

Численное моделирование распространения импульсов лазерного излучения в тонких облачных слоях



赵洪丽 ЧЖАО ХУНЛИ
ИЛЮШИН Я.А.

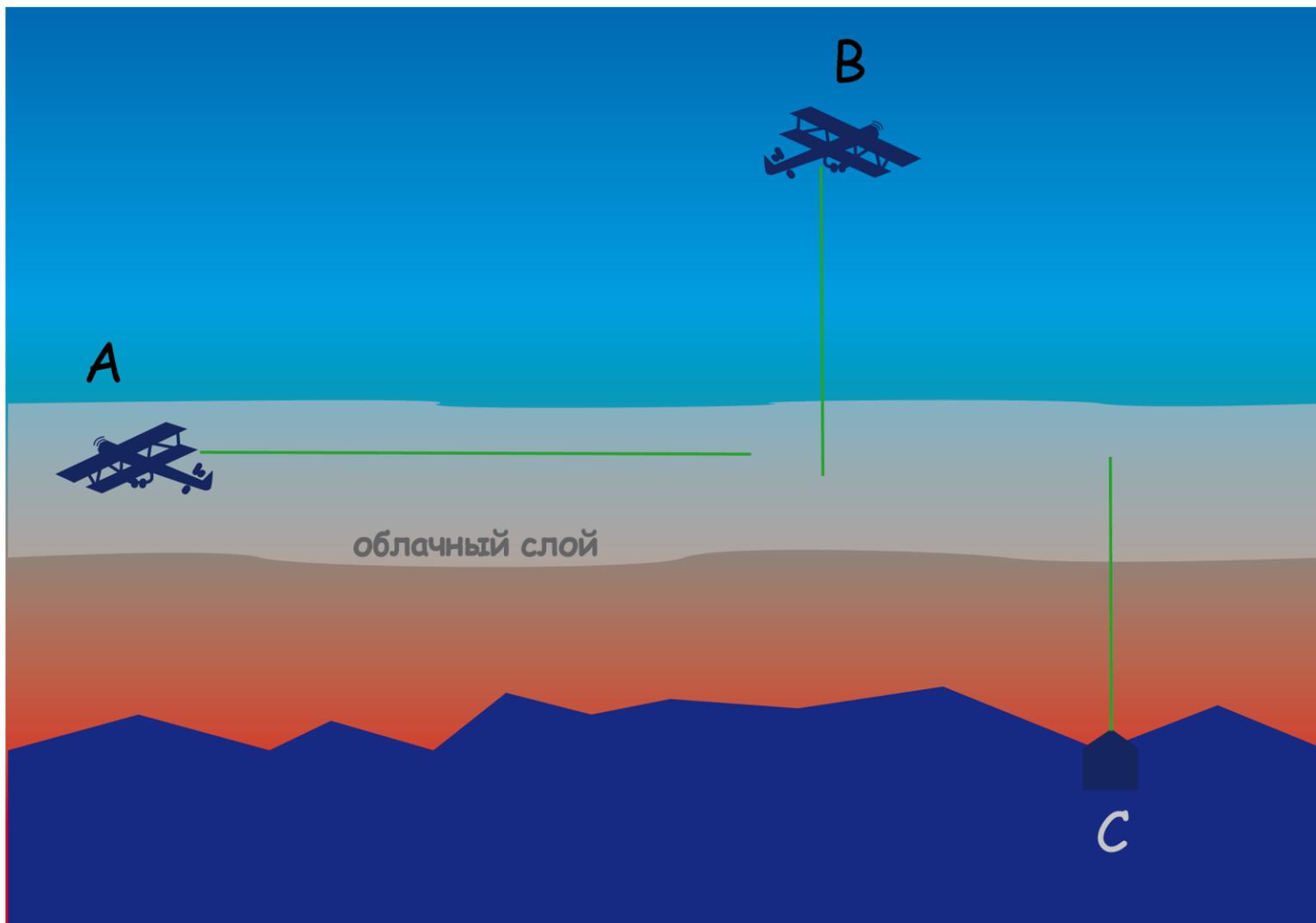
МГУ имени М.В. Ломоносова
Физический факультет
Кафедра физики атмосферы

Цель

Теория переноса излучения (RT) - это хорошо отлаженная теория для оценки энергетических параметров радиационных полей в случайных средах. Она широко применяется как для решения проблем радиационного теплообмена, так и для анализа и интерпретации данных дистанционного зондирования.

Целью данной работы является исследование распространения импульсов лазерного излучения в облачных слоях в связи с актуальными в настоящее время приложениями дистанционного зондирования и навигации.

Лидарное зондирование тонкого облачного слоя

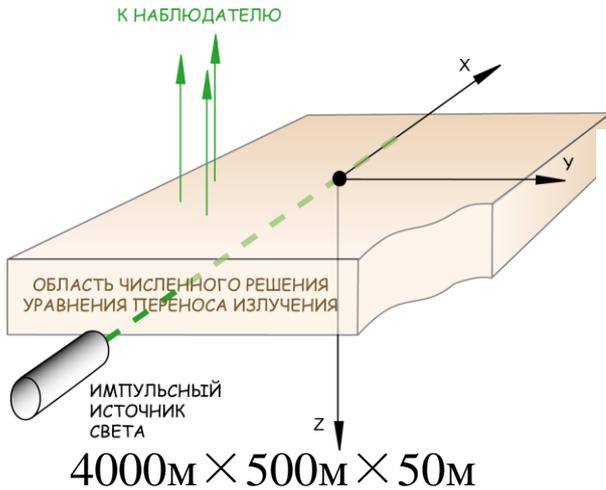


Численные методы

Метод дискретных
ординат

Метод Монте-Карло

Метод дискретных ординат. Численное решение векторного уравнения переноса излучения



Пространственное и угловое распределение интенсивности и поляризации излучения в среде подчиняются векторному уравнению переноса излучения (ВУПИ)

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{I}(\vec{r}, \vec{\Omega})}{\partial t} + (\vec{\Omega} \cdot \nabla) \mathbf{I}(\vec{r}, \vec{\Omega}) = -\varepsilon \mathbf{I}(\vec{r}, \vec{\Omega}) + \frac{1}{4\pi} \int \hat{x}(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}') \mathbf{I}(\vec{r}, \vec{\Omega}') d\vec{\Omega}' + \mathbf{e}(\vec{r}, \vec{\Omega}, t)$$

Импульсный пучок лазерного излучения аппроксимируем импульсным точечным мононаправленным (ТМ) источником:

$$\mathbf{I}(\vec{r}, \vec{\Omega}, t) = \mathbf{I}_0 \exp(-\varepsilon z) \delta(\vec{\Omega}) \delta(x) \delta(y) \delta(z - ct)$$

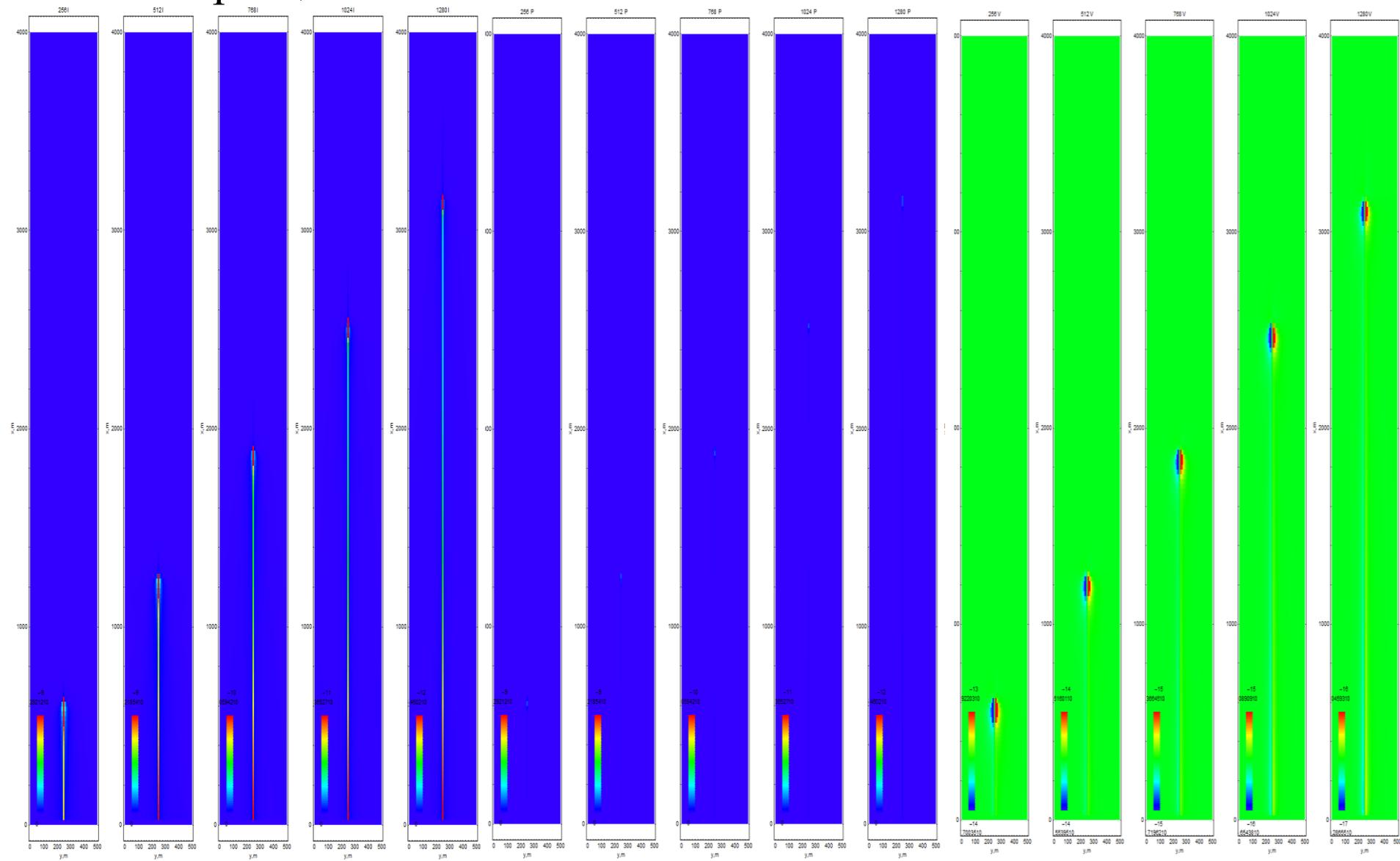
Соответствующий дискретизированный УПИ равен

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{I}_i}{\partial t} + \mu_{xi} \frac{\partial \mathbf{I}_i}{\partial x} + \mu_{yi} \frac{\partial \mathbf{I}_i}{\partial y} + \mu_{zi} \frac{\partial \mathbf{I}_i}{\partial z} = -\varepsilon \mathbf{I}_i + \sum_{l,j} \hat{x}(\vec{\Omega}_i, \vec{\Omega}_j) a_j \mathbf{I}_j + \mathbf{e}_i(\vec{r}, t)$$

Функция источника

$$\mathbf{e}_i(\vec{r}, t) = \frac{\mathbf{I}_0}{4\pi} \exp(-\varepsilon z) \delta(x) \delta(y) \delta(z - ct) \hat{x}(\vec{\Omega}_i, \vec{\Omega}_0)$$

Не полярзации

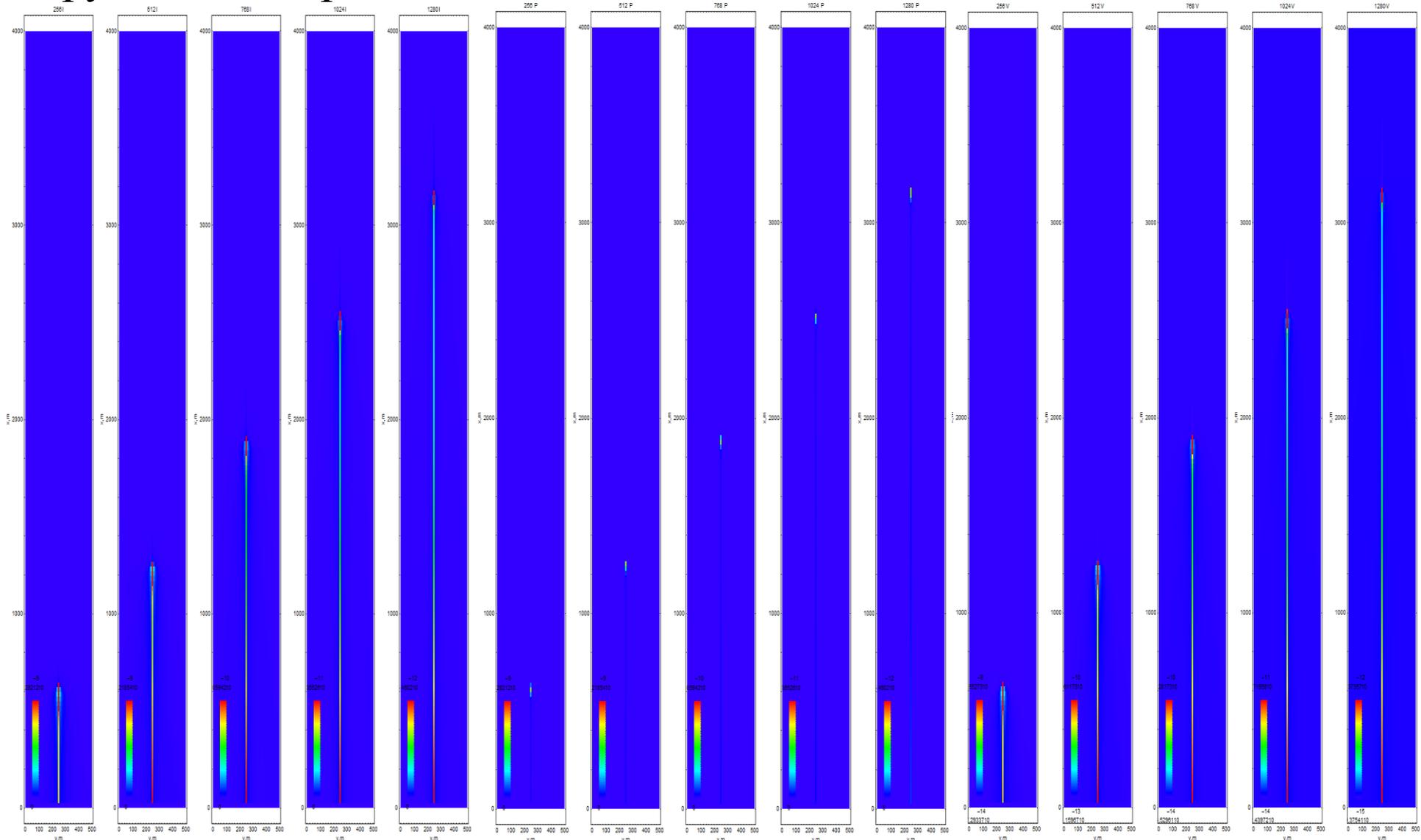


I

$P = I\rho$

V

Круговая поляризация

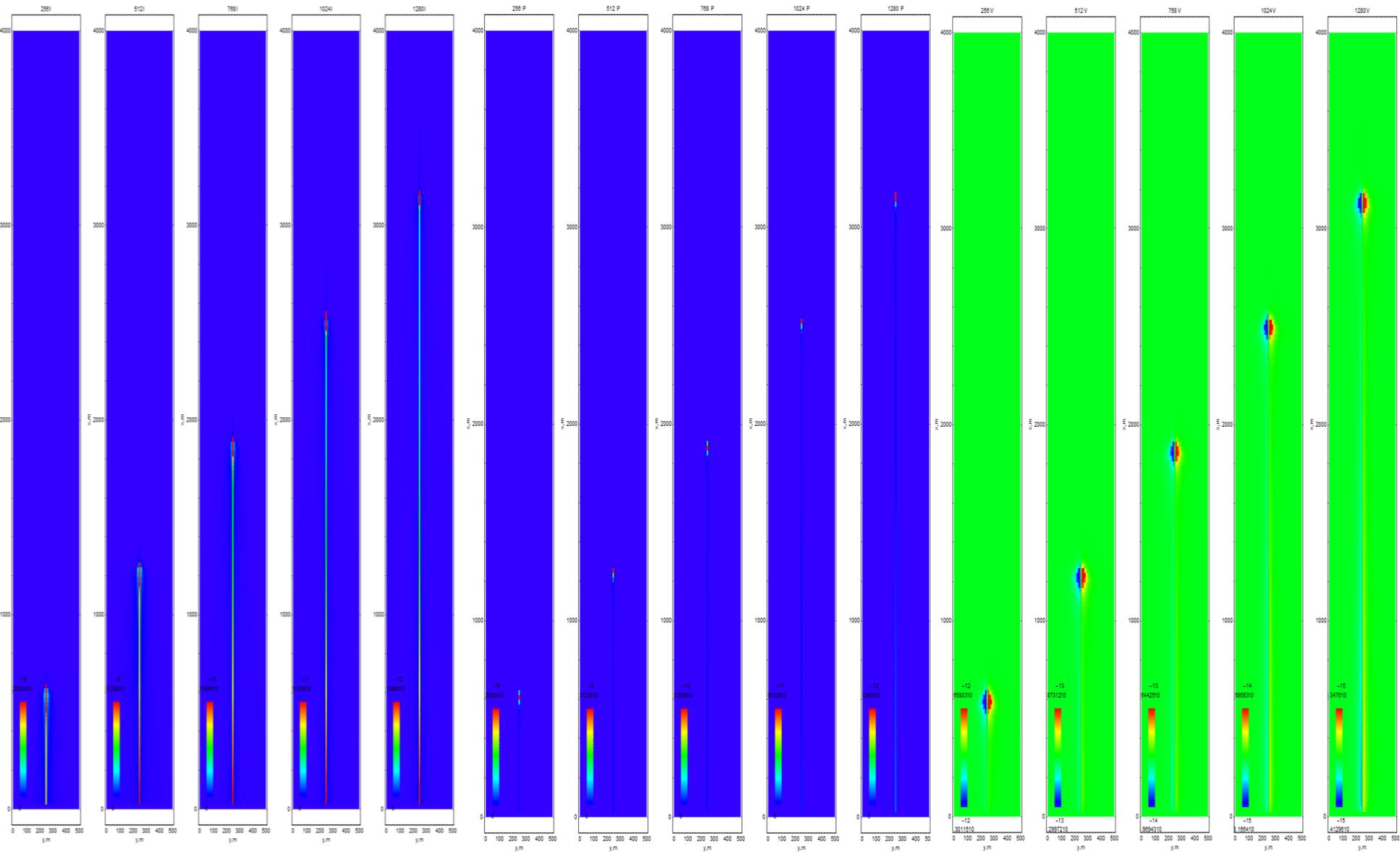


I

P = I_p

V

Линейная поляризация Q=1

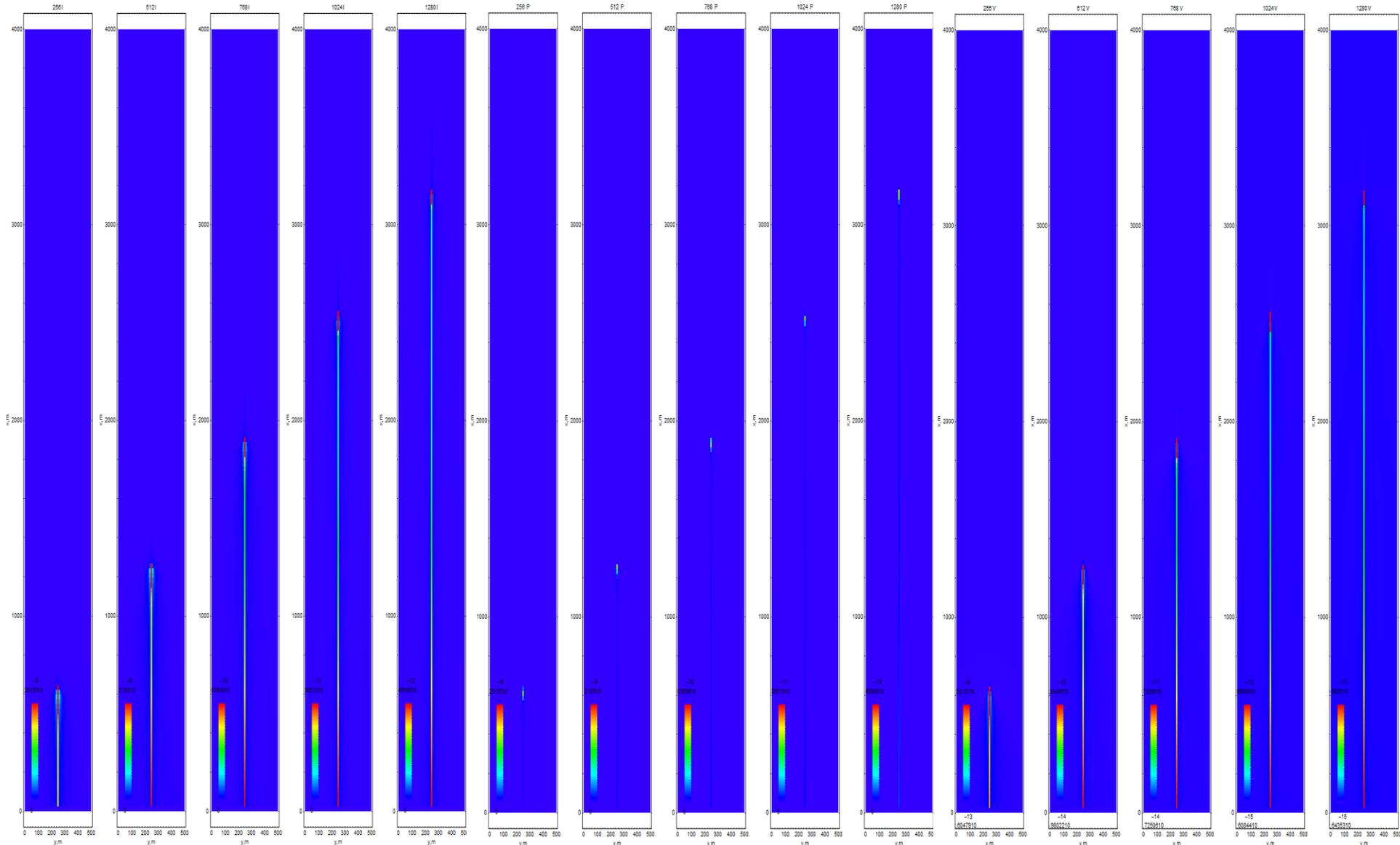


I

P = I_p

V

Линейная поляризация U=1

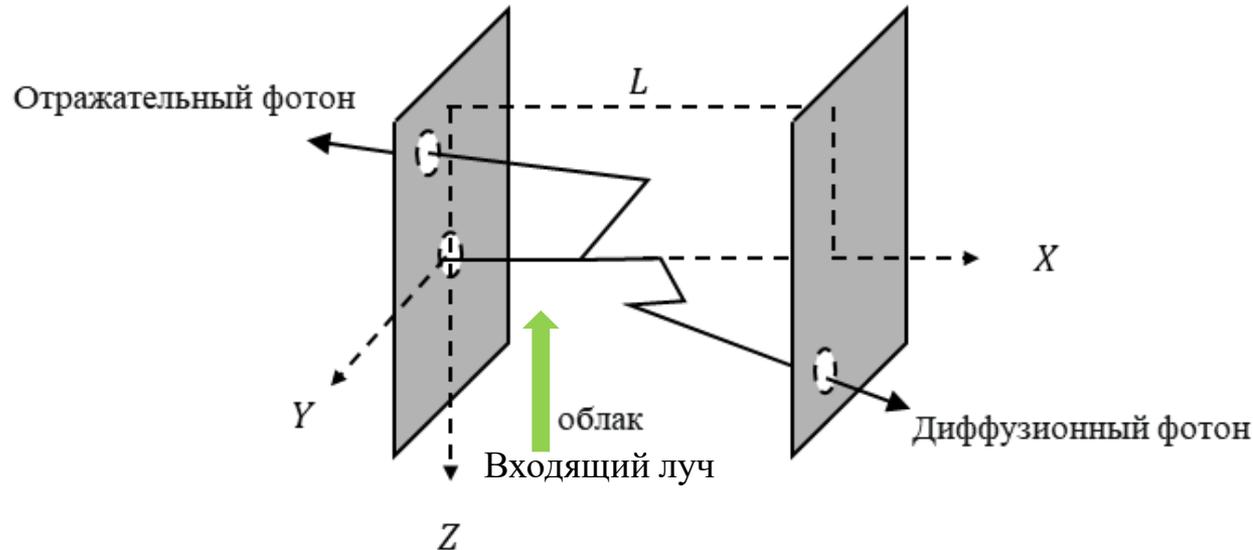


I

$P = I_p$

V

Метод Монте-Карло



Нестационарное световое поле в случайной рассеивающей среде без учета поляризации излучения удовлетворяет скалярному уравнению переноса излучения (УПИ)

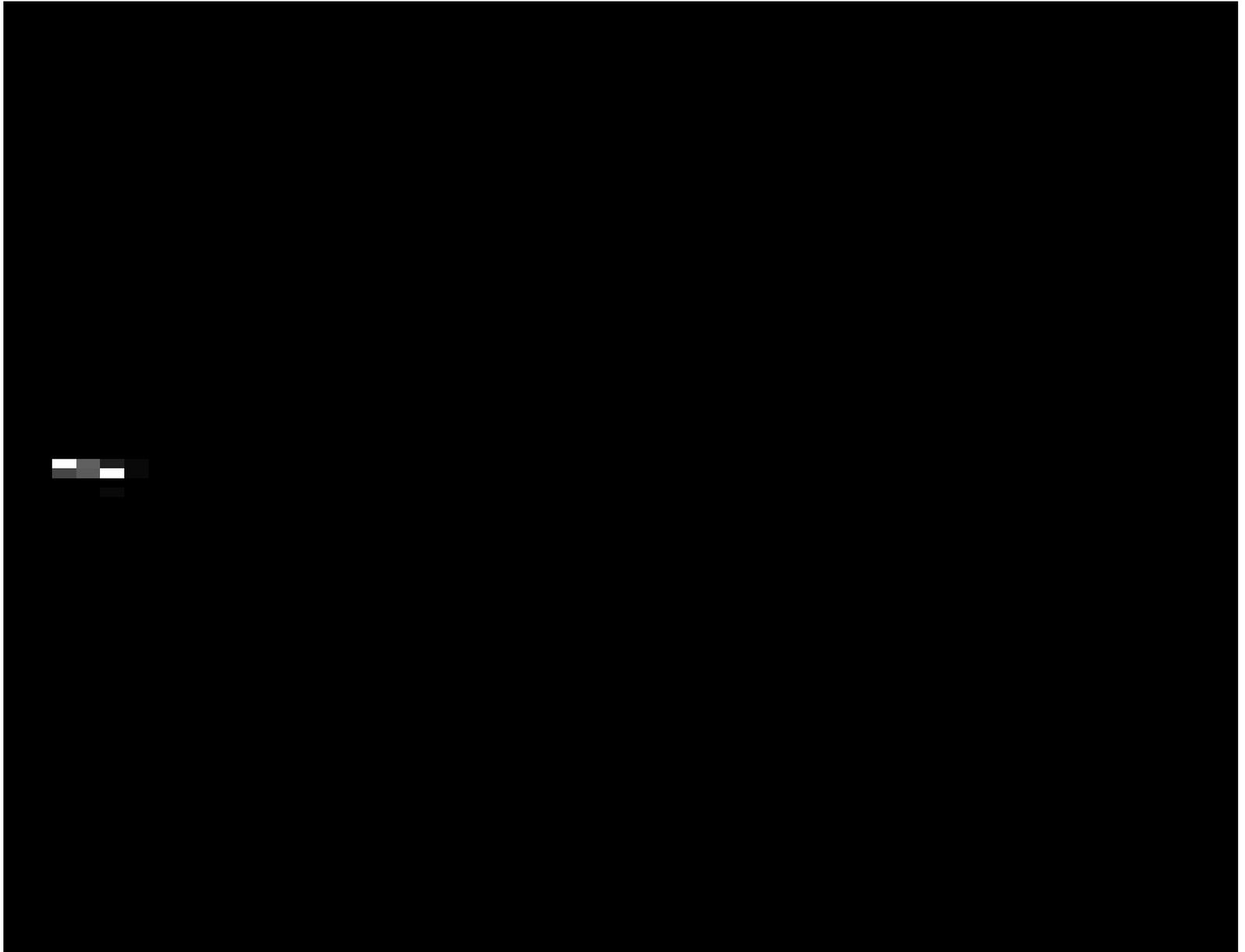
$$\frac{\partial I}{\partial t} + (\boldsymbol{\Omega} \cdot \nabla) I = -\varepsilon I + \frac{\Lambda \varepsilon}{4\pi} \oint I(\mathbf{r}, \boldsymbol{\Omega}') x(\boldsymbol{\Omega}, \boldsymbol{\Omega}') d\boldsymbol{\Omega}' + e(\mathbf{r}, \boldsymbol{\Omega})$$

Для расчетов была принята широко распространенная индикатриса рассеяния Хеньи-Гринштейна

$$x(\boldsymbol{\Omega}, \boldsymbol{\Omega}') = \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g \cos \theta)^{3/2}}$$

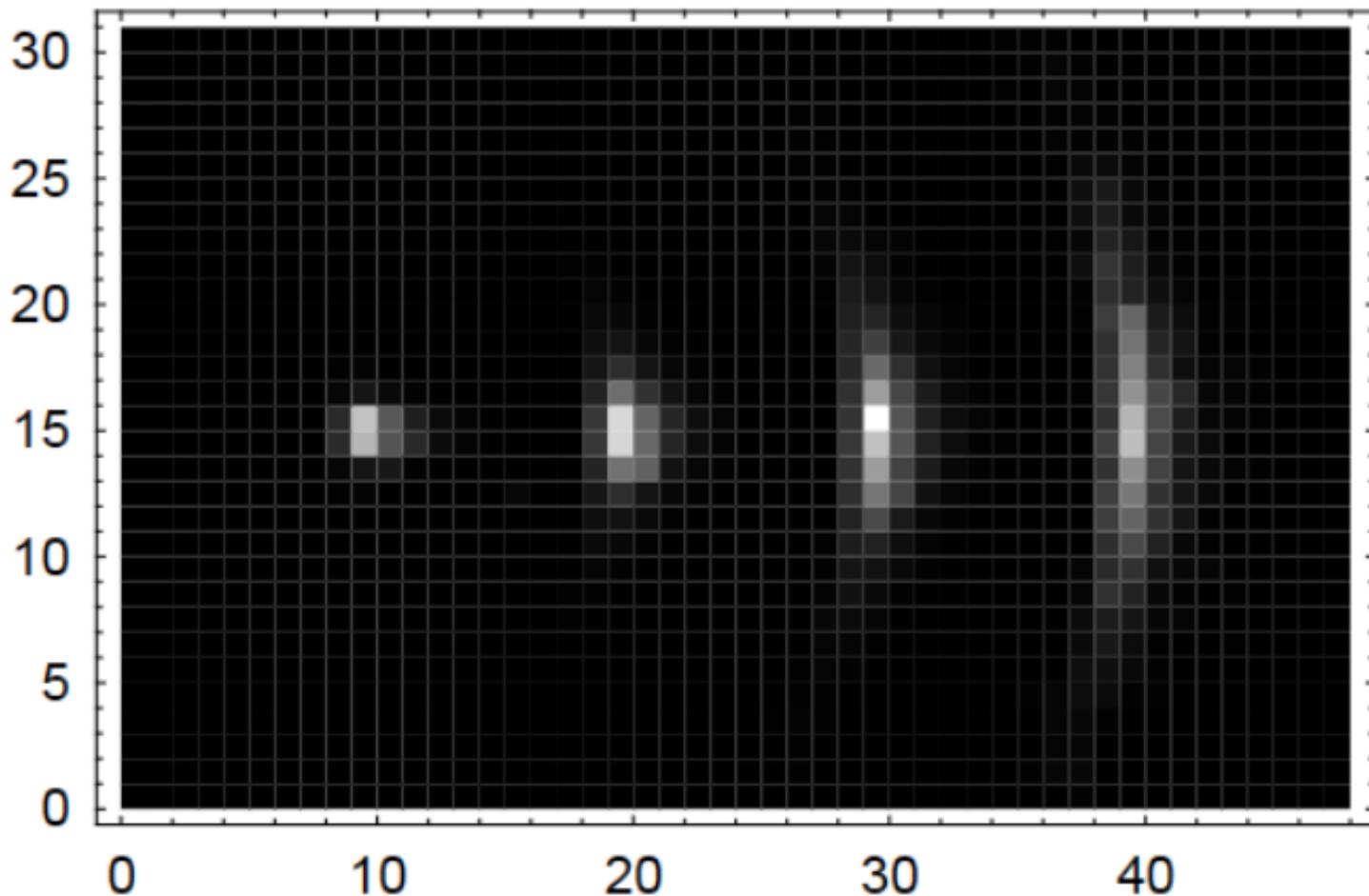
Метод Монте-Карло.

Распространение луча в плоскопараллельном облачном слое



Излучение выходящее через границу среды в несколько разных последовательных моментов

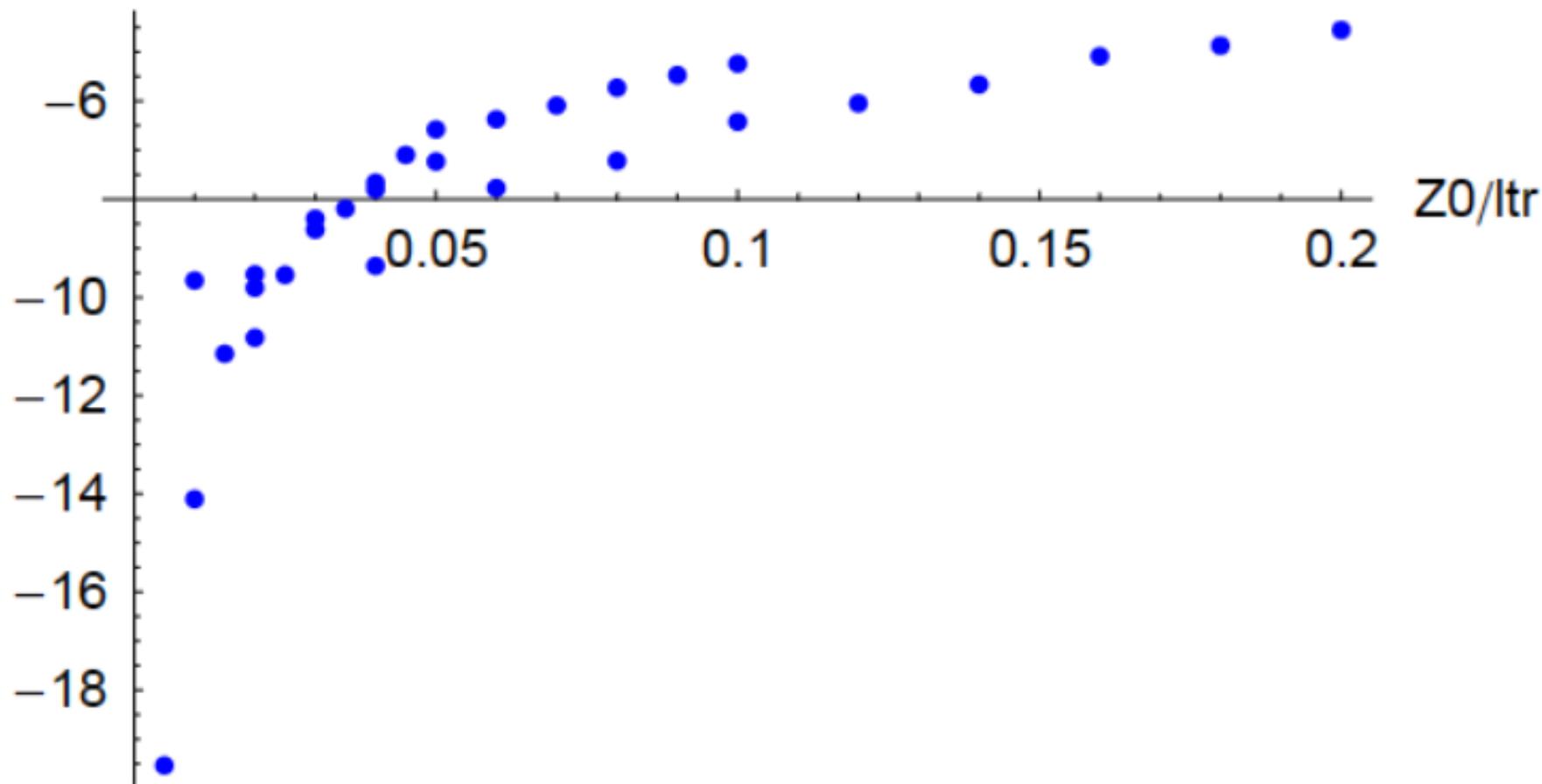
$$Z_0 = 0.5 \text{ g} = 0.99$$



По осям координаты на поверхности облачного слоя в единицах длины свободного пробега

Показатель спада интенсивности выходящего излучения с расстоянием в зависимости от толщины облачного слоя

$d \ln I / dz$



Заклучение

Исследована возможность лазерного импульсного зондирования облачных слоев в горизонтальных направлениях. Проведено компьютерное моделирование распространения импульса в облачном слое прямым численным решением уравнения переноса излучения с учетом поляризации (конечно-разностная схема) и без учета поляризации (статистическое моделирование методом Монте-Карло).

Для различных состояний поляризации падающего импульса исследована поляризация поля рассеянного излучения в слое облаков. Сделаны численные оценки спада интенсивности рассеянного поля со временем и пройденным расстоянием в зависимости от толщины облачного слоя. Показана возможность оценки толщины облачного слоя по наблюдениям динамики спада интенсивности рассеяния.