

число диполей невелико, то на сфере в некоторых местах появляются пробелы, нарушающие симметрию. Если, наоборот, диполей так много, что в пределах любой маленькой (по сравнению с длиной волны) площадки окажется несколько случайно ориентированных диполей, то их излучения почти полностью скомпенсируют друг друга (противоположно ориентированные диполи создают противофазные поля, ослабляющие друг друга). Но если почти не будет излучать каждая маленькая площадка, то в той же мере не будет излучать и вся сферическая антенна. Мы все же пишем «почти», потому что при случайной ориентации может оказаться избыток диполей, повернутых в какую-нибудь сторону. Этот избыток окажется источником дипольного излучения, которое, как мы знаем, не является изотропным.

Таким образом, сфера, покрытая хаотически расположенными диполями, излучает с такой же диаграммой направленности, как многовибраторная антенна со случайно ориентированными излучателями. Диаграмма направленности такой антенны не является изотропной, но в каких направлениях будет наблюдаться максимальное излучение, а в каких минимальное, заранее предсказать нельзя.

### Можно ли использовать атмосферу Земли как гигантскую сферическую линзу для фокусировки радиоволн?

В стандартных условиях радиолучи искривляются в тропосфере по направлению к Земле. Поэтому радиоволны от далеких космических источников, огибая Землю со всех сторон, на некотором расстоянии от планеты сходятся в одном месте. Получается, что атмосферная оболочка действует подобно гигантской собирающей линзе. Размеры этой линзы-антенны, созданной самой природой, колоссальны (ее диаметр  $d \approx 12800$  км), поэтому не удивительно, что в литературе время от времени появляются довольно смелые проекты ее использования.

Предлагалось, например, воспользоваться атмосферной линзой для передачи энергии на далекие космические корабли. Для этого необходимо поместить в фокус линзы мощный источник и направить поток радиоволн, как луч прожектора, на космический корабль. Благодаря огромным размерам антенны, дифракционная расходимость пучка радиоволн оказывается очень малой:

$$\Delta\varphi_{\text{дифр}} \approx \lambda/d \approx 8 \cdot 10^{-9} \text{ рад} \approx 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ угл. с.}$$

Здесь и далее в численных оценках взята длина волны  $\lambda = 10$  см, такие радиоволны слабо поглощаются в тропосфере и практически не испытывают влияния ионосферы.

Слабая расходимость пучка радиоволн послужила основой и для второго проекта, в котором предлагалось использовать атмосферную оболочку как приемную антенну радиотелескопа. Поместив в фокус линзы приемное устройство, можно будет, по мнению авторов, увидеть мелкие детали далеких светящихся объектов, недоступные для обычных земных средств.

Нет необходимости объяснять, сколь заманчивы оба проекта. Но осуществимы ли они? В принципе да, т.е. атмосферную оболочку действительно можно использовать и как передающую антенну, и как гигантский радиотелескоп. Однако их реальные возможности можно оценить только после того, как будут рассчитаны коэффициент усиления линзы-антенны и ее разрешающая способность. Авторы проектов таких расчетов не делали, но мы без особого труда выполним их сами.

Начнем с оценки того минимального расстояния, на котором пересекается поток параллельных лучей после преломления в тропосфере. Сначала сделаем оценку без всяких формул, учитывая, что угол рефракции лучей света вблизи горизонта равен приблизительно

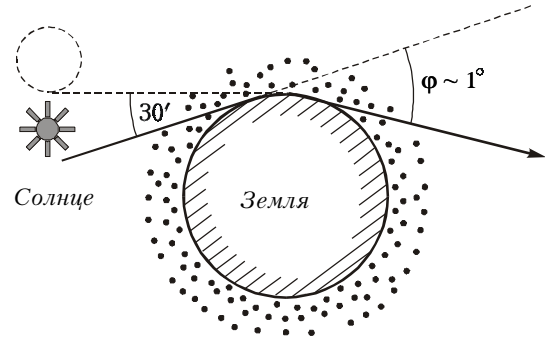


Рис.3. Рефракция световых лучей в тропосфере

$30'$  (рис.3). Вследствие этого эффекта, восход Солнца наступает несколько раньше, а заход — несколько позже по сравнению с тем временем, которое соответствовало бы прямым, неискривленным лучам.<sup>2</sup> Полный угол преломления светового луча, обогнувшего Землю, будет в два раза больше:  $\varphi \sim 1^\circ$ . В радиодиапазоне коэффициент преломления воздуха возрастает, и эти цифры надо примерно удвоить. Поэтому угол  $\varphi$  на

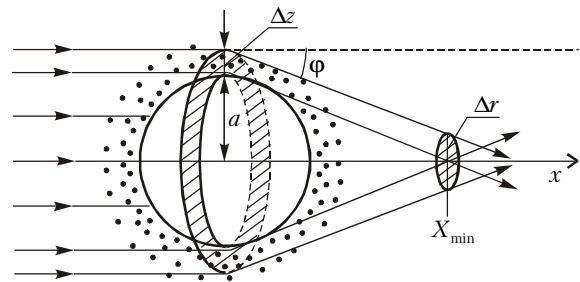


Рис.4. Фокусировка радиоволн земной атмосферой

рисунке 4 уже порядка  $2^\circ$ . Легко рассчитать расстояние до точки пересечения лучей:

$$X_{\min} \approx \frac{a}{\varphi} \approx 180000 \text{ км.}$$

Мы обозначили это расстояние  $X_{\min}$ , поскольку лучи, проходящие на некоторой высоте  $z$  над земной поверхностью, преломляются слабее и пересекают ось  $x$  на расстояниях, больших  $X_{\min}$ .

<sup>2</sup> Любопытно отметить случайное совпадение: угол рефракции световых лучей вблизи горизонта равен угловому диаметру Солнца.