



VII КОНГРЕСС ФИЗИКОВ БЕЛАРУСИ

СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ



26-28 апреля 2023 г.
Минск

Национальная академия наук Беларуси
Министерство образования Республики Беларусь
ОО «Белорусское физическое общество»
Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И.
Степанова Национальной академии наук Беларуси»
Белорусский государственный университет
Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований
Научно-техническая ассоциация "Оптика и лазеры"

VII КОНГРЕСС ФИЗИКОВ БЕЛАРУСИ

Минск, Беларусь,
26-28 апреля 2023 г.

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Минск
«Ковчег»
2023

Редакционная коллегия

Могилевцев Д.С. (главный редактор), Андреев В.В., Анищик В. М.,
Апанасевич П.А., Белый В.Н., Богданович М.В., Власенко С.В.,
Гапоненко С.В., Джагаров Б.М., Казак Н.С., Килин С.Я., Курочкин Ю. А.,
Максименко С.А., Никончук И.С., Новицкий Д.В, Орлович В.А.,
Пенязьков О.Г., Поклонский Н.А., Симончик Л. В., Тарасенко Н. В.,
Тиванов М.С., Толстик А.Л., Усачёнок М.С. (ответственный
секретарь), Федосюк В.М.

VII Конгресс физиков Беларуси (26-28 апреля 2023): Сборник научных трудов. / редкол.: Д.С. Могилевцев (гл.ред.) [и др.]. – Минск : Ковчег, 2023. – 348 стр.

Данный сборник содержит материалы докладов VII Конгресса физиков Беларуси.

УДК 537.213; 530.12

Н. А. Поклонский

Релятивистский электрический потенциал в полевом транзисторе

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск,
Беларусь
poklonski@bsu.by*

В докладе предложена схема измерения релятивистского электрического потенциала вблизи проводников со стационарным током. Преобразования Лоренца являются неотъемлемой частью специальной теории относительности, основанной на двух постулатах (см., например, [1]): 1) законы физики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета, 2) скорость света в вакууме $c = 299792458$ м/с одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от скорости движения источника света.

В работе [2] отмечено, что в однородном проводнике из нормального (несверхпроводящего) металла со стационарным дрейфовым током возникает объемный электрический заряд из-за ухода части электронов проводимости (движущихся в металле с дрейфовой скоростью v_d) в глубь металла под действием магнитного поля, созданного этим же током. В приповерхностной области металла остается положительный заряд нескомпенсированных электронами ионных остовов. Такое перераспределение электронов по поперечному сечению проводника электричества — суть пинч-эффекта [3]. Но как измерить пропорциональную $(v_d/c)^2$ плотность объемного заряда в металле?

По расчетам [4, 5] прямолинейный одномерный проводник электричества с возбужденным в нем стационарным током порождает, наряду со стационарным магнитным полем, стационарное электрическое поле вблизи проводника. Электрический потенциал Лиенара–Вихерта (см., например, [6]), создаваемый элементом тока, интегрируется по квазиодномерному проводнику (тонкой проволоке) конечной длины. В каждой точке проволоки задается баллистическая скорость v_b бесстолкновительного движения электронов между электродами (от катода к аноду) и их концентрация n . Проволока предполагается локально и в целом электрически нейтральной. Это соответствует отсутствию инжекции в проволоку из контактов (электродов) избыточных электронов и/или дырок под действием разности электрических потенциалов между анодом и катодом от внешнего источника тока. Величина релятивистского электрического потенциала $\varphi_{rel} \propto (v_b/c)^2$. Пусть в прямой квазиодномерной проволоке из кристаллического полупроводника в виде сплошного цилиндра длиной L и площадью поперечного сечения S возбужден стационарный ток силой I . Согласно [4, 5], создаваемый проволокой ($L = 15$ мкм, $S = 30$ мкм², $n = 1 \cdot 10^{15}$ см⁻³) с омическими контактами (электродами) и током $I = 0.3$ мА, на расстоянии $d = 5$ мкм от центра проволоки в перпендикулярном току направлении, релятивистский электрический потенциал $\varphi_{rel} \approx -1.1$ мВ.

Из полученной в [4, 5] формулы для φ_{rel} следует, что релятивистский потенциал не зависит от направления вектора плотности тока, и при прочих равных условиях величина $|\varphi_{rel}|$ тем больше, чем меньшей концентрацией подвижных (делокализованных) электронов обеспечивается поддержание в проволоке заданной силы тока. Дрейфовая скорость электронов в электродах (неограниченных резервуарах электронов) много меньше, чем баллистическая скорость электронов в проволоке. Поэтому при переходе

электронов из катода в проволоку происходит их ускорение, а при переходе из проволоки в анод — торможение (проявление эффекта Бернулли для несжимаемой «электронной жидкости» в изотермических условиях [7]). Согласно [8], области с ускорением и торможением электронов дают в центре проволоки одинаковые по величине и противоположные по знаку вклады в потенциал φ_{rel} , так что регистрацию потенциала φ_{rel} необходимо проводить порознь для двух направлений стационарного тока.

Итак, релятивистские эффекты, основанные на преобразованиях Лоренца, могут быть зарегистрированы не только оптическими методами [9, 10], но и электрическими измерениями релятивистского потенциала φ_{rel} на затворе полевого транзистора с изначально открытым квазиодномерным каналом баллистической стационарной электропроводности между истоком и стоком. (Схемы включения полевых транзисторов в электрическую цепь см., например, в [11].)

Работа поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (грант № Ф23РНФ-049).

- [1] Бессонов, Е.Г. Об одном пути к преобразованиям Лоренца / Е.Г. Бессонов // УФН. – 2016. – Т. 186, № 5. – С. 537–541.
- [2] Мартинсон, М.Л. О плотности заряда внутри проводника с током / М.Л. Мартинсон, А.В. Недоспасов // УФН. – 1993. – Т. 163, № 1. – С. 91–92.
- [3] Kushwaha, M.S. The quantum pinch effect in semiconducting quantum wires: A bird's-eye view / M.S. Kushwaha // Mod. Phys. Lett. B. – 2016. – Vol. 30, № 4. – P. 1630002.
- [4] Митянок, В.В. Релятивистское электростатическое поле проводника с постоянным током / В.В. Митянок, Н.А. Поклонский // ЖТФ. – 1993. – Т. 63, № 1. – С. 189–191.
- [5] Relativistic electric potential near a resting straight carbon nanotube of a finite-length with stationary current / N.A. Poklonski [et al.] // Journal of the Belarusian State University. Physics. – 2021. – № 1. – P. 20–25.
- [6] Griffiths, D.J. Introduction to electrodynamics / D.J. Griffiths. – Cambridge: Cambridge University Press, 2017. – xviii+600 p.
- [7] Лифшиц, Т.М. Экспериментальное наблюдение конфигурационных ЭДС / Т.М. Лифшиц, О.Ю. Полянский, В.В. Романцев // Письма в ЖЭТФ. – 1973. – Т. 18, № 7. – С. 421–424.
- [8] Поклонский, Н.А. Релятивистский электрический потенциал одномерных проводников со стационарным током / Н.А. Поклонский // Спиновые и магнитные явления в конденсированных средах: тез. докл. молодежной конф. по физике полупроводников «Зимняя школа 2023», С.-Петербург (г. Зеленогорск), 2–6 марта 2023 г. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 31–34.
- [9] Hils, D. Improved Kennedy-Thorndike experiment to test special relativity / D. Hils, J.L. Hall. – Phys. Rev. Lett. – 1990. – Vol. 64, № 15. – P. 1697–1700.
- [10] Эксперименты по прямой демонстрации независимости скорости света от скорости движения источника (демонстрация справедливости второго постулата специальной теории относительности Эйнштейна) / Е.Б. Александров [и др.] // УФН. – 2011. – Т. 181, № 12. – С. 1345–1351.
- [11] Ng, K.K. Complete guide to semiconductor devices / K.K. Ng. – New York: Wiley-IEEE Press, 2002. – xxiv+740 p.