

УДК 551.594; 551.577

ФИЗИКА

Г. Г. Бахшян

О природе электростатического поля земной атмосферы,
 обусловленной влажностью среды

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Мартиросяном 18/V 1987)

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что Земля заряжена отрицательно относительно ионосферы (1); при ясной погоде вертикальная компонента напряженности электрического поля вблизи поверхности Земли $E_z \approx 100$ В/М и по мере удаления от поверхности быстро затухает. Например, на высоте 10 км величина E_z падает почти на два порядка (2).

Для объяснения экспериментально наблюдаемых пространственно-временных вариаций электрического поля атмосферы привлекаются различные процессы генерации и переноса зарядов в атмосферу, связанные с грозовой активностью облаков (3, 4), с количеством естественных и промышленных выбросов заряженных частиц в атмосферу (5, 6), с фотоионизацией аэрозольных частиц, с переносом зарядов из космоса под воздействием магнитных бурь (7) и др.

Одной из распространенных моделей глобальной электрической цепи, привлекаемой для объяснения известной корреляции унитарной вариации с освещаемыми Солнцем в суточном и годовом периодах океаническими поверхностями, является «океаническая» модель. Она основана на гипотезе разделения зарядов при испарении воды, причем образующиеся молекулы пара несут положительный гипотетический дробный заряд. Несмотря на то, что эта модель позволяет успешно интерпретировать с единой позиции ряд атмосферно-электрических явлений, ее основа—существование и механизм разделения зарядов при испарении—в литературе дискутируется (8).

В настоящей работе сделана попытка устранения указанного противоречия океанической модели привлечением механизма преимущественной ориентации диполей молекул паров под вынуждающим действием гравитационной силы Земли.

Как известно, структура молекулы H_2O обладает собственным дипольным моментом и собственным моментом инерции, что позволяет рассматривать молекулу воды в парообразном состоянии как квантовый ротатор с определенным энергетическим спектром вращения (9). Вынужденная ориентация таких ротаторов под действием силы тяжести Земли приводит к прецессии ротаторов, угол которой можно рассчитать, рассматривая их как эквивалентные физические маятники (10). Так как заряд и масса в объеме молекулы распределены одинаково, то сила тяжести Земли в целом создает преимущественную

ориентацию диполей молекул H_2O . Вследствие этого возникает напряженность электростатического поля E в тропосфере, так как пар, в основном, распределен в этом слое.

Величину вертикальной компоненты этого поля можно рассчитать следующим образом:

$$E_z = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n \frac{q_{ji} \vec{r}_{ji} \cdot \vec{e}_z}{\epsilon r_{ji}^3}, \quad (1)$$

где ϵ_0 — электрическая постоянная, ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, $q_{j1}, q_{j2}, \dots, q_{jn}$ — система точечных зарядов в j -той молекуле, r_{ji} — координата указанных зарядов, \vec{e}_z — единичный вектор в направлении действующих сил, n — число зарядов в молекуле, N — число молекул в единичном объеме.

Те молекулы воздуха, которые электронейтральны и не обладают собственным дипольным моментом, не дают вклада в выражение (1). Вклад свободных зарядов в выражение (1) будет учтен отдельно (см. ниже). Результирующее поле, обусловленное только полярными молекулами H_2O , находящимися в парообразном состоянии, принимает вид

$$E_z = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \sum_{j=1}^N (\vec{P}_j \cdot \vec{e}_z) r_j^3, \quad (2)$$

где \vec{P}_j — дипольный момент j -той молекулы, r_j — координата этой молекулы.

Считая, что все молекулы H_2O обладают одинаковыми дипольными моментами с заданным угловым распределением и заменяя процедуру суммирования интегралом, получим

$$E_z = \rho P_0 \langle \cos\theta \rangle / (3\epsilon_0\epsilon), \quad (2)$$

где ρ — объемная плотность молекул H_2O в атмосфере, P_0 — дипольный момент этих молекул, θ — угол между направлениями действующих сил и вектора \vec{P}_0 . Усреднение в (3) проведено по всем возможным ансамблям:

$$\langle \cos\theta \rangle = \frac{\int \cos\theta \exp\left(-\frac{1}{2kT} \frac{\partial}{\partial\theta} |\vec{M} \cdot \vec{e}_z|\right) d\Omega_1}{\int \exp\left(-\frac{1}{2kT} \frac{\partial}{\partial\theta} |\vec{M} \cdot \vec{e}_z|\right) d\Omega_1}, \quad (4)$$

где $d\Omega_1$ — телесный угол, k — постоянная Больцмана, T — температура среды, \vec{M} — момент вращения молекул H_2O , возникающий под воздействием силы тяжести. Величина

$$\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial\theta} |\vec{M} \cdot \vec{e}_z| \quad (5)$$

является кинетической энергией вынужденного вращения молекулы. Рассматривая молекулу H_2O как ротатор, находящийся в среде, где имеют место столкновительные процессы, величину $|\vec{M}|$ можно представить в виде:

$$|M| = I\Omega\sqrt{\omega^2 - \nu^2} \quad (6)$$

где I — момент инерции молекул H_2O , Ω — частота ротации, определяемая вращательной энергией молекул ⁽⁹⁾, ω — угловая скорость прецессии ротатора, возникающей под действием силы тяжести, ν — частота столкновений соседних молекул воздуха, приводящих к эффективной дезориентации молекул H_2O .

Величину ν можно рассчитать следующим образом:

$$\nu = \sqrt{2\pi\bar{v}n_0l^2}, \quad (7)$$

где l — приведенная длина молекулы H_2O , рассматриваемой как ротор ⁽¹⁰⁾, \bar{v} — тепловая скорость молекулы, n_0 — число молекул воздуха в единичном объеме. Следуя ⁽¹⁰⁾, но одновременно учитывая процессы перемешивания воздуха, величину ω представим в виде

$$\omega = \frac{g}{l\omega_0} [1 - \exp(-\omega_0\tau)], \quad (8)$$

где ω_0 — средняя частота перемешивания воздуха, обусловленного наличием градиентов давления, температур, плотности и турбулентности разного масштаба и т. п., g — ускорение свободного падения, τ — характерное время, в течение которого осуществляются процессы ориентации H_2O под действием вынуждающей силы гравитации Земли. Величину τ можно оценить, приняв, что предельное значение угла вращения молекул под вынуждающим действием силы тяжести равно $\pi/2$:

$$\tau_{\text{пред}} = \pi kTl / (I\Omega g). \quad (9)$$

После усреднения в (4) и с учетом (5) ÷ (9) выражение (3) принимает вид

$$E_z = \frac{\rho P_0}{3\varepsilon_0\varepsilon} L\left(\frac{I\Omega}{2kT}\sqrt{\omega^2 - \nu^2}\right), \quad (10)$$

где $L(x)$ — функция Ланжевена.

Теперь учтем роль свободных зарядов среды. Поскольку свободные заряды (ионы) в воздухе при наличии поля E_z должны пространственно перераспределяться в соответствии со знаками зарядов, то тем самым будет создаваться добавочная электрическая поляризация среды $P_{\text{пров}} = \sigma\tau_0 E_z$, и напряженность результирующего поля будет

$$E_z = \frac{\rho P_0 l(x)}{3\varepsilon_0\varepsilon} - \frac{\sigma\tau_0 E_z}{\varepsilon_0\varepsilon} \quad (11)$$

или

$$E_z = \frac{\rho P_0}{3(\varepsilon_0\varepsilon + \sigma\tau_0)} L\left(\frac{I\Omega}{2kT}\sqrt{\omega^2 - \nu^2}\right), \quad (12)$$

где σ — проводимость тропосферы, $\tau_0 = H_z/v_{\text{перен}}$, H_z — высота тропосферы, $v_{\text{перен}}$ — средняя скорость переноса ионов в тропосфере. Заметим, что при конденсированном состоянии среды квадратный корень в аргументе функции Ланжевена становится мнимым, т. е. указанный эффект отсутствует.

Учитывая, что число молекул H_2O в единичном объеме тропосферы ρ варьируется в пределах $(0,1 \div 1) \cdot 10^{23}$ молекул/м³, $P_0 = 10^{-29}$ Кл. М; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл./В.М.; $\epsilon = 1$; $I = 3 \cdot 10^{-47}$ кг.М²; $\Omega = 10^{13}$ с⁻¹; $g = 10$ М/С²; $l = 5 \cdot 10^{-11}$ М; $KT = 4 \cdot 10^{-21}$ Дж.; $\nu = 1,2 \cdot 10^8$ С⁻¹; $\sigma = (1 \div 2) \cdot 10^{-14}$ Ом⁻¹. М⁻¹; $\tau_0 = 10^3$ С; $\tau = 200$ С, и при $\omega_0 \tau \ll 1$, получим: $E_z = (30 \div 300)$ В/М.

Проведенные оценки показывают, что величина E_z целиком определяется влажностью среды, и в непроводящей атмосфере, где $\sigma = 0$, величина E_z может увеличиться на 2 порядка. В смерчах и мощных конвективных облаках величина E_z может увеличиваться на 1-2 порядка за счет увеличения локального значения g .

Таким образом, рассмотренный механизм преимущественной ориентации диполей молекул пара воды, приобретаемой под воздействием гравитационной силы, позволяет, оставаясь в рамках океанической модели, избежать необходимости принятия гипотез о разделении зарядов при парообразовании и гипотетическом положительном дробном заряде молекул паров, трудно поддающихся физической интерпретации.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

2. Գ. ԲԱՆՇՅԱՆ

Միջավայրի խոնավությամբ սլալմանավորված երկրի մթնոլորտի էլեկտրաստատիկ դաշտի առաջացման բնույթի մասին

Առաջարկված է, երկրի ձգողական ուժի ազդեցության տակ, մթնոլորտում գոլորշի վիճակում գտնվող ջրի մոլեկուլների դիպոլների նախընտրելի տարածական կողմնորոշման մեխանիզմը: Գնահատված է տվյալ մեխանիզմի շնորհիվ մթնոլորտում առաջացող էլեկտրական դաշտի լարվածության արժեքը: Երկրի մթնոլորտի էլեկտրական դաշտի և մթնոլորտի խոնավության (օվկիանոսային մոդել) միջև փորձով դիտվող կոռելյացիան բացատրվում է տվյալ մեխանիզմով, ընդ որում բացառվում է ջրի գոլորշիացված մոլեկուլին 1:Ն:Ցաղրյալ կոտորակային դրական լիցք վերադրելու անհրաժեշտությունը:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ П. В. Блюх, А. П. Николаенко, Ю. Ф. Филиппов, Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля—Ионосфера, Научова думка, Киев, 1977.
- ² Ю. А. Брагин и др., Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству, Гидрометеиздат, Л., 1984.
- ³ Л. Г. Махоткин, Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству, Гидрометеиздат, Л., 1984.
- ⁴ А. И. Селезнева, Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству, Гидрометеиздат, Л., 1984.
- ⁵ В. А. Дьячук, А. А. Роменский, Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству, Гидрометеиздат, Л., 1984.
- ⁶ А. А. Кречетов, А. Х. Филиппов, В. К. Татарников, Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству, Гидрометеиздат, Л., 1984.
- ⁷ О. И. Бандилег, Х. Д. Канонизм, С. П. Чернышова и др., Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству, Гидрометеиздат, Л., 1984.
- ⁸ Н. В. Красногорская, Л. О. Шохмельник, Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству, Гидрометеиздат, Л., 1984.
- ⁹ М. А. Ельяшевич, Атомная и молекулярная спектроскопия, Гос. изд-во физ.-мат. лит., М., 1962.
- ¹⁰ Г. Г. Бахмян, Изв. АН Арм. ССР. Физика т. 18, № 5 (1983).