



**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна**

**P4-84-269**

**В.Н.Стрельцов**

**ОБ ИНЕРЦИАЛЬНОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ**

**1984**

## ВВЕДЕНИЕ

Опыты Барнетта<sup>/1/</sup> и Эйнштейна - де Гааза<sup>/2/</sup> доказали существование тесной связи между механическими и магнитными свойствами материальных тел. В первом случае, вращая тело с помощью внешних механических сил, наблюдали изменение магнитного момента, во втором - возникновение вращения /механического момента/ в результате изменения магнитного момента.

Ниже предлагается схема эксперимента и дается оценка эффекта возникновения поляризации в сегнетоэлектриках под действием механических сил /инерциальноэлектрический эффект/. Этот аналог эффекта Барнетта должен служить экспериментальным доказательством тесной связи между механическими и электрическими свойствами материальных тел.

В рамках теории относительности момент импульса определяется пространственными компонентами антисимметричного 4-тензора  $/M^{ik}, i, k = 0, 1, 2, 3/$  углового момента /"момента 4-импульса"/. При этом его временные компоненты  $/M^{0\alpha}, \alpha = 1, 2, 3,$  "момент энергии"/ описывают движение /положение/ центра инерции данного объекта. Аналогичным образом составляющие магнитного момента являются пространственными компонентами 4-тензора электромагнитного дипольного момента  $\mu^{ik}$ . Его временные компоненты  $\mu^{0\alpha} = \sum e(x^0 u^\alpha - x^\alpha u^0)$ , где  $e$  - заряд,  $x^i$  - координата, а  $u^i$  - 4-скорость частицы, определяют релятивистский электрический дипольный момент объекта /системы/. Поясним сказанное детальнее.

### 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬНЫЙ МОМЕНТ И ЦЕНТР МАСС

Известное нерелятивистское выражение для дипольного момента системы имеет вид

$$\vec{d} = \sum e \vec{r}. \quad /1/$$

С другой стороны, для "момента массы" системы, соответствующего ее центру масс, имеем

$$\vec{D} = \sum m \vec{r}. \quad /2/$$

Для системы частиц с одинаковыми отношениями заряда к массе будем, очевидно, иметь

$$\frac{\vec{d}}{\vec{D}} = \frac{e}{m}. \quad /3/$$

В общем случае, однако, такое простое соотношение не имеет места. Тем не менее именно равенства типа /3/ фактически указывают на существование связи между механическими и электрическими явлениями. Так, действие механических сил может привести к упорядочению элементарных дипольных моментов в диэлектрике, т.е. его поляризации /инерциальноэлектрический эффект - аналог эффекта Барнетта/. Обратный /электромеханический/ эффект будет выражаться в смещении положения центра масс диэлектрика под действием электрического поля.

Хотя обсуждаемые эффекты в общем малы, однако существование сегнетоэлектриков - кристаллов с высокой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon \approx 10^4 \div 10^5$  - делает возможным их наблюдение. Среди известных сегнетоэлектриков можно выделить: ниобат лития  $\text{LiNbO}_3 / 9 \cdot 10^5 /$ , титанат бария  $\text{BaTiO}_3 / 8 \cdot 10^4 /$  и танталат лития  $\text{LiTaO}_3 / 7 \cdot 10^4 /$ ; в скобках указаны величины спонтанной поляризации  $P_s$  в ед. СГСЭ  $\text{q} \cdot \text{cm}^{-2}$ . При этом важно отметить, что в основе сегнетоэлектрических явлений лежит фактически второй из обсуждаемых эффектов. Именно, спонтанная поляризация связана с ионной поляризацией, обусловленной положительными ионами, которые сдвигаются внутри кристаллической решетки. Так, в ниобате лития эти смещения составляют  $\delta(\text{Li}) = 0,9 \text{ \AA}$ ,  $\delta(\text{Nb}) = 0,5 \text{ \AA}$ , что соответствует смещению центра масс кристалла на величину  $\delta = 0,36 \text{ \AA}$ .

## 2. СХЕМА ОПЫТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНЕРЦИАЛЬНОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

В качестве механической силы предлагается использовать центробежную силу инерции. Берется небольшой цилиндрический конденсатор, заполненный сегнетоэлектриком, например, ниобатом лития. Для приведения его в быстрое вращение конденсатор монтируется в ротор. Возникающая при вращении центробежная сила ( $F$ ), действуя на подвижные ионы ниобия и лития, смещает их относительно кристаллической решетки. Указанная сила, конечно, значительно меньше соответствующей электрической силы  $F_m = eE_m$ , где  $E_m$  - максимальное значение поля, соответствующее насыщению. Однако ввиду огромных значений поляризации в сегнетоэлектриках даже при таких малых силах есть уверенность, что обсуждаемый эффект будет наблюдаться. Для наблюдения внутреннего электрического поля, обусловленного поляризацией диэлектрика, можно измерять разность потенциалов на обкладках конденсатора\*\* Можно

также обкладки замкнуть, тогда в цепи потечет ток. Конденсатор будет заряжаться. Связанное с этим внешнее электрическое поле может привести к дальнейшему росту поляризации. Появившийся на обкладках конденсатора заряд удобнее измерить после размыкания цепи и последующей остановки ротора, т.е. в покое\*.

## 3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТА

Пусть цилиндрический конденсатор имеет размеры:  $r_1 = 3 \text{ см}$ ,  $r_2 = 4 \text{ см}$ ,  $h = 1 \text{ см}$ . Его емкость  $C = 2\pi\epsilon_0\epsilon h \ln^{-1}(r_2/r_1)$  при  $\epsilon = 1$  будет составлять 2 пФ. С учетом того, что  $m_{\text{Nb}} = 92m_p \approx 1 \text{ эВ} \cdot \text{c}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$  при  $n \approx 10^3 \text{ об/с}$ , т.е. при  $\omega \approx 6 \cdot 10^3 \text{ c}^{-1}$ , и  $r = 3,5 \text{ см}$  для силы, действующей на ион ниобия, найдем

$$F = ma = m\omega^2 r \approx 10^{-2} \text{ эВ/см.} \quad /4/$$

Отношение соответствующего этой силе эффективного поля  $E_{\text{эф}} = F/e$  к максимальному  $E_m \approx 5 \cdot 10^3 \text{ В/см}$  составит  $E_{\text{эф}}/E_m \approx 2 \cdot 10^{-6}$ . При этом для поляризации  $P$  найдем

$$P \approx k \cdot 10^{-5} P_s \approx 0,2 \text{ СГСЭ} \text{ q} / \text{cm}^2, \quad /5/$$

где  $k = 0,1$  - коэффициент, учитывающий нелинейный рост поляризации при малых напряженностях. Этому значению  $P$  соответствуют внутренние поля  $E \approx 400 \text{ В/см}$ \*\*. Для титаната бария при данной  $\omega$  сила, действующая на ион  $\text{Ti}$ , будет приблизительно в два раза меньше. С учетом того, что  $P_s(\text{BaTiO}_3) \approx 0,1 P_s(\text{LiNbO}_3)$  для величины  $E$  найдем  $E \approx 20 \text{ В/см}$ . В случае  $\text{LiTaO}_3$  будем иметь  $E \approx 80 \text{ В/см}$ .

Вычисленные таким образом внутренние электрические поля, возникающие при вращении сегнетоэлектриков, как видно, вполне достаточны, чтобы быть обнаруженными экспериментально. Может быть, при этом понадобятся меньшие скорости вращения. Тогда для создания механической силы можно будет воспользоваться колебательным движением кварцевого преобразователя /с ускорением  $a_1 \approx 0,1 \text{ г/}$ .

Автор выражает благодарность М.С.Хвастунову за полезные обсуждения.

\* Конечно, проще всего было бы измерять непосредственно остаточную поляризацию.

\*\* Для длинного кругового цилиндра  $E \approx 3 \cdot 10^2 \cdot 2\pi P \text{ В/см}^2$ .

\* Конечно, при условии жесткого крепления диэлектрика.

\*\* Или изменение емкости конденсатора.

## ДОПОЛНЕНИЕ

Б.В.Васильев обратил внимание автора на свою работу /5/, в которой экспериментально показано, что во вращающемся жидком металле возникает некоторая сепарация ионов и электронов, проявляющая себя в виде магнитного поля, т.е. речь идет о рассмотренном выше эффекте.

Дальнейшие исследования инерциальноэлектрического эффекта и особенно обнаружение его в сегнетоэлектриках представляют несомненный интерес.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Barnett S.J. Phys.Rev., 1915, 6, p. 171.
2. Einstein A., de Haas W. Verh. Deutch. Phys.Ges., 1915, 17, p. 152,
3. Иона Ф., Ширане Д. Сегнетоэлектрические кристаллы. "Мир", М., 1965.
4. Киттель И. Введение в физику твердого тела. "Наука", М., 1978, гл. 14.
5. Васильев Б.В. ОИЯИ, P14-83-406, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 апреля 1984 года.

Стрельцов В.Н.

P4-84-269

### Об инерциальноэлектрическом эффекте

Обсуждается инерциальноэлектрический эффект - аналог известного эффекта Барнетта. Суть рассматриваемого явления заключается в изменении электрических свойств материальных тел под действием механических сил /точнее, возникновении электрического дипольного момента в результате изменения положения центра масс/. Для наблюдения указанного эффекта предлагается измерять поляризацию сегнетоэлектриков, возникающую под действием центробежных сил инерции.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Strel'tsov V.N.

P4-84-269

### On Inertial-Electrical Effect

Inertial-electrical effect, which is an analog of the known Barnett effect, is discussed. The essence of the effect under consideration lies in changing electrical properties of material bodies under the action of mechanical forces (more accurately, the appearance of an electrical dipole moment due to changing the center of mass position). To observe the indicated effect, it is suggested to measure the polarization of ferroelectrics arising under the influence of centrifugal inertia forces.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984