

## ИНДУЦИРОВАННАЯ ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ЭДС В СУПЕРИОННОМ ПРОВОДНИКЕ $\text{RbAg}_4\text{I}_5$

*М.Е.Компан*

В суперионном проводнике  $\text{RbAg}_4\text{I}_5$  экспериментально обнаружено электрическое поле, обусловленное перераспределением мобильных катионов  $\text{Ag}^+$  под действием силы тяжести. Показано, что в условиях эксперимента действие тяжести на подвижные катионы эквивалентно действию ЭДС.

Суперионные проводники или твердые электролиты — новый класс объектов в физике твердого тела, сочетающих свойства кристаллов, аморфных тел и жидкостей. Разнообразие супериоников и методов их изучения отражено, например, в <sup>1</sup>. Общим для данной группы веществ является наличие в твердом состоянии аномально высокой ионной проводимости, по

порядку величины соответствующей проводимости расплава. При этом в целом ряде супер-иоников ионная электропроводность на много порядков превышает проводимость электронную. Существенно также, что, в отличие от расплавов или растворов электролитов, в конкретном супер-ионном проводнике за ионную электропроводность ответственен определенный сорт ионов; в тех случаях, когда можно пренебречь электронной проводимостью, можно считать, что проводимость супер-иоников строго монополярна.

Уже на основании изложенных выше самых общих представлений о свойствах супер-ионных проводников можно ожидать, что существование в них носителей тока с инертной и гравитационной массой, на 4 — 5 порядков превышающей массу электрона, должно приводить к заметным эффектам в поле сил тяжести или в других неинерциальных системах отсчета. Так например, в образце, помещенном в поле земного тяготения, носители заряда должны перераспределиться так, чтобы скомпенсировать действие силы тяжести на подвижные заряды. Величина возникающего при этом в объеме образца электрического поля  $E$  определится из условия равновесия для произвольного иона — носителя заряда

$$M_i g = Ee, \quad (1)$$

где  $M_i$  — масса иона, ответственного за проводимость,  $g$  — ускорение свободного падения,  $e$  — заряд иона. Электрическое поле в образце будет обусловлено различной плотностью заряда на его верхней и нижней поверхностях. Постоянство концентрации подвижных ионов в объеме следует из однородности  $g$  и вытекающей из этого однородности  $E$  в объеме образца. Разделение зарядов и перенос их против электрического поля будет осуществляться за счет потенциальной энергии атомов из приповерхностных слоев верхней грани образца или атомов из материала верхнего контакта — если ионы материала контакта могут переносить ток в конкретном супер-ионном материале. Таким образом, действие силы тяжести на монополярный проводник эквивалентно действию некоторой ЭДС. При этом величина гравитационной ЭДС зависит лишь от отношения заряда к массе для проводящих ионов и от величины проекции расстояния между контактами на вертикальное направление. Величина ионной проводимости будет определять внутреннее сопротивление источника гравитационной ЭДС, а масса материала верхнего электрода — его энергоемкость.

Следует заметить, что сходные явления известны и экспериментально наблюдались на других классах объектов. Так, например, гравитационная ЭДС экспериментально реализуется в электрохимических ячейках специального типа<sup>2</sup>; опыты Толмена с сотрудниками по наблюдению инерционной ЭДС в металлах послужили доказательством электронной природы электрического тока в металлах<sup>3</sup>. По существу супер-ионники с их высокой ионной проводимостью представляют собой лишь весьма удобный объект для наблюдения некоторого общего явления — ЭДС, обусловленной неинерциальностью.

Для экспериментов был выбран  $RbAg_4I_5$ , имеющий наиболее высокую из известных ионную проводимость при комнатной температуре (порядка  $0,25 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ), обусловленную тяжелыми подвижными ионами  $Ag^+$ . Электронная электропроводность рубидий — серебра пентаиодистого пренебрежимо мала. При подстановке числовых значений в (1) получаем для величины электрического поля в  $RbAg_4I_5$  в земном поле тяжести  $E = 1,05 \cdot 10^5 \text{ В/М}$ , что соответствует ЭДС порядка микровольта для образца длиной 10 см. Из приведенной оценки следует, что эффект трудно наблюдать в монокристаллах, так как их линейные размеры не превышают сантиметра. Поэтому в качестве образцов были использованы серийные конденсаторы „ионисторы”<sup>4</sup> 1 фарада, 6,3 В, содержащие кристаллический твердый электролит между плоскими электродами, один из которых серебряный. Это позволило использовать образцы достаточной длины и обеспечило их низкое внутреннее сопротивление, включая и сопротивление области контакта с твердым электролитом. Трудность для эксперимента представляло остаточное напряжение на ионисторах, превышавшее ожидавшийся эффект по величине на несколько порядков. Поэтому после нескольких циклов за-

ряд-разряд четыре ионистора соединялись попарно-встречно (см. рис.1), так что индуцированные силой тяжести ЭДС отдельных ионисторов складывались, а остаточные напряжения вычитались. Затем батарея закорачивалась перед измерениями на время порядка нескольких суток. Измерительная процедура состояла в измерении напряжения на подготовленной таким образом ионисторной батарее при различных ориентациях ионисторов относительно вертикали. Напряжение измерялось микровольтметром В2-15 при чувствительности 100 мкВ на шкалу и регистрировалось самописцем. Такой метод измерения оказался в нашем случае лучше традиционного метода измерения с компенсацией остаточного напряжения, так как ток компенсации перезаряжал ионисторы и напряжение на них постоянно изменялось.

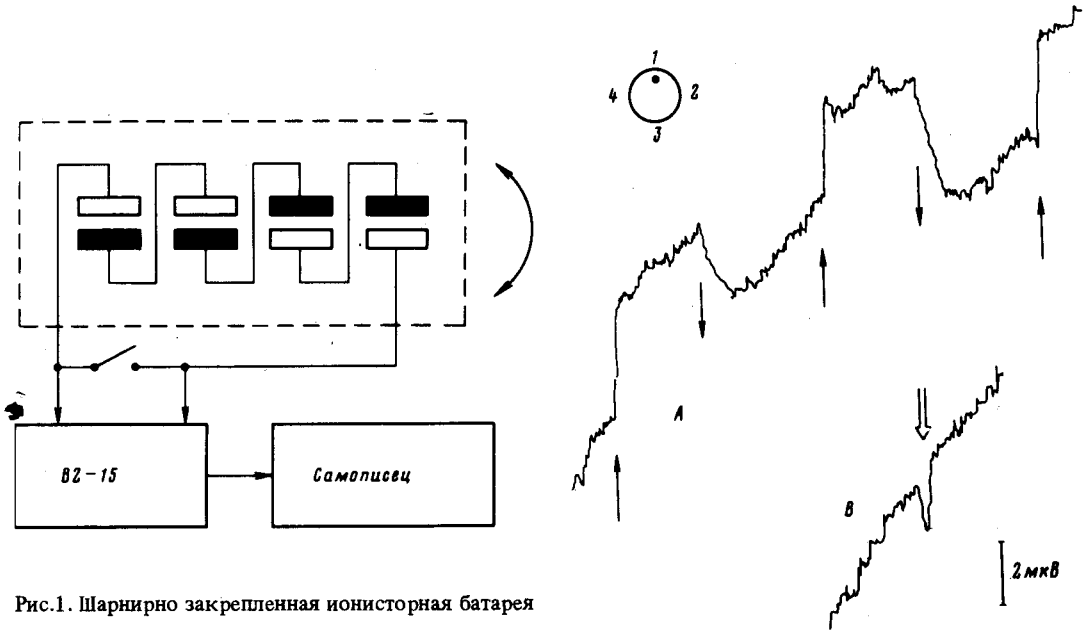


Рис.1. Шарнирно закрепленная ионисторная батарея и измерительная схема

Рис.2. Изменение напряжения на батарее ионисторов при ее переориентации. Кривая А: перевороты 1 – 3 – 1 – 3 – 1, кривая В: переворот 2 – 3 – 4. Моменты, соответствующие переворотам, указаны на кривых стрелками. Вертикальный масштаб кривых показан внизу справа

В результате в экспериментах была зарегистрирована разница между напряжениями ионисторной батареи при ориентациях ионисторов „вверх” и „вниз”  $\Delta V \cong 3 \text{ мкВ}$  (см. рис. 2). Оценка по формуле (1) для использовавшейся батареи ионисторов дает ожидаемую величину эффекта 1,1 – 4 мкВ. Столь большая неопределенность в оценке связана с невозможностью точно оценить высоту столба электролита в ионисторах из-за наличия переходной области у электродов.

Следует отметить, что регистрируемое на эксперименте напряжение в принципе могло быть обусловлено неоднородной деформацией твердого электролита („выжимание” проводящих ионов из области сжатия кристаллической решетки) <sup>1)</sup>. Можно однако, легко показать, что при таком происхождении наблюдаемой ЭДС знак ее должен быть противоположен наблюдаемому. Кроме того, в ионисторах твердый электролит запрессован в пластик в герметичном металлическом корпусе, что минимизирует возможность появления деформаций в эксперименте.

1) Модель, объясняющая возникновение электрических напряжений при неоднородной деформации супер-ионных проводников принадлежит Ю.М.Гербиштейну.

Соответствие знака наблюдавшегося в эксперименте напряжения опусканию катионов под действием силы тяжести, хорошее согласие величины этого напряжения с теоретической оценкой позволяют считать, что в эксперименте наблюдалась ЭДС, индуцированная гравитацией.

Автор благодарен Б.П.Захарчене за внимание к работе и поддержку, И.А.Меркулову за постоянные полезные обсуждения и В.П.Кузнецову за предоставление ионисторов для экспериментов.

#### Литература

1. Физика суперионных проводников. Пер. с англ. Х.У.Бейелер, Дж.Б.Бойс, П.Брюэш и др. Под ред. М.Б.Саламона. Рига, „Зинатне”, 1982.
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Основы теоретической электрохимии М.: „Высшая школа” 1978, стр. 122.
3. Tolman R.C., Stewart T.D. Phys. Rev., 1917, 9, 164.
4. Трейер В.В. Зарубежная радиоэлектроника, 1977, № 6, 124.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
30 ноября 1982 г.  
После переработки  
19 февраля 1983 г.