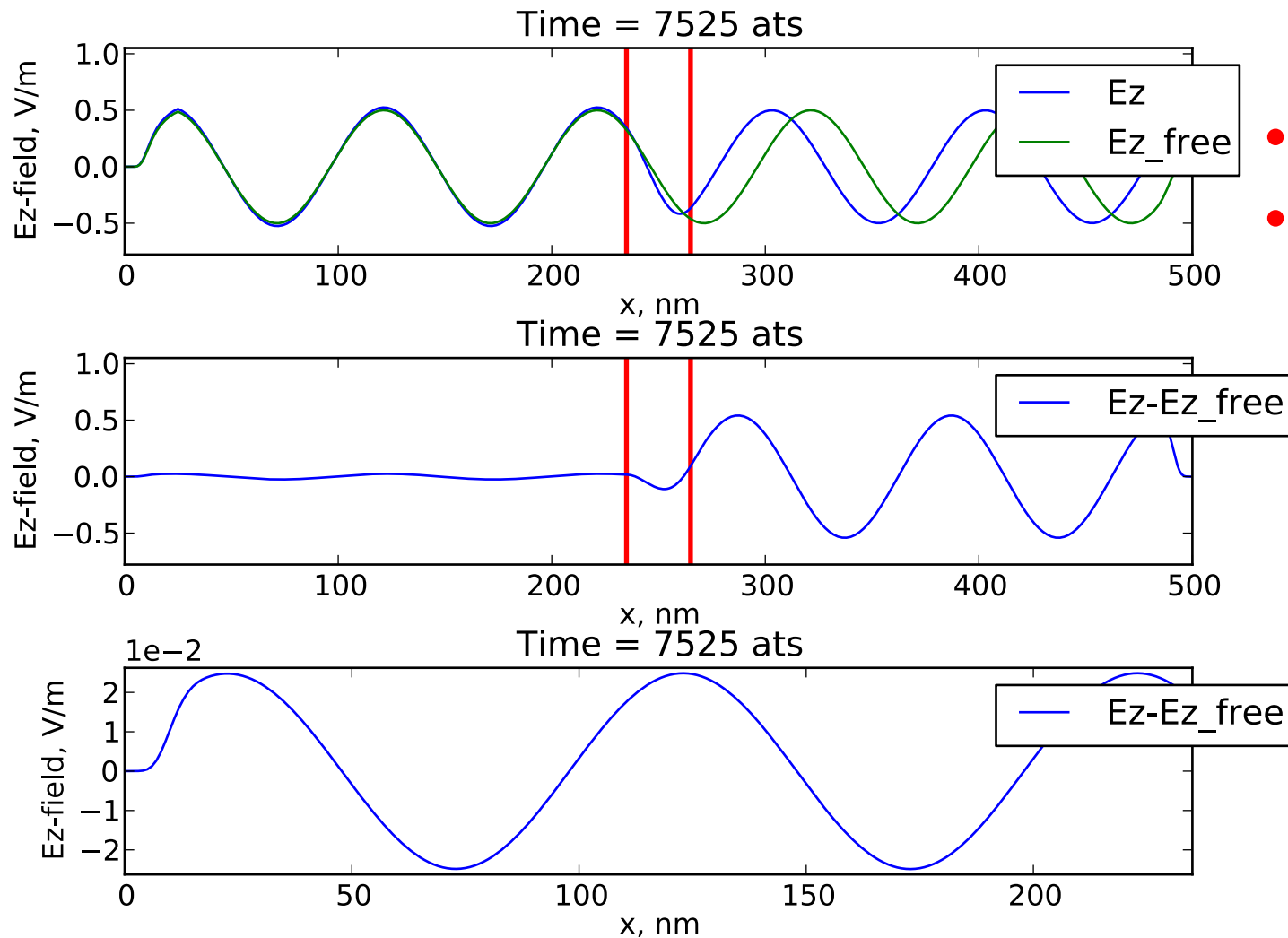
- $\text{Eps\_pl} = 5$
- $\text{Eps\_free} = 2$

Теперь создадим пластинку конечной ширины с диэлектрической проницаемостью, отличной от диэлектрической проницаемости домена.

В данном случае мы создаем пластинку такой ширины, чтобы на ней укладывалось пол длины падающей волны. Как видно из картинки происходит изменение фазы волны, после прохождения ее через пластинку.

# |#| Step: 5

Стенки CPML. Полуволновая пластинка. Снимок в момент времени  $t=4859$ . 20 ячеек.



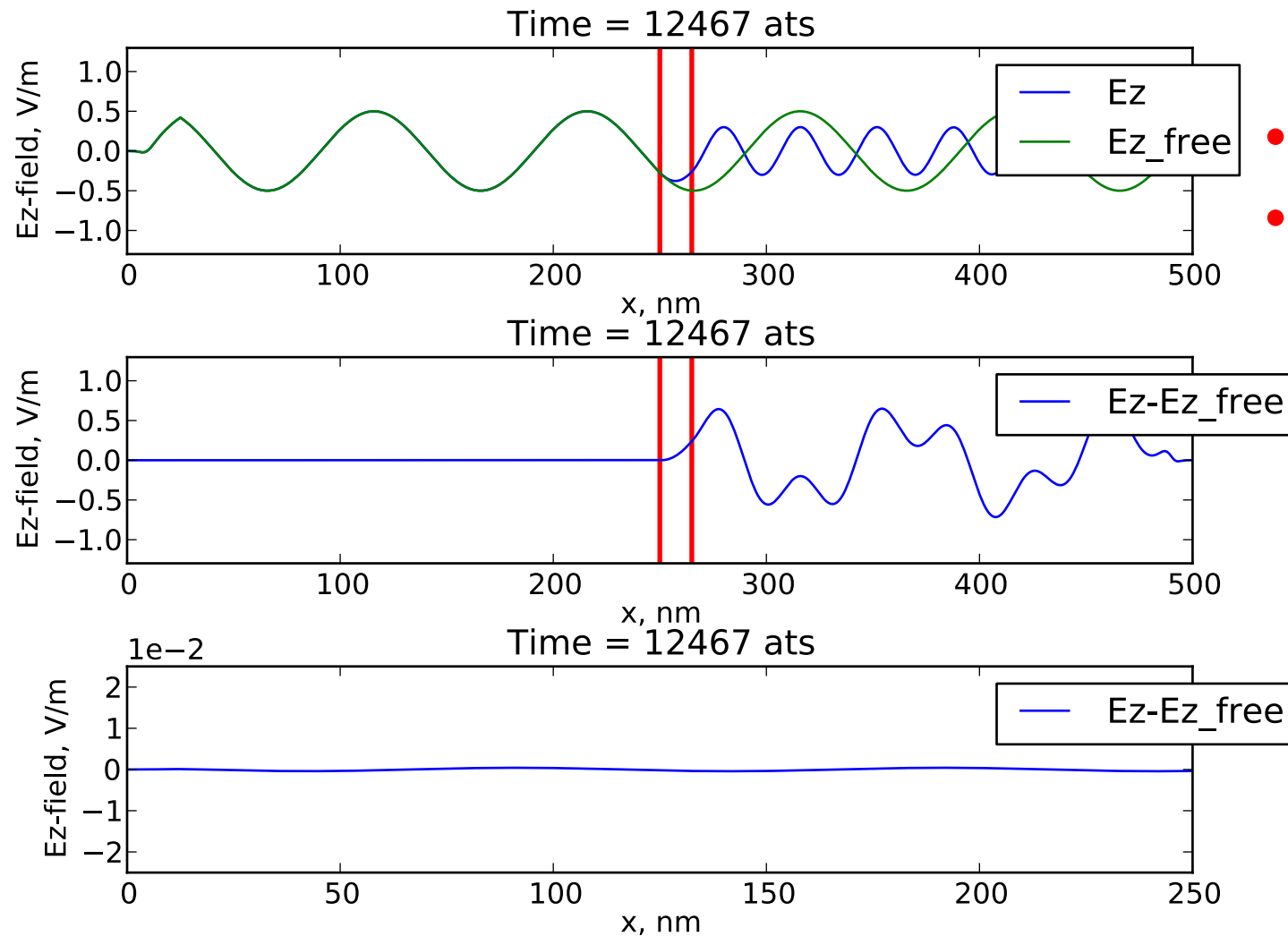
- $Eps_{pl} = 5$
- $Eps_{free} = 2$

Теперь создадим пластинку конечной ширины с диэлектрической проницаемостью, отличной от диэлектрической проницаемости домена.

В данном случае мы создаем пластинку такой ширины, чтобы на ней укладывалось пол длины падающей волны. Как видно из картинки происходит изменение фазы волны, после прохождения ее через пластинку.

# |#| Step: 6

Стенки CPML. Четвертьволновая пластинка. Снимок в момент времени  $t=12467$ . 20 ячеек.



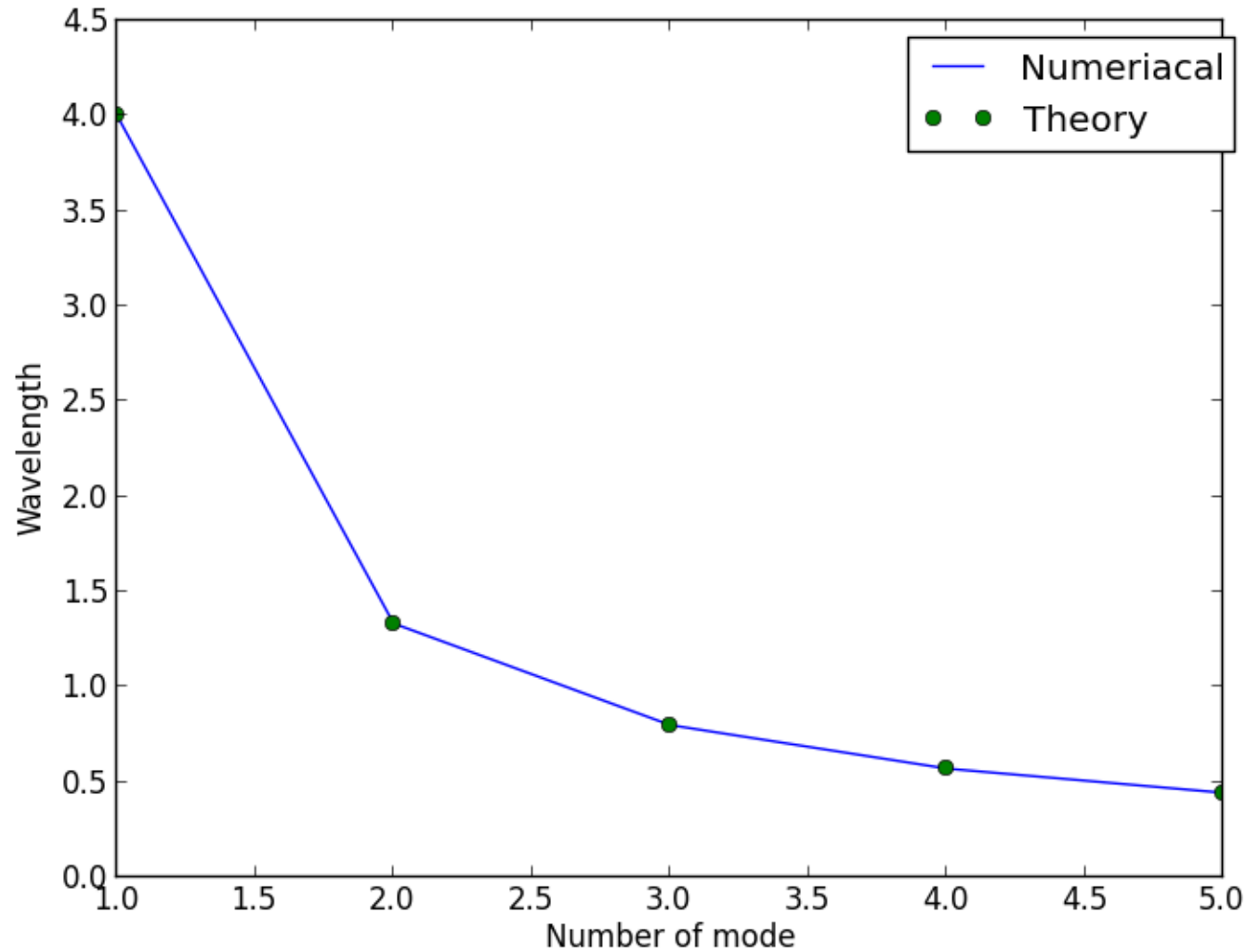
- $Eps_{pl} = 5$
- $Eps_{free} = 2$

Аналогично полуволновой пластинке задаем четвертьволновую, чтобы на ней укладывалось четверть волны подающей волны. Также учтем градиент диэлектрической проницаемости при выходе из пластинки и зададим оптически более плотную среду.

Из рисунка видно, что отражение уменьшилось в сравнении с полуволновой пластинкой и явно стала видна модуляция фазы и амплитуды.

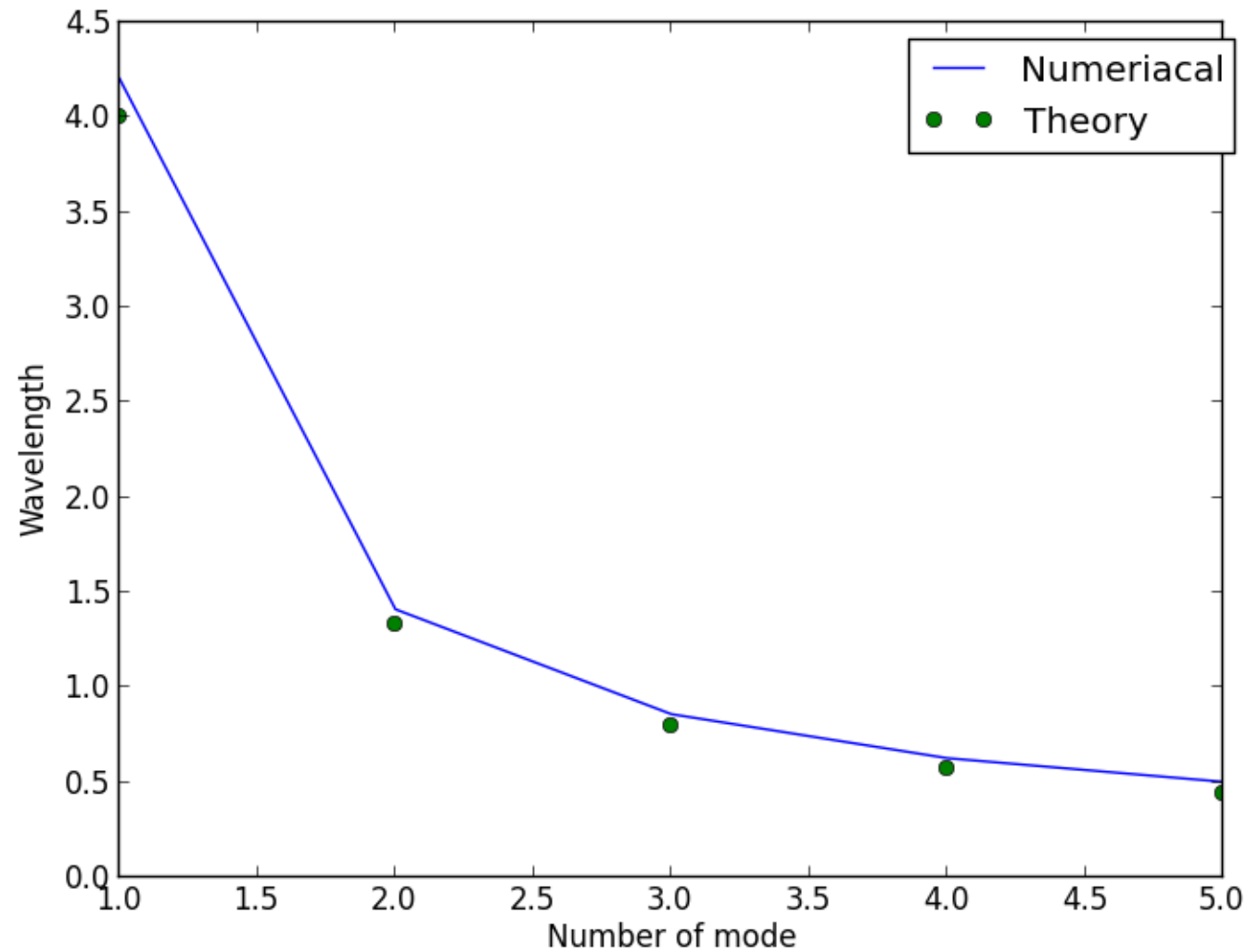
# |#| Step: 8 FDFD

Соответствующие длины волн для 5 мод в домене с  $\epsilon_{rs}$  и  $\mu_t$  равными 1. Всего ячеек в домене 1000.



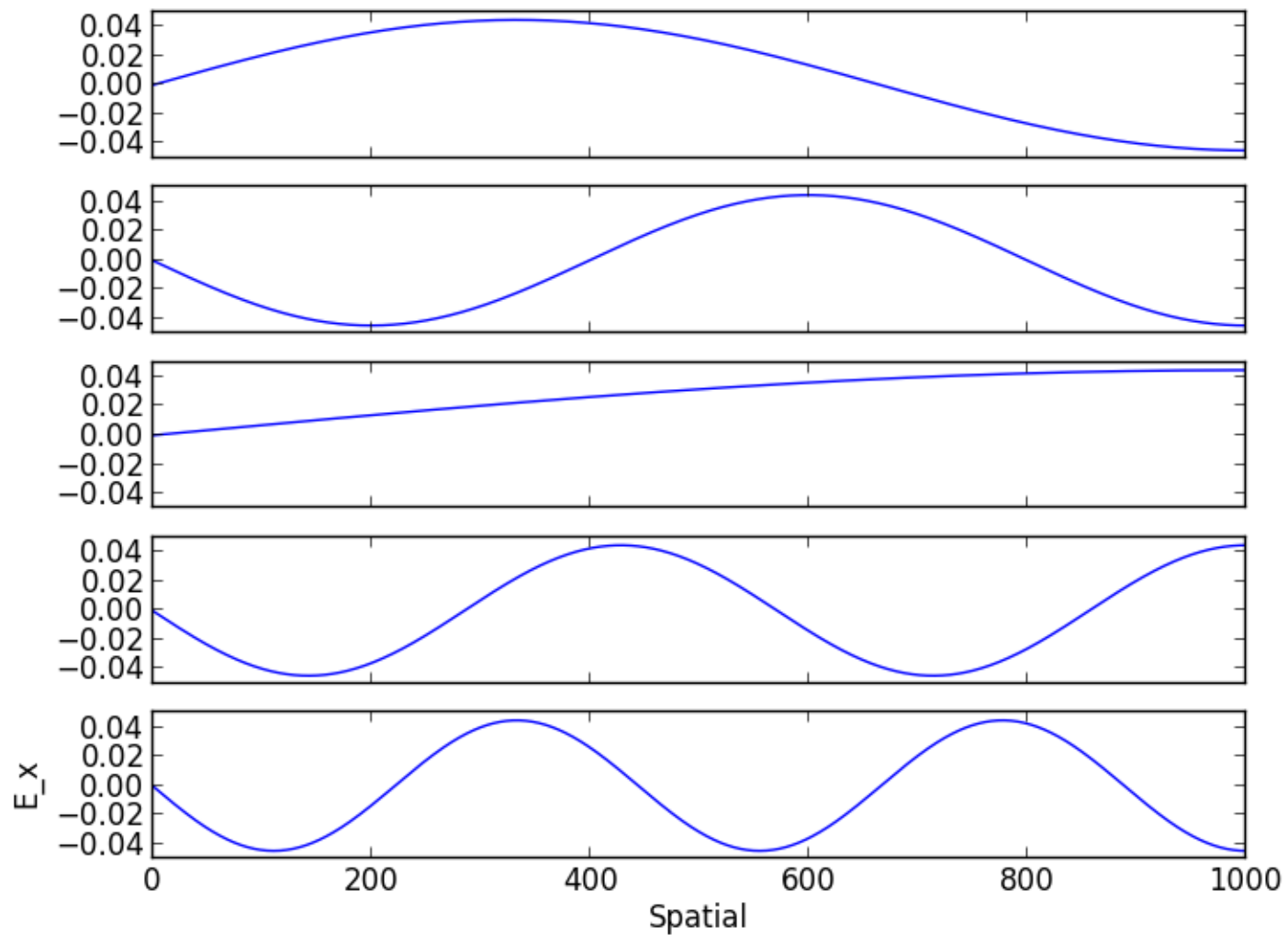
# |#| Step: 8 FDFD

Соответствующие длины волн для 5 мод в домене с  $\epsilon_{rs}$  и  $\mu_t$  равными 1. Всего ячеек в домене 10.



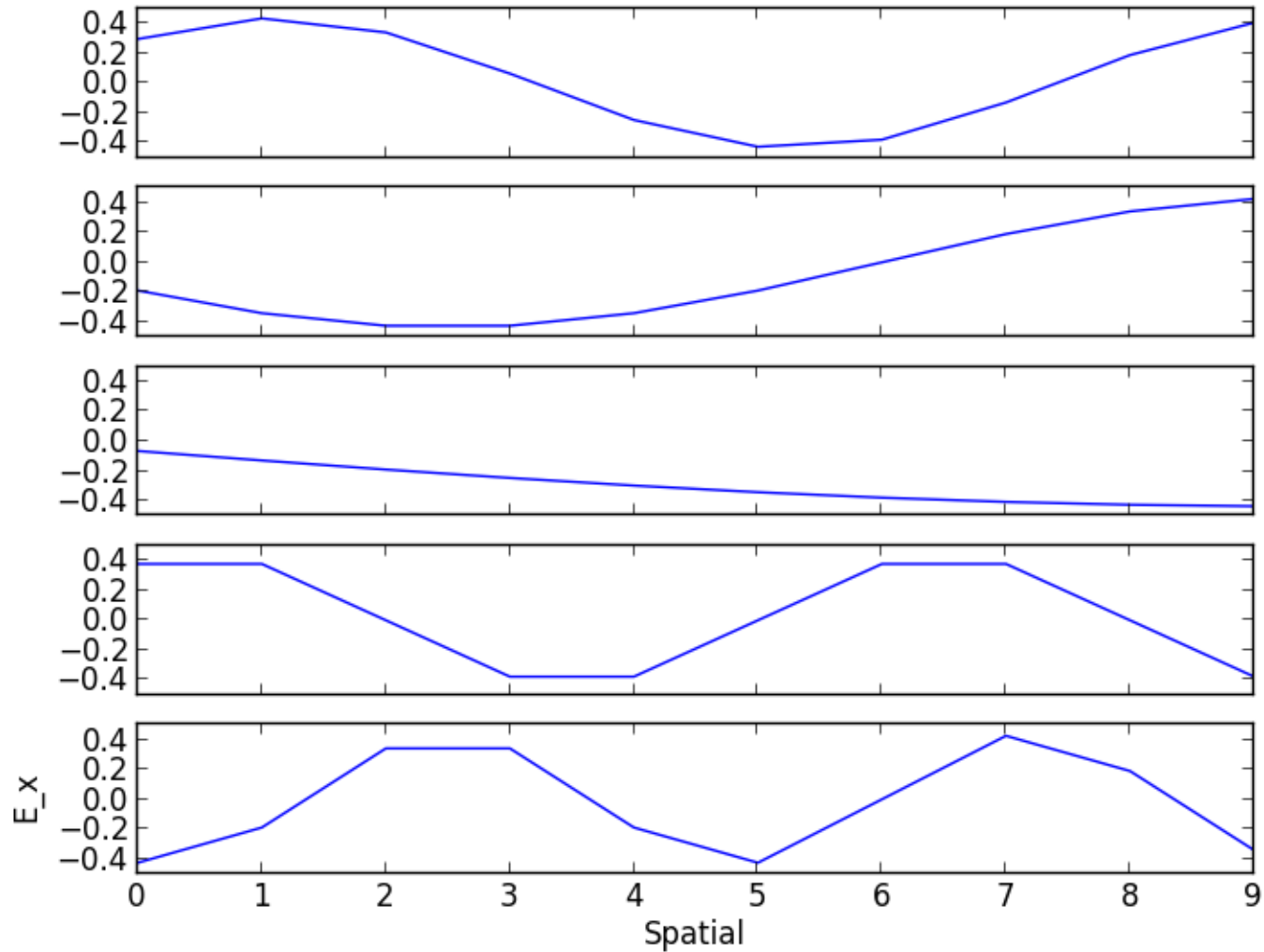
# |#| Step: 8 FDFD

Распределение электрического для 5 мод в домене с  $\epsilon_{rs}$  и  $\mu_i$  равными 1. Всего ячеек в домене 1000.



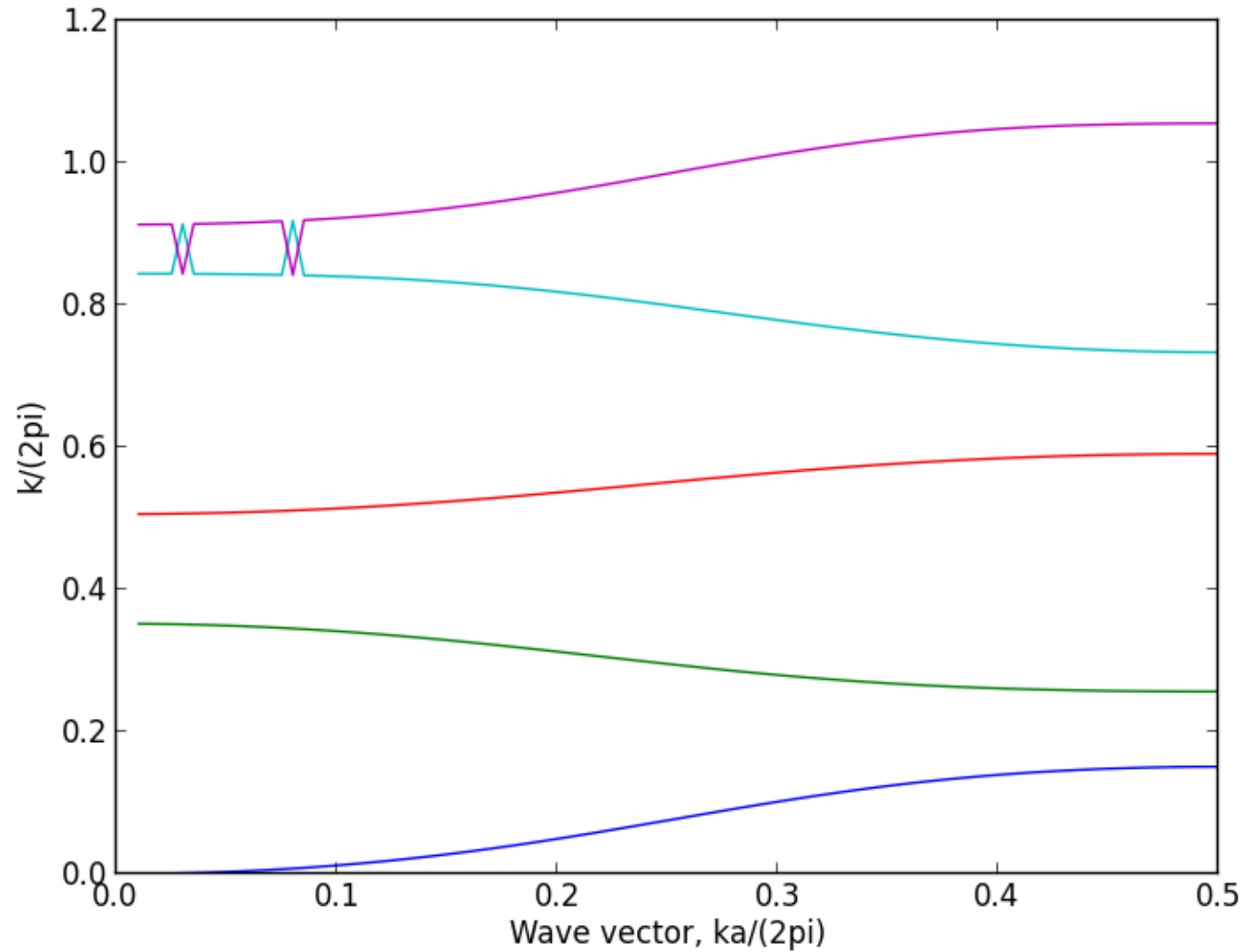
# |#| Step: 8 FDFD

Распределение электрического для 5 мод в домене с  $\epsilon_{rs}$  и  $\mu_i$  равными 1. Всего ячеек в домене 10.



# |#| Step: 9 FDFD

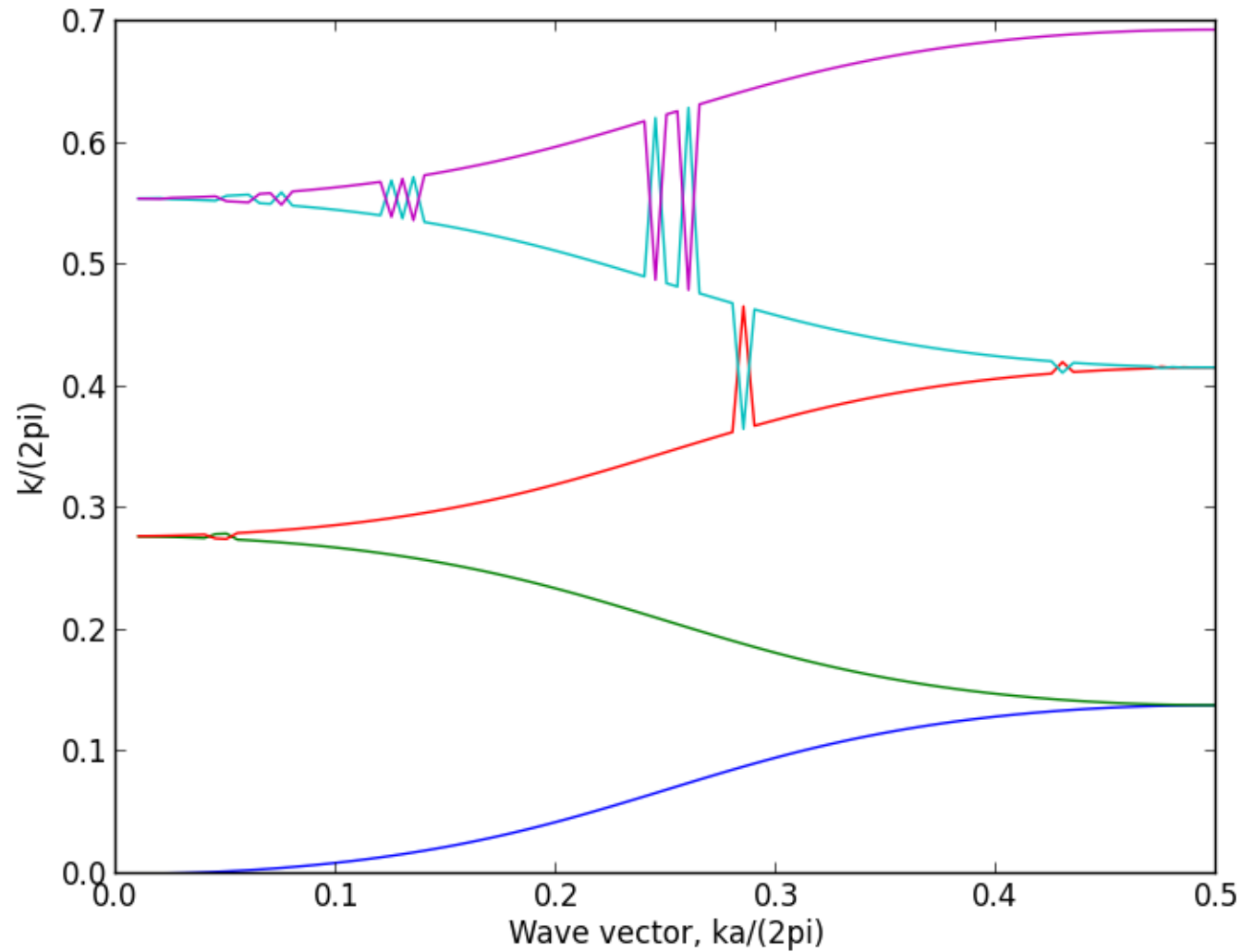
Дисперсионная диаграмма для слоистой структуры с  $\epsilon_{rs1}=13$ ,  $\epsilon_{rs2}=1$  для 5 мод. Всего ячеек в домене 1000.





# |#| Step: 9 FDFD

Дисперсионная диаграмма для слоистой структуры с  $\epsilon_{ps1}=13$ ,  $\epsilon_{ps2}=12$  для 5 мод. Всего ячеек в домене 1000.



# |#| Step: 9 FDFD

Дисперсионная диаграмма для слоистой структуры с  $\epsilon_{ps1}=13$ ,  $\epsilon_{ps2}=13$  для 5 мод. Всего ячеек в домене 1000.

