

## Актуальные Задачи Теории Переноса Излучения В Атмосфере

Розиков Журабек, Phd, преподаватель кафедры физики,  
Ферганский государственный университет,  
Ёрмаматова Гузал, преподаватель,  
Техникум № 4 города Ферганы,  
Узбекистан, Фергана

**Аннотация:** Каждый подход, разработанный до сих пор, включал упрощение допущений того или иного типа. Для настоящих целей мы ограничим обсуждение в основном случае солнечной радиации в системе атмосфера-поверхность Земли, но, конечно, основные принципы применимы к другим планетам и вообще к средам. Хотя мы ограничиваем наше внимание нашей собственной планетой, есть несколько аспектов, применимых к другим планетам, что станет очевидным в свое время.

**Ключевые слова:** Многократное рассеяние, Стокса формы, Зенитный угол, Азимутальный угол.

**Abstract:** Every approach developed so far has involved simplifying assumptions of one type or another. For the present purposes, we will limit the discussion mainly to the case of solar radiation in the Earth's atmosphere-surface system, but of course the basic principles apply to other planets and environments in general. Although we limit our attention to our own planet, there are several aspects that apply to other planets that will become apparent in due course.

**Keywords:** Multiple scattering, Stokes shapes, Zenith angle, Azimuth angle.

### ВЕДЕНИЕ

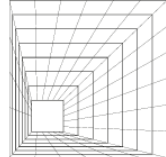
В условиях интенсивного развития атмосферных наук и дистанционного зондирования Земли теория переноса излучения в атмосфере приобретает особую актуальность. Процессы взаимодействия электромагнитного излучения с компонентами атмосферы — молекулами газов, аэрозолями, облачными образованиями и поверхностью Земли — лежат в основе понимания климатических изменений, прогнозирования погоды, а также интерпретации данных спутниковых и наземных наблюдений.

Современные задачи теории переноса излучения характеризуются высокой степенью сложности, обусловленной неоднородностью и нестационарностью атмосферной среды, многообразием физических процессов рассеяния, поглощения и излучения, а также необходимостью учета широкого спектра длин волн. Особое значение приобретают проблемы точного моделирования радиационного баланса атмосферы, оценки влияния аэрозольных и газовых примесей на радиационные потоки, а также разработки численных методов решения уравнений переноса излучения.

Актуальность исследований в данной области также определяется практическими потребностями климатического моделирования, мониторинга окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Повышение точности радиационных расчетов напрямую влияет на качество климатических прогнозов и эффективность систем дистанционного зондирования.

В связи с этим настоящая работа направлена на рассмотрение актуальных задач теории переноса излучения в атмосфере, анализ современных подходов к их решению и выявление перспективных направлений дальнейших исследований в данной научной области.

Общие проблемы переноса излучения в среде, поглощающей, излучающей и рассеивающей излучение, чрезвычайно сложны и не имеют общего решения. Кроме



того, упор на режим солнечного излучения позволяет нам эффективно пренебречь всей проблемой длинноволнового или земного типа излучения, обусловленного излучением материала при температурах, типичных для естественной среды Земли. Кроме того, энергия солнечного излучения настолько преобладает над другими источниками видимого или почти видимого излучения, что для практических целей мы можем пренебречь такими источниками, как свечение атмосферы, свет звезды и полярное сияние, хотя время от времени у нас будет случай упомянуть о таких источниках. Акцент будет сделан на поле поляризации во всех его различных аспектах, но интенсивность будет включена там, где это уместно.

Атмосферу можно рассматривать как однородную или неоднородную среду, а также как сферическую или плоскопараллельную (без изменений в горизонтальном направлении) по геометрии. Задачи могут включать в себя попытки определить радиационные поля, возникающие в результате взаимодействия солнечного света со средой, или инверсию задачи по определению свойств среды по измерениям излучения. Поскольку снизу атмосфера освещается светом, отраженным от подстилающих поверхностей, будь то почвы, пески, вода, снег, растительность и т. д., отражательные свойства природных поверхностей являются важной частью общей радиационной проблемы. На самом деле привлекательной возможностью в дистанционном зондировании является дедукция свойств поверхностей по измерениям интенсивности и поляризации их отраженного излучения.

### ОБСУЖДЕНИЕ

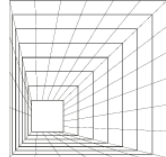
Особенности общей проблемы схематично показаны на рис.1. Излучение потока  $F(\infty, -\mu', \phi')$  от солнца падает на верхнюю часть атмосферы с направления, указанного  $(-\mu', \theta')$  где  $-\mu' = -\cos^{-1} \theta'$ ,  $\theta'$  - зенитный угол, отрицательный знак указывает на направленное вниз излучение, а 0 - азимутальный угол относительно произвольной точки отсчета. Определенная часть первоначального луча ослабляется за счет поглощения и рассеяния, но оставшаяся часть  $F(0; -\mu', \phi')$ , все еще от исходного направления, достигает поверхности. То, что поглощается, идет на нагрев атмосферы, а то, что рассеивается, представленное интенсивностью  $I(z; \mu; \phi)$ , может претерпеть различные судьбы, прежде чем поглощаться или покидать систему. Интенсивность  $I(\infty, +\mu, \phi)$  возвращается в космос, а  $I(0; -\mu; \phi)$  рассеивается на землю. Многократное рассеяние, представленное на схеме  $I(z_1; \mu_1; \phi_1)$  и  $I(z_2; \mu_2; \phi_2)$  происходит внутри атмосферы и  $I(0; +\mu; \phi)$  представляет собой излучение, отраженное от поверхности земли. Очевидно, что любая из этих величин может претерпевать дальнейшее поглощение и рассеяние при прохождении через среду.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Как показано на диаграмме, каждый из этих потоков излучения может быть представлен в виде вектора Стокса формы, отмеченной в предыдущей главе. Например, мы можем представить неполяризованное падающее солнечное излучение эквивалентными формами

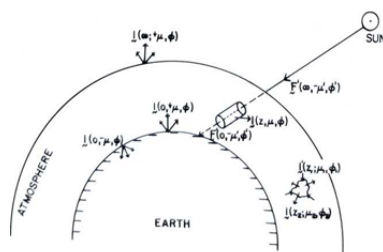
$$F' = \begin{bmatrix} F \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad F' = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} F \\ \frac{1}{2} F \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Процесс рассеяния обычно вносит поляризацию в рассеянный свет, и в этом случае мы имеем обобщенные векторы интенсивности где ортогональные оси проходят в направлениях  $e$  и  $r$ .

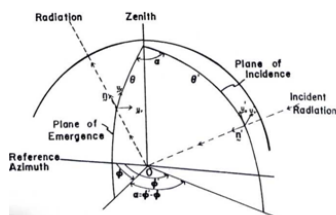


$$I = \begin{vmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{vmatrix} \quad I = \begin{vmatrix} I_e \\ I_r \\ U \\ V \end{vmatrix} \quad (2)$$

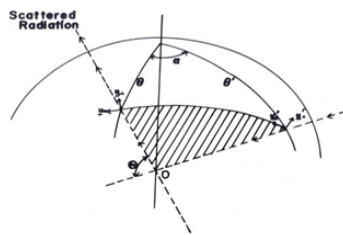
Из множества систем координат, использовавшихся в прошлом разными авторами, мы выберем две для использования здесь.



**Рисунок 1.** Схематическая диаграмма радиационных параметров в системе земля-атмосфера. Символы со штрихами представляют падающее излучение, а символы без штрихов — рассеянное или отраженное излучение. Положительный знак соответствует излучению, направленному в восходящую полусферу, а отрицательный знак указывает на излучение, направленное вниз.



**Рисунок 2.** Геометрия задачи переноса излучения для случая, когда ортогональные оси  $(e, r)$  и  $(e', r')$  относятся к меридиональным плоскостям через зенит и направления распространения излучения.



**Рисунок 3.** То же, что и на предыдущей диаграмме, за исключением того, что здесь ортогональные оси ( $\parallel, \perp$ ) и ( $\parallel', \perp'$ ) относятся к плоскости рассеяния (заштрихованная плоскость определяется направлениями распространения входящего и исходящего излучения). Угол  $\theta$  называется углом рассеяния.

Обе являются полярными координатами, единственная разница между ними заключается в ориентации ортогональных осей в полярной системе координат. Они схематически показаны на рис. 2 и 3.

На рис. 2 рассеивающий или отражающий объем находится в точке 0, а опорные плоскости — это меридиональные плоскости, определяемые некоторым азимутом  $\phi$  или  $\phi'$  направлением на зенит. (Штрихованные символы относятся к падающему излучению, а незаштрихованные - к рассеянному или отраженному излучению.) Углы от зенита  $\theta$  равны или  $\theta'$  и  $\alpha = \phi' - \phi$ .

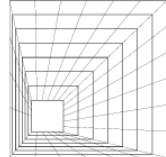
Излучение идет в направлении единичного вектора **пилин'**. Пары единичных векторов (**u<sub>e</sub>**, **u<sub>r</sub>**) или (**u'<sub>e</sub>**, **u'<sub>r</sub>**) обозначают направление вдоль ортогональных (*e*, *r*) или (*e'*, *r'*) осей, причем оси *e* и *e'* параллельны опорным планам, а ортогональные оси *r* и *r'* являются нормальными к этим плоскостям. Как и прежде, определим  $\pm\mu = \pm\cos\theta$  и  $\pm\mu' = \pm\cos\theta'$ , где знак + обозначает излучение в сторону космоса, а знак – – на поверхность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прежде чем двигаться дальше, следует отметить неоднозначность в отношении направлений, рассматриваемых при **обсуждении переноса излучения. Некоторые авторы (например, Chandrasekhar, 1990) считают, что различные углы относятся к направлению, в котором** распространяется излучение, тогда как другие авторы (например, Sekera, 1956) ссылаются на пример, показанный  $(\theta, \phi)$  на рис. 2  $\theta, \phi$  на рис.  $(\theta', \phi')$  которой распространяется излучение и  $(\theta', \phi')$  указать то, из чего оно исходит. Эта двусмысленность настолько глубоко укоренилась в литературе, что попытки устранить ее здесь, вероятно, приведут к путанице. Кроме того, для ортогональных координат углы просто дополняют друг друга, и направление отсчета обычно понятно из контекста.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Розиков, Ж. Ю., Собиров, М. М., & Рузибоев, В. У. (2021). Поляризационные характеристики диффузно отраженного и проходящего излучения в среде с конечной оптической толщиной. «Узбекский физический журнал», 23(2), 11-20.
2. Sobirov, M. M., Rozikov, J. Y., & Ruziboyev, V. U. Formation of neutral points in the polarization characteristics of secondary radiation in the semi-infinite medium model. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 4, 406-412.
3. Sobirov, M. M., & Rozikov, J. Y. (2020). SOME QUESTIONS OF THE THEORY OF POLARIZED RADIATION TRANSFER IN AN ISOTROPIC MEDIUM WITH A FINITE OPTICAL THICKNESS. *Scientific-technical journal*, 3(4), 16-22.



- 
4. Sobirov, M. M., & Rozikov, J. Y. (2020). SPECIFIC FEATURES IN POLARIZATION OF DIFFUSELY REFLECTED AND TRANSMITTED RADIATION IN A MEDIUM WITH FINITE OPTICAL THICKNESS. *Scientific-technical journal*, 24(5), 85-89.
  5. Akbarov, D., Umarov, S., Turdimatov, M., Sotvoldiyev, H., Abduqodirov, A., & Karimov, U. (2024). Research on the criteria of cryptographic resistant of continuous encryption algorithms. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 587, p. 03005). EDP Sciences.
  6. Akbarov, D., Umarov, S., Abdurakhmonova, M., Nurmatova, I., Karimova, G., & Karimov, U. (2025, October). Application of logical operations and table replacements in basic transformations of hash function algorithms. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3377, No. 1, p. 060002). AIP Publishing LLC.