

# ОБ ОБЪЕМНОМ ЗАРЯДЕ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

А.А. Коновал

г. Кривой Рог, Криворожский государственный педагогический университет

Известно, что проводник с током в системе отсчета, по отношению к которой он движется вдоль своей длины будет характеризоваться не равной нулю плотностью заряда [1, 2].

Предполагается естественным при этом, что в собственной системе отсчета (ССО) проводник с током нейтрален [1, 2, 3, 6, 9]. Существует тем не менее ряд аргументов в пользу того, что проводники с током следует считать заряженным уже в ССО [5, 13].

Пусть в системе  $K'$  вдоль  $OX'$  покоится металлический проводник с током. Относительно  $K$  системы  $K'$  движется в направлении  $OX$  со скоростью  $\vec{V}$ . Поскольку речь идет о классической электродинамике предлагаем, что ток обуславливается движением электронов с одинаковой для всех электронов, дрейфовой скоростью  $v'$ . Явления о которых пойдет речь ниже будем рассматривать "лишь спустя время, необходимое для восстановления внутреннего равновесного состояния" [7, 8] в проводнике с током, т.е. после того, как установилось динамическое равновесие после включения поля  $\vec{E} = \vec{j}/\sigma$ ; только при выполнении этого условия к движущей совокупности заряда применимы преобразования Лоренца.

На поставленный вопрос есть два ответа:

А. В ССО проводник с током нейтрален,  $\rho' = 0$ . Поскольку плотность совокупности зарядов увеличивается при переходе от ССО к системе, по отношению к которой они движутся со скоростью  $v$ , то  $\rho' = 0$  означает, что [2 стр. 193] [6, 9, 10, 11]

$$\rho' = \rho_i^{\circ} - \rho_e^{\circ} = \rho_i^{\circ} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}\right) = 0 \quad (1)$$

где  $\rho_i^{\circ}, \rho_e^{\circ}$  — плотности положительных ионов и электронов проводимости в ССО,  $\rho_e^{\circ}$  — плотность электронов проводимости в

системе  $K'$ ;  $\beta' = \frac{v'}{c}$ ,  $v'$  — скорость электронов относительно  $K$ .

**Б.** В ССО проводник с током обладает объемной плотностью заряда

$$\rho' = \rho'_+ - \frac{\rho'_+}{\sqrt{1-\beta'^2}} = \frac{\rho'_+}{\sqrt{1-\beta'^2}} (\sqrt{1-\beta'^2} - 1) \quad (2)$$

считается при этом, что  $|\rho'_+| = |\rho'_-| = \rho^0$  (проводник без тока не трален).

Приведем ряд соображений в пользу ответа **Б**.

Если считать, что  $\rho'_+ = \rho'_-$  при прохождении тока, то проводник без тока ( $v'=0$ ) должен обладать положительной объемной плотностью заряда  $\rho'_+ - \rho'^0 = \rho'_+ (1 - \sqrt{1-\beta'^2})$ , зависящей от величины протекавшего тока, поскольку (1) должны выполняться при любых точках.

Можно по другому представить себе это противоречие: если проводник без тока движется со скоростью  $v'$  (относительно

например), то  $\rho'_- = \frac{\rho^0_-}{\sqrt{1-\beta'^2}}$ ,  $\rho'_+ = \frac{\rho^0_+}{\sqrt{1-\beta'^2}}$  и если не считать

что  $|\rho^0_+| = |\rho^0_-|$ , такой движущийся проводник будет заряжен объемной плоскостью заряда

$$\rho' = \rho'_+ - \rho'_- = \frac{\rho^0_+}{\sqrt{1-\beta'^2}} (1 - \sqrt{1-\beta'^2}).$$

Однако, нет никаких физических оснований рассматривать неподвижный (как и движущийся с постоянной скоростью) металл заряженным. Если, тем не менее, (1) имеет место, должен существовать механизм, обеспечивающий равенство (1) в любых значениях скорости электронов  $v'$ .

Особенно ярко выражены противоречия подхода **А** к решению задачи в том случае, когда скорость системы  $K'$  численно равна  $v'$  ( $V=v'$ ). Тогда электроны покоятся относительно плотность их заряда  $\rho_- = \rho^0_- = \rho'_- \sqrt{1-\beta'^2}$ .

Результирующая плотность заряда проволоки [2, 6]

$$\rho = \frac{\rho_+^0}{\sqrt{1-\beta^2}} - \rho_-^0 \sqrt{1-\beta'^2} = \frac{\rho_+^0 V^2}{c^2 \sqrt{1-\beta^2}}.$$

Почему поток электронов не приводит к появлению нескомпенсированных зарядов, поток ионов, движущихся с той же скоростью,  $v'=V$  дает такой эффект?

Далее в  $K'$  ток, создаваемый электронами, равен  $j'_x = \rho' - v'$ , а в системе  $K$  ток, обусловленный движением только ионов с той же скоростью  $V=v'$ , равен  $\frac{\rho_+^0 V}{\sqrt{1-\beta^2}} > j'_x$  несмотря на то, что плот-

ность заряда и электронов, и ионов возрастает одинаковым образом в  $CO$ , относительно которой они движутся.

Таким образом, мы приходим к выводу о физической асимметрии свойства положительного и отрицательного электричества [4], что в системе  $K$  магнитное поле  $B_z = B'_z (1-\beta^2)^{-1/2}$ .

Не ясна причина, по которой ток и магнитное поле в  $K$  возросли по сравнению с таковыми в системе  $K'$ , хотя условия в системе  $K$  совершенно симметричны условиям в  $K'$ .

Однако, нет необходимости ставить под сомнение принцип относительности и вопрос об отмеченной асимметрии легко решается ответом Б. Из формул преобразования 4 – тока следует, что в системе  $K$

$$j_x = j'_x, \rho = \rho', B_z = B'_z \text{ при } v=v'$$

О других аргументах, подтверждающих вариант Б, подробно в [13].

#### Литература:

1. Р. Беккер. Электронная теория. – М.: ОНТИ, 1936.
2. В.А. Угаров. Специальная теория относительности. – М, 1977.
3. Э. Парсел. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1977.
4. Г.В. Николаев. Парадокс Фейнмана и асимметрия лабораторной и движущейся систем отсчета. Статья депонирована в ВИНТИ, рег, № 1937 – 75.
5. М.Л. Мартинсон, А.В. Недоспасов, УФН. Т. 163. № 1,91, 1993.

6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике, т. 5. – М.: Мир, 1966.
7. С.И. Сыроватский, УФН, 118 в 3, 545, 1976.
8. Е.Л. Фейнберг, УФН, 116, в 4, 709, 1975.
9. В.А. Фабрикант. Сборник научно–методических статей по физике в 4 т. – М.: Высшая школа, 1972.
10. В. Пановский, М. Филлипс. Классическая электродинамика. – М.: Физматгиз, 1963.
11. А.Н. Матвеев. Электродинамика и теория относительности. – М.: Высшая школа, 1964.
12. И.Е. Тамм. Основы теории электричества. – М.: Наука, 1966.
13. А.А. Коновал. Заряжен ли проводник, по которому протекает ток? Статья деп. в ВИНТИ, рег. № 4318 – 80.