

- [6] R o s k e t t A., K l e m J., B a r n e t t S.A., G r e e n J.E., M o r c o s H. // J. Appl. Phys. 1986. V. 59. P. 2777.
- [7] К а р п о в С.Ю., К о в а л ь ч у к Ю.В., М я ч и н В.Е., Г. д е л а К р у з, П о г о р е л ь с к и й Ю.В., Р у с а н о в и ч И.Ю., С о к о л о в И.А., Ф а л е е в Н.Н., Ф о к и н Г.А., Э т и н б е р г М.И. // П и с ь м а в Ж Т Ф, 1991.
- [8] M o r c o s H., D r u m m o n d T.J., F i s h e r R. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. P. 1030.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
5 марта 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17. вып. 7

12 апреля 1991 г.

03; 04

© 1991

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

И.В. З а й ц е в, С.В. З а й ц е в

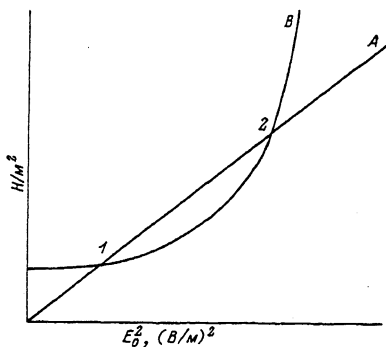
В настоящее время ни одной из предложенных моделей шаровой молнии (ШМ) не удается объяснить весь комплекс ее необычных свойств [1-3].

В данной работе предлагается модель, которая исходит из гипотезы о том, что ШМ представляет собой аналог мыльного пузыря с положительным электрическим зарядом Q . Найдем условия стабильности этой конструкции. На поверхность заряженной сферы действует нормальное растягивающее напряжение:

$$\sigma = \frac{\epsilon_0 E_0^2}{2}, \quad (1)$$

где E_0 — напряженность электрического поля у поверхности сферы, ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость. Это напряжение должно быть уравновешено внешним давлением. Такое давление может создать атмосфера из поляризованных молекул воды, которые соберутся вокруг заряженной сферы. Проверим это предположение теоретическим расчетом. Согласно статистической механике, частицы, пребывая в тепловом равновесии в поле сил, распределяются так, что плотность частиц n в точке с координатой R определяется формулой

$$n(R) = n(R_0) \cdot \exp\left\{-\frac{U(R) - U(R_0)}{kT}\right\}, \quad (2)$$



А — зависимость растягивающего нормального напряжения σ от E_0^2 . В — зависимость давления газа из поляризованных молекул у поверхности ШМ от E_0^2 . Масштаб намеренно искажен для наглядности. 1 и 2 — точки равновесия.

где $U(R)$ — потенциальная энергия частицы, k — постоянная Больцмана, R_0 — радиус сферы, T — температура. На молекулу вблизи ШМ действует сила

$$F(R) = \left(\alpha E + \frac{p_0^2 E}{3kT} \right) \frac{dE}{dR}, \quad (3)$$

где α — полярность молекулы воды, E — напряженность электрического поля, p_0 — постоянный дипольный момент молекулы. Из (2) и (3) получим:

$$\frac{n(R)}{n(R_0)} = \exp \left\{ - \left(\frac{Q}{4\pi \epsilon_0} \right)^2 \frac{1}{2kT} \left(\alpha + \frac{p_0^2}{3kT} \right) \left(\frac{1}{R_0^4} - \frac{1}{R^4} \right) \right\}.$$

Устремив R к бесконечности, получим

$$n(R_0) = n(\infty) \cdot \exp \left\{ \frac{E_0^2}{2kT} \left(\alpha + \frac{p_0^2}{3kT} \right) \right\}.$$

Считая, что давление пропорционально концентрации частиц, найдем условие равновесия шара из следующего трансцендентного уравнения:

$$\frac{\epsilon_0 E_0^2}{2} = p(\infty) \cdot \exp \left\{ \frac{E_0^2}{2kT} \left(\alpha + \frac{p_0^2}{3kT} \right) \right\},$$

где $p(\infty)$ — давление на большом удалении от ШМ. На рисунке представлены зависимости его левой и правой части от E_2 . Видно, что в общем случае уравнение имеет два решения: в точках 1 и 2. Но решение 1 является неустойчивым относительно малых возму-

шений поверхности ШМ. Для $R_0 = 7 \cdot 10^{-2}$ м и $T = 300$ К решение 2 дает: $E_0 = 5.5 \cdot 10^9$ В/м и $\rho = 2.3 \cdot 10^8$ н/м². Такая напряженность недостаточна для автоионизации молекул воды. В то же время, согласно закону Пашена, она не вызовет электрического пробоя при данном давлении. Пробой возможен лишь в шаровом слое на некотором удалении от поверхности ШМ. Отсутствие конденсации водяного пара в этих условиях можно объяснить влиянием сил диполь-дипольного расталкивания. Электрическое поле как бы разрушает саму причину существования сил Ван-дер Ваальса, ответственных за образование конденсированного состояния. Однако не исключено, что молекулы могут выстраиваться в радиальные цепочки.

Оценим для приведенных условий энергию ШМ. Она состоит из энергии электростатического поля W_1 , энергии, приобретенной постоянными диполями в поле W_2 , энергии, затраченной на электронную поляризацию W_3 , и работы по сжатию газа W_4 :

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 =$$

$$= \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 R_0} + \sum \rho_0 E(R) + \sum \frac{1}{2} \alpha E^2(R) + \int_{R=R_0}^{\infty} [\rho(R) - \rho(\infty)] 4\pi R^2 dR.$$

Основной вклад здесь дает энергия поля, которая составляет $5.8 \cdot 10^5$ Дж. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными [4]. Заряд ШМ при заданных параметрах равен $3 \cdot 10^{-3}$ Кл.

Как известно из многочисленных наблюдений, некоторые ШМ взрываются, а некоторые исчезают постепенно. ШМ в точке 2 на рис. 1 при уменьшении E_0 должна взорваться, так как ее разорвут пондеромоторные силы. При этом выделится вся запасенная энергия. С другой стороны, при определенных значениях температуры и давления водяного пара точки 1 и 2 на рисунке могут сблизиться. В этом случае на некотором участке два графика будут почти совпадать. При стекании заряда ШМ уже не взорвется, а будет сравнительно медленно уменьшаться в диаметре. Такие случаи наблюдались на практике ([3], с. 94).

Авторы полагают, что при конкретизации и уточнении данной модели удастся объяснить все свойства ШМ.

Косвенным свидетельством адекватности предложенной модели можно считать результаты расчетов в [1], которые показывают, что поверхностное натяжение ШМ должно быть примерно равным поверхностному натяжению воды. Кроме того, в [5] показано, что при определенном электрическом напряжении удастся достигать устойчивого зависания легких проводящих шаров в поле плоского конденсатора вблизи электродов.

По-видимому, завершением математической модели ШМ должны быть рекомендации по ее практическому получению в лабораторных условиях. Поэтому в заключение отметим, что вышеуказанную конфигурацию можно попытаться получить за счет кратковременного мощного энерговыделения в малом объеме в среде насыщенного

водяного пара и в присутствии поверхностно-активных веществ. Радиус этого объема должен быть порядка одного сантиметра, что следует из необходимости создания требуемого заряда за счет ионизации газовой среды. Ввиду большей подвижности электроны уйдут из объема, а газ положительных ионов, расширяясь, создаст сферическую ударную волну, которая затем будет остановлена противодействием поляризованной атмосферы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С м и р н о в Б.М. // УФН. 1990. Т. 160. В. 4. С. 1-45.
- [2] O h t s u k i Y.H. (Ed.) Science of Ball Lightning: (Fire Ball) - Singapore a. o.: World Scientific. 1989. 340 p.
- [3] С т а х а н о в И.П. О физической природе шаровой молнии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 209 с.
- [4] С т е п а н о в С.И. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 2. С. 211-212.
- [5] А л е к с а н д р о в В.Я., П о д м о ш е н с к и й И.В.// Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 7. С. 639-642.

Поступило в Редакцию
20 сентября 1990 г.
В окончательной редакции
3 марта 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 7

12 апреля 1991 г.

01; 03

© 1991

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

В.А. З е л е н е ц к и й

1. Теоретическая физика предсказывает, что профиль относительной осредненной скорости в буферном слое, в котором ни вязкое, ни турбулентное течения не реализуются в отдельности, но где ярко выражена конкуренция между ними, должен быть универсальным на любом расстоянии от стенки [1]. Аналитический вид профиля скорости оставался неизвестным.

Конструктивной расчетной схемой, отражающей качественно-логическую структуру его формирования, оставалась концепция Г. Эммонса [2], согласно которой данная скорость представляет собой аддитивную величину