

RESISTANCE OF FINITE ONE-DIMENSIONAL SYSTEM IN EXACTLY SOLVABLE RANDOM FIELD MODEL

V. M. GASPARYAN, [Z. H. KASAMANYAN]

The properties of an one-dimensional periodical system of a finite length in the presence of additional random field of δ -potentials, the amplitudes of which are distributed according to the Lorentz law, are discussed. It is shown that in this exactly solvable model in which the length of a sample increases, the resistance grows not exponentially, but rather according to the power law.

Изв. АН Армения, Физика т. 27, вып. 1, 43—50 (1992)

УДК 621.311;525.23

НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДВИЖУЩИХСЯ ПАРОВ ВОДЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ И ОЦЕНКА ЕГО РОЛИ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Г. Г. БАХШЯН

Институт радиотехники и электроники АН Армении

(Поступила в редакцию 15 октября 1990 г.)

Выявлено, что ускоренно движущийся пар или капли воды преобразуют часть своей механической энергии в электрическую. Теоретическое обоснование предложенного механизма дано на основе некоторых известных физических свойств молекул воды. С помощью ориентационного тока смещения молекул воды, возникающего в режиме ускоренного движения, оценен вклад в процессы развития электроактивности в земной облачной и безоблачной атмосфере. На базе предложенного механизма вновь проанализированы результаты некоторых экспериментальных факторов, полученных в натурных измерениях электризации атмосферы и ее лабораторном моделировании. Рассматривается возможность ее технического применения для получения электроэнергии в промышленном объеме.

Вопрос о роли различных механизмов в процессе образования электризации облака остается открытым по настоящее время [1]. Измеренные электрические потери в облаках, токи в облаках, характеристики возникновения разрядов в облаках по порядку величин отличаются от предполагавшихся [1]. Такое несоответствие привело к тому, что на международной конфигурации по атмосферному электричеству высказывалось предложение «О наложении моратория на исследования процесса элементарной электризации» в связи с несопоставимостью полученных данных с реальными процессами в облаках [1, 2].

На наш взгляд причина столь долгих неудачных исследований кроется в том, что в основе почти всех предложенных механизмов (чи-

сло которых порядка нескольких десятков) положена идея о различных способах рождения и пространственного перераспределения свободных зарядов и ионов по знаку. Сразу заметим, что в этих моделях не учитывалась возможность возникновения в атмосфере электрического тока, обусловленного связанными зарядами, например ориентациями дипольных молекул H_2O , осуществляемыми через релаксацию поляризационного рельефа среды в целом или релаксационными токами, возникшими вследствие релаксации термодинамических неравновесных состояний в полярных средах. При этом, в отличие от тока проводимости, всегда нейтрализующего имеющиеся разделения зарядов, в полярной среде всякие релаксационные процессы, приводящие к термодинамическому равновесию и некоторым видам ориентационной релаксации поляризации, создают релаксационные токи, которые приводят не к нейтрализации имеющегося разделения зарядов, а наоборот, к поддержанию и усилению такого разделения [3—5]. В том случае, когда полярная среда образуется вследствие поступательного движения молекул, направления переноса заряда, т. е. тока, в случае ориентационной релаксации поляризации сред зависит от знака ускорения действующих внешних сред. Следовательно, в потоке влажных воздушных масс, несущих порывы ветра, обеспечивающие ускорения разного знака в разных точках пространства, происходит дальнейшее локальное разделение пространственного заряда.

Цель настоящей работы заключается в оценке роли и степени вклада электрических токов, возникающих из-за релаксации ориентационной поляризации среды, и релаксационных токов неравновесных полярных сред в общий баланс Э. Д. С. среды и в оценке возникшей напряженности электрического поля как в облачной, так и в безоблачной атмосфере, а также рассматриваются вопросы его технического применения для получения электроэнергии для народного хозяйства.

В последние годы в ряде работ [6—9] основной механизм возникновения электроактивности в нижней атмосфере нами приписывался преимущественно ориентации молекул воды, поддерживаемой механическими силами движущихся облаков и влажных воздушных масс. Эта идея основывается на том факторе, что анизотропную молекулу H_2O в атмосфере в парообразном состоянии можно рассматривать как незакрепленный (в конденсированном состоянии частично закрепленный) гироскопический маятник, который при движении под действием магнусовой силы приобретает пространственную преимущественную ориентацию. Эта сила, наряду с силой лобового сопротивления появляется, когда вращающаяся система выполняет относительно поступательный перенос в газах и в жидкостях. Роль магнусовой силы в процессе ориентации молекул в случае, когда исследуемая система представляет собой молекулярный ротатор, рассматриваемый в [10]. Следует сказать, что пространственная преимущественная ориентация молекул H_2O может произойти также под действием силы тяжести, если молекулы H_2O считать незакрепленными эквивалентными физическими маятниками [6].

Кроме этого, ввиду асимметричной формы молекулы H_2O пространственная ориентация произойдет также под действием лобового сопро-
тивления в потоке газа. В данной работе речь пойдет о механизме ориен-
тации, молекул H_2O в газовом потоке, который возникает посредством
воздействия магнусовой силы.

1. Анализ механизмов, приводящих к электризации среды

Следуя методике, развитой в работах [3—5], представим связь
между величинами электрического тока и напряженности поля для
среды, в которой полярная структура возникает за счет движения па-
ров и капелек воды, в виде

$$E = J\sigma^{-1}. \quad (1)$$

Здесь $\sigma = \sigma_{св\ddot{y}а} + \sigma_{своб}$ — удельная суммарная электропроводность,
обусловленная как свободным зарядом, так и смещением связанных
зарядов диполей H_2O , J — плотность суммарного нециркулярного то-
ка в полярной среде, вызванного релаксациями из термодинамически
неравновесного состояния среды к равновесному, и ориентационной ре-
лаксации поляризации среды.

Величину J можно представить в виде суммы составляющих

$$J = J_1 + \partial P / \partial t + \dots, \quad (2)$$

где $J \sim env$ — суммарный ток свободных зарядов, обусловленный
ионизацией среды (например, за счет фото-эффекта и т. п.), который
при тепловом движении претерпевает асимметричное рассеяние на асим-
метричных молекулах среды. Вследствие этого у свободных электронов
появляется вероятность перемещаться в виде направленного потока,
если эти асимметричные полярные молекулы с асимметричной потенци-
альной ямой в пространстве выстроены преимущественно в одном на-
правлении [3]. Вкладом этого слагаемого в общий баланс Э. Д. С. в
полярной среде, какой является земная атмосфера, по-видимому, нель-
зя пренебрегать. На эти вопросы более подробно следует остано-
виться в отдельной работе. В представленной работе наше усилие сосре-
доточим на выявлении вклада в Э. Д. С., связанного со вторым слагае-
мым в правой части (2).

Второе слагаемое в правой части (2) — это ток, обусловленный ре-
лаксацией ориентационной поляризации среды (релаксацией преимуще-
ственно ориентированных состояний полярных молекул H_2O в атмо-
сфере), осуществляемой движением влажных масс земной атмосферы.
Степень преимущественной ориентации молекул H_2O в атмосфере, и

соответственно вектор поляризации среды, зависящий от скорости переноса этих молекул представляется, согласно [7], в виде

$$\mathbf{P} = \rho P_0 L(F_M l / k T) \mathbf{n}_0, \quad (3)$$

где ρ —число молекул H_2O в единичном объеме, P_0 —дипольный момент молекул H_2O , $L(b)$ —функция Ланжевена, l —приведенная длина плеча молекулы H_2O как эквивалентного физического маятника, $F_M \sim m[\omega v]$ —Матюссова сила, возникает когда молекула H_2O , как незакрепленный гироскоп (ротатор) с собственной частотой ω , движется со скоростью v , m —приведенная масса молекулы. Величина $F_M l$ является моментом ориентации (прециссии) молекул как ротатора или незакрепленного гироскопического маятника в газовом потоке, движущегося со скоростью v [7], $\mathbf{n}_0$ —единичный вектор по направлению v .

Тогда величину тока поляризационной релаксации можно записать

$$\mathbf{J} = \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} \simeq \frac{\rho P_0 L(F_M l / k T) \mathbf{n}_0}{\tau} \quad (4a)$$

или точнее

$$\mathbf{J} = \rho P_0 \left(\frac{1}{b^2} - \frac{1}{\text{sh}^2 b} \right) \frac{m \omega l}{k T} \mathbf{a}, \quad (4b)$$

где $b = F_M l / k T$, $\text{sh } b$ —гиперболический синус, $\mathbf{a}$ —ускорение молекулы H_2O , возникшее под действием различных механических сил (силы тяжести Земли, сил вынужденной остановки при столкновении с мишенью, сил градиента давления, силы порывов ветра в циклоне, центробежных сил в воронке смерча и др.). τ —время ориентационной релаксации поляризации или время лотерь количества ориентационных движений молекул H_2O в потоке (степень инерционности преимущественно ориентированных состояний молекул H_2O , в потоке). Как следует из (4b), направление потока заряда и знак этого электрического тока определяются знаком ускорения $\mathbf{a}$ —внешних действующих сил. Это означает, что при наличии порывов ветра при движении облаков в разных координатах пространства (вначале и в конце действия порывов ветра) должно появляться накопление зарядов разного знака.

Тогда имея в виду, что проводимость связанных зарядов $\sigma_{\text{связ}} = \epsilon_0 \epsilon / \tau_0$

где ϵ_0 —диэлектрическая постоянная, ϵ —диэлектрическая проницаемость срезы, τ —время разрядки созданного заряда (тока), полученного при вариации значения $\mathbf{P}$ (формула (2)) и подставляя результат (4) в формулу (1), будем иметь

$$\mathbf{E} = \frac{\rho P_0 \tau_0}{(\epsilon_0 \epsilon + \tau_0 \sigma_{\text{пров}}) \tau} L(F_M l / k T) \mathbf{n}_0 \quad (5a)$$

$$E = \frac{\rho P_0 \tau_0}{(\epsilon_0 \epsilon + \tau_0 \sigma_{\text{пров.}})} \left(\frac{1}{b^2} - \frac{1}{\text{sh}^2 b} \right) \frac{m \omega l}{k T} \text{ а.} \quad (56)$$

Выражение (5а) почти не отличается от аналогичной формулы, выведенной другим способом в работе [8].

В облачных средах, особенно, когда частицы облака являются переохлажденными каплями, где водородные связи частично разорваны [11], степень автономии молекулы H_2O как ротатора (как гитроскопического маятника) будет достаточно высока (вращательные уровни молекул H_2O сохраняются и в жидком состоянии [12]). Это означает, что Магнуссова сила и в жидком состоянии может работать в некотором эффективном смысле

$$F_M \sim \gamma m [\omega v], \quad (6)$$

где коэффициент γ определяет степень автономии молекул H_2O как ротатора, когда последние находятся в жидкой среде. Значение γ существенно зависит от глубины переохлаждения капли, от температуры и давления среды, наконец и от размера капли.

2. Численные оценки полученных результатов

а) Когда молекулы H_2O находятся в парообразном состоянии.

В безоблачной атмосфере испаряющиеся с поверхности суши и моря молекулы воды, имеющие влажность $\rho = 5 \cdot 10^{22}$ молек./м³, при значении $P_0 = 1,56 \cdot 10^{20}$ Кл.м.; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл./В.м.; $\epsilon = 1$; $\sigma_{\text{пров.}} = 10^{-14}$ Ом⁻¹.м⁻¹; $m = 3 \cdot 10^{-26}$ кг; $\omega = 3 \cdot 10^{13}$ с⁻¹; $l = 5 \cdot 10^{-11}$ м; $kt = 4 \cdot 10^{-21}$ Дж; $\Delta v = 0,3$ м/с и $\tau = \tau_0 = 10$ с; $|a| = \Delta v / \tau = 0,03$ м/с², согласно предлагаемому механизму, в состоянии производить электрический ток порядка

$$|J| \simeq 3 \cdot 10^{-9} |a| \simeq 10^{-10} \text{ А/м}^2, \quad (7)$$

вычисляемый по формуле (46) и напряженность электрического поля, вычисляемую по формуле (5)

$$|E| \simeq 100 \text{ В/м.} \quad (8)$$

Имеется в виду, что процессы зарядки и разрядки осуществляются одним и тем же механизмом ориентационной релаксации, поэтому $\tau = \tau_0$; время τ — можно определить из эксперимента [13] как время нарастания тока, где $\tau = 10$ с, в то же время τ_0 , как время релаксации заряда, разрядки мишени, на которую падает поток аэрозоля, составляет примерно 10^3 сек и даже больше [13, 14]. Соотношение τ_0/τ в выражении (5а) играет роль фактора, способствующего накоплению заряда на мишени.

Сравним с экспериментальными результатами.

Измеренные значения конвективного электрического тока в атмосфере в переходный период, когда скорость ветра составляет (3—4) м/с, получаются следующие [15, 16]

$$|J| \simeq 10^{-11} - 10^{-10} \text{ А/м}^2.$$

Многочисленные наблюдения значений $|E|$ в безоблачной атмосфере, вблизи поверхности Земли, варьируются в пределах (50—150) В/м [17];

б) Когда пробная молекула H_2O находится в облачных средах, в переохлажденной капле.

В облаке, состоящем из переохлажденных капель, где локальное значение ρ иногда превышает ρ безоблачной атмосферы на порядок, и где скорость донвективного переноса может достигать 100 м/с, при этих условиях, если отдельные ячейки облака будут сталкиваться друг с другом или когда эти ячейки несут на себе действия порывов ветра, градиент скорости, приобретаемый пробной молекулой, будет того же порядка, что и v , тогда ожидаемое ускорение a может достичь значений $10^2 - 10^4 \text{ м/с}^2$. Соответствующие теоретические значения созданного тока и напряженности будут

$$|J| \simeq \gamma \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}^2$$

и

$$|E| \simeq \gamma \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ В/м},$$

где значения γ могут быть найдены экспериментально, ожидаемые значения γ для переохлажденных капель $\sim 0,1 - 0,01$. Именно такого порядка электрические токи и напряженность поля наблюдается в грозовых облаках.

3. Экспериментальные факты, подтверждающие степень правомерности предложенного механизма

Давно, на заре электричества, Кельвин регистрировал, что пар locomатива вызывает возмущение имеющегося вокруг него градиента электрического потенциала. Вокруг водопадов (например, в Неваде) всегда регистрируется избыточный градиент электрических потенциалов. В работе [14] авторы утверждают, что в лабораторных камерах тумана, напряженность электрического поля растет и достигает максимума во время пуска пара, а потом медленно падает до нуля. В этом эксперименте было установлено, что меньшей скорости заполнения камеры туманом соответствует меньший заряд тумана. При медленном заполнении камеры паром образуется слабо заряженный туман. Заряджение тумана происходит только во время пуска пара в камеру [14]. В аэродинамических трубах, любые мишени перед форсунками заряжаются. Причем из опыта следует, что потенциал заряджения почти пря-

мо пропорционален скорости потока разбрызгиваемых капель от форсунки [13, 14]. В ходе экспериментов было замечено, что интенсивность процесса заряжения меняется при изменении степени чистоты разбрызгиваемой воды [13]. При использовании водопроводной воды процессы заряжения практически отсутствуют [13]. Как видим, присутствие свободных зарядов и ионов играют здесь обратную роль, т.е. природу процесса электризации здесь надо искать в возникновении конвективных токов, образующихся из-за релаксации ориентационной поляризации диполей молекул.

Наконец добавим, что экспериментально доказано, что молекулы, обладающие анизотропной структурой, в газовом потоке приобретают преимущественную ориентацию [15], где степень ориентации пропорциональна скорости потока.

Исходя из вышеприведенного теоретического анализа (пункт I) и приведенных экспериментальных фактов (неполных), нетрудно прийти к выводу, что ускоренно движущийся пар или капля в слабопроводящей среде является источником образования электрического тока, или движущийся пар (капля), получивший ускорение, преобразует часть своей собственной механической (кинетической) энергии в электрическую.

Тогда, в рамках справедливости поставленных задач, становится целесообразным определить уровень эффективности и технической возможности задачи преобразования кинетической энергии движущихся паров в электрическую. Например, чистый пар с высоким давлением пускается в трубы с периодическим меняющимся диаметром, для того чтобы в узлах перехода обеспечить градиент давления. Соответственно регулируется и режим ускоренного движения, который и должен стать достаточным условием для индуцирования электрического тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М. Атмосферное электричество. Труды II Всесоюзного симпозиума. Гидрометеониздат, Л., с. 94, 1984.
2. Brook M. In Discussion—In: Electrical Processes in Atmosphere. Darmstadt: Dietrich stinkopf, p. 328, 1977.
3. Белингер В. И., Струман Б. И. УФН, 130, 415 (1980).
4. Малиновский В. В., Струман Б. И. ЖЭТФ, 79, 1(7), 207 (1980).
5. Губкин А. М. Электреты. Изд. Наука, М., 1977.
6. Бахсян Г. Г. Изв. АН Арм. ССР, Физика, 18, 300 (1983).
7. Бахсян Г. Г., Карапетян К. Е., Григорян М. Г. ДАН АрмССР, 93, 20 (1990).
8. Бахсян Г. Г. ДАН АрмССР, 85, 117 (1987).
9. Бахсян Г. Г. Материалы Всесоюзного семинара, Нальчик 15—17 октября 1985, Гидрометеониздат, М., с. 32, 1988.
10. Гельмуханов, Л. В. Ильичев. Сб. трудов: Оптическая ориентация атомов и молекул. Л., ФТИ, с. 97, 1987.
11. Годизов А. Г., Михеев Т. Ф. Труды ИЭМ 44 (134), Гидрометеониздат, М., с. 86, 1987.
12. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды, Гидрометеониздат, Л., 1975.

13. Бекряев В. И., Качурин А. Г., Посоловников В. Ф. Труды АГМИ, 45, М., Гидрометеониздат, с. 3, 1972.
14. Лабораторное моделирование процессов контактной электризации облачных частиц. Под редакцией И. М. Имянитова и Е. В. Чубарина. Гидрометеониздат, Л., 1985.
15. Sinha M. P., Caldwell C. D., Zare R. N. The J. Chemical Phys., 61, 491, 1974.

ՋՐԻ ԳՈՒՐՈՐՇՈՒ ՇԱՐԺՄԱՆ ՄԵՆԱՆԻԿԱԿԱՆ ԷՆԵՐԳԻԱՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՓՈՆԱՐԿՄԱՆ ՆՈՐ ՄԵՆԱՆԻՉՄ ԵՎ ՆՐԱ ԴԵՐԸ ԵՐԿՐԻ ՄԹՆՈՂՈՐՏԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

Հ. Գ. ԲԱԽՇՅԱՆ

Բացահայտված է, որ մթնոլորտում արագացումով շարժվող ջրի գոլորշին կամ կաթիլները իրենց շարժման մեխանիկական էներգիայի մի մասը վերափոխում են էլեկտրական էներգիայի: Հիմնվելով ջրի մոլեկուլի որոշ ֆիզիկական հատկությունների վրա, առաջադրված մեխանիզմի համար արված է տեսական մաթեմատիկական հիմնավորում: Քննարկված է նաև առաջադրված մեխանիզմով, արդյունաբերական ծավալով շարժվող գոլորշու մեխանիկական էներգիան էլեկտրական փոխարկման տեխնիկական հնարավորության հարցը:

A NOVEL CONVERSION MECHANISM OF MECHANICAL ENERGY OF WATER VAPOUR TO ELECTRICAL ENERGY AND ITS ROLE IN THE PROCESS OF EARTH ATMOSPHERE ELECTRIZATION

H. G. BAKHSHYAN

It was found that the mechanical energy of accelerated vapour and water drops is partially converted to electrical energy. The proposed mechanism is explained on the basis of some known physical properties of water molecules. An estimate of electroactivity developed in cloudy or cloudless atmosphere of the Earth was made using the orientational shift current induced by an accelerated water molecule. By means of the proposed mechanism some experimental results on the electization of atmosphere and of its laboratory modelling have been analyzed. The possibility of industrial utilization of this conversion mechanism is discussed.

Изв. АН Армении, Физика, т. 27, вып. 1, с. 50—55 (1992)

УДК 533.95

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗДЕЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА И ПЛАЗМЫ

Н. И. КАРБУШЕВ, Э. В. РОСТОМЯН

Институт радиофизики и электроники АН Армении

(Поступила в редакцию 3 октября 1990 г.)

Исследуется система, состоящая из пространственно удаленных релятивистского электронного пучка и плазмы в отсутствие внешнего