

Н. И. КОЖЕВНИКОВ

К ВОПРОСУ О ФЛУКТУАЦИЯХ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН В ПРИЗЕМНЫХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

В статье рассматривается определение структурной функции флуктуации показателя преломления воздуха в приземных слоях атмосферы. Определение ведется на основе применения метода прямого наблюдения флуктуаций показателя преломления.

1. Для структурной функции $D_n(\bar{r}_1, \bar{r}_2)$ показателя преломления справедливы следующие соотношения:

$$D_n(\bar{r}_1, \bar{r}_2) = \overline{|n(\bar{r}_1) - n(\bar{r}_2)|^2} = C_n^2 |\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^{2/3},$$
$$l_0 \ll |\bar{r}_2 - \bar{r}_1| \ll L_0, \quad (1)$$

$$D_n(\bar{r}_1, \bar{r}_2) = \overline{|n(\bar{r}_1) - n(\bar{r}_2)|^2} = C_n^2 |\bar{r}_2 - \bar{r}_1|,$$
$$l_0 \gg |\bar{r}_2 - \bar{r}_1|, \quad (2)$$

где $n(\bar{r})$ — величина показателя преломления в точке \bar{r} , C_n — некоторая постоянная, L_0 — внешний масштаб турбулентности, l_0 — внутренний масштаб турбулентности [1]. Соотношения (1) и (2) являются следствием основных положений теории однородной турбулентности [2, 3]. Соотношения (1) и (2) определяют также наименьшее среднее расстояние между двумя областями пространства; в одной из этих областей величина показателя преломления равна n , в других — $n + \Delta n$. Вместе с тем соотношения (1) и (2) определяют также наименьшее среднее расстояние между двумя областями пространства с одним и тем же значением показателя преломления. Пусть величина показателя преломления в точке \bar{r}_1 равна n_1 , тогда область пространства, в которой величина n будет равна n_2 (где $n_2 = n_1 + \Delta n$), будет располагаться от точки \bar{r}_1 на наименьшем расстоянии, определяемом соотношениями (1) и (2). Обозначим это наименьшее среднее расстояние через Δr .

$$\Delta r = f(n, \Delta n). \quad (3)$$

Но расстояние ΔR (наименьшее среднее расстояние между двумя областями пространства, имеющими одно и то же значение n_2 показателя преломления n) не может быть меньше Δr . Действительно, если $\Delta R <$

$< \Delta r$, то и расстояние области с $n=n_2$ от области с $n=n_1$ будет меньше Δr . Таким образом, исследуя распределение одинаковых по величине флуктуаций показателя преломления, мы можем получить представление о структурной функции показателя преломления. Следовательно, распределение в пространстве одинаковых по величине флуктуаций должно описываться функциональными соотношениями (1) и (2).

2. В [4] был описан метод визуального наблюдения (и фотографирования) флуктуаций показателя преломления воздуха в приземных слоях атмосферы в дневное время. Оптическая схема установки изображена на рис. 1. Объектив O_1 строит на экране M_1 изображение S диска Солнца. Диафрагма O_2 диаметром порядка 0,03 см расположена вне пределов изображения S на небольшом угловом расстоянии. Если бы слой воздуха были совершенно однородны, то экран M_2 (расположенный за M_1) не освещался. Наличие флуктуаций показателя преломления приводит к тому, что лучи Солнца, отклоняясь, попадают на диафрагму O_2 , и экран M_2 оказывается освещенным. В [1] было указано, что форма и размеры светлых пятен на экране M_2 , соответствуют проекции параллельных лучей воздушных неоднородностей на объ-

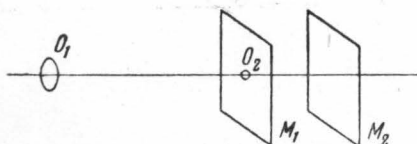


Рис. 1

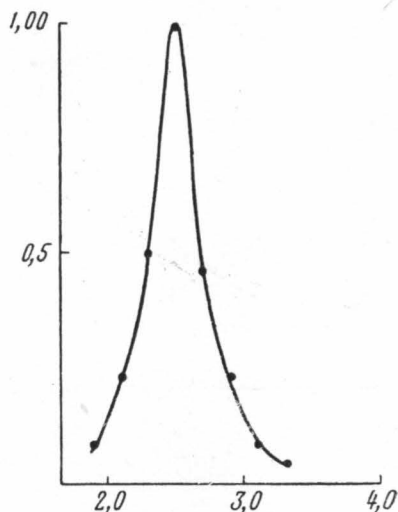


Рис. 2

ектив O_1 . Таким образом, наблюдая на M_2 светлые пятна, мы наблюдаем распределение флуктуаций показателя преломления воздушной среды. Диафрагма O_2 расположена на определенном угловом расстоянии (если наблюдать из центра объектива O_1) от края диска Солнца. Следовательно, для того чтобы попасть на диафрагму O_2 , световые лучи должны пройти через воздушную неоднородность, показатель преломления которой отличается на определенную величину от среднего значения показателя преломления воздуха в данных условиях. Так как эти отклонения световых лучей невелики, можно считать угол отклонения лучей пропорциональным величине флуктуации показателя преломления. Диафрагма O_2 автоматически отбирает только те лучи, которые отклонились на определенный угол. Поэтому на M_2 мы наблюдаем распределение светлых пятен, соответствующее распределению флуктуаций (с одной и той же величиной флуктуации) показателя преломления.

3. Основные результаты изучения этим методом турбулентности в приземных слоях атмосферы (установка располагалась на высоте 2 м над земной поверхностью) описаны в [4, 5, 6]. Оказалось, что неоднородности разделяются на две группы: группа I имеет средние размеры $\sim 2,5$ см, группа II — порядка 9—10 см. Количество неоднородностей обеих групп убывает по мере удаления диафрагмы O_2 от края изображения диска Солнца. Неоднородности II группы составлены из неод-

неоднородностей I группы. Распределение по размерам неоднородностей I группы дано на рис. 2. По оси абсцисс отложен линейный размер неоднородности в сантиметрах; по оси ординат — относительное количество неоднородностей данного размера (за единицу принято количество неоднородностей размера 2,5 см). Наблюдения производились в утреннее время, при умеренном ветре и слабой облачности.

В данной статье мы рассмотрим зависимость среднего расстояния между неоднородностями и величины флуктуации показателя преломления. Для этой цели применим соображения, высказанные в разделах 1 и 2 настоящей статьи. Определение зависимости среднего расстояния Δr между неоднородностями (являющимися одновременно флуктуациями показателя преломления) как функции от величины флуктуации

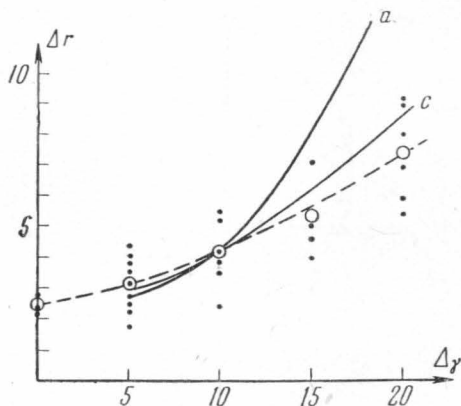


Рис. 3

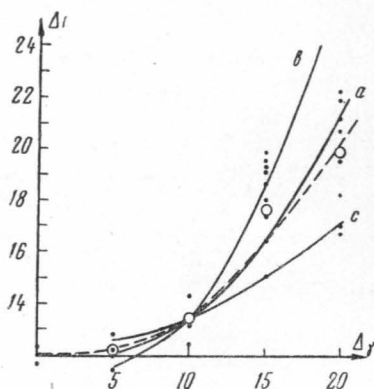


Рис. 4

показателя преломления производилось для группы I и группы II в отдельности. Поскольку неоднородности I группы объединены, как правило, в группу II, то расстояние между неоднородностями I группы измерялось в пределах той II группы, в которую они объединены.

Строился график: по оси откладывалась величина углового расстояния $\Delta\gamma$ диафрагмы O_2 от края изображения диска Солнца. По оси ординат откладывалось расстояние в сантиметрах между центрами отдельных неоднородностей. Для этого на фотографии (метод получения фотографий описан в [1]) выбиралась какая-либо неоднородность и измерялись ее расстояния Δr до ближайших неоднородностей. Затем то же самое проделывалось для других неоднородностей. На рис. 3 и 4 представлены полученные результаты. На рис. 3 данные относятся к I группе, на рис. 4 — ко II группе. На этих рисунках точками показаны данные измерений, кружками — средние расстояния Δr для данного угла отклонения луча, пунктирная кривая проходит через средние расстояния. Кривая *a* отмечает зависимость $\Delta r = \alpha_1 (\Delta\gamma)^3 + \beta_1$, построенную так, чтобы она наилучшим образом удовлетворяла данным измерений (α и β — параметры аппроксимирования). Кривая *b* построена для зависимости $\Delta r = \alpha_2 (\Delta\gamma)^4 + \beta_2$, кривая *c* — для зависимости $\Delta r = \alpha_3 (\Delta\gamma)^2 + \beta_3$. Как видим, данным измерений для группы II лучше всего удовлетворяет зависимость $\Delta r \approx (\Delta\gamma)^3$. Но такая зависимость возможна, если $\Delta r > l$ (см. соотношения (1) и (2)). Во всяком случае в функциональной зависимости

$$\Delta r \approx (\Delta\gamma)^a. \quad (4)$$

Показатель a для группы II больше единицы. Вместе с тем на рис. 3 показано, что показатель a в соотношении (4) для группы I мало отличается от единицы. Зависимость среднего расстояния между неоднородностями от величины флуктуации показателя преломления для неоднородностей I группы приближается к линейной. Размеры неоднородностей I группы порядка 2,5 см, размеры неоднородностей II группы порядка 10 см и выше.

Из всего сказанного следует сделать некоторые выводы:

Закон Колмогорова — Обухова выполняется для наблюдаемых флуктуаций показателя преломления воздуха.

Для внутреннего масштаба турбулентности l_0 имеет место соотношение $l_0 < 2,5$ см.

Предлагаемый метод I наблюдения турбулентности в приземных слоях воздуха дает возможность прямого изучения структурной функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Татарский В. И. «Тр. совещания по исследованию мерцания звезд». М., 1959.
2. Колмогоров А. Н. ДАН СССР, XXX, № 4, 1941.
3. Обухов А. М. «Изв. АН СССР», сер. физическая, VI, № 1—2, 1942.
4. Кожевников Н. И. НДВШ, № 3, 1958.
5. Кожевников Н. И. Солнечные данные, № 8, 1961.
6. Кожевников Н. И. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физики, астрономии, № 4, 14, 1962.

Поступила в редакцию
2. 10 1962 г.

Кафедра
астрофизики