

6. *Ibrayev N.Kh., Latonin V.A.* Decay kinetics of the delayed annihilation fluorescence of aromatic molecules in Langmuir-Blodgett films // *Phys. Solid State.* — 1999. — Vol. 41. — № 4. — P. 664–667.
7. *Kopelman R.* Carrying over of energy in the mixed molecular crystals. Spectroscopy and dynamics excitations in the condensed molecular systems. — М.: Nauka, 1987. — P. 61–91.
8. *Aimuhanov A.K., Ibrayev N.Kh., Kubenova M.M.* Migration triplet of triplet electronic excitation in of the anodized aluminum. St.P.: Sbornik trudov: VII International conference «Optika-2011». — St.Petersburg State University, ITMO, 2011. — P. 369–371.
9. *Ibrayev N.Kh.* Influence of temperature on migration triplet exciton in films Langmuir-Blodgett // *Optic and spectroscopy.* — 2002. — T. 93. — № 2. — P. 258–260.
10. *Ibrayev N.Kh., Makhanov K.M.* Temperature and magnetic field influence on annihilation delayed fluorescence of aromatic molecules in Langmuir-Blodgett films // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* — 2002. — Vol. 384. — P. 25–31.
11. *Atkins P.W., Evans G.T.* Magnetic field effects on chemiluminescent fluid solutions. — *Molecular Physics.* — 1975. — Vol. 29. — № 3. — P. 921–935.
12. *Merrifield R.E.* Theory of magnetic field effects on the mutual annihilation of triplet excitons // *J.Chem. Phys.* 1968. — Vol. 48. — № 9. — P. 4318–4319.

УДК 539.1

## **Эффект многократного бесконтактного поворота заряженных частиц в полом круглом стеклянном кольце**

### **Effect of multiple non-contacting turn of charged particles in the hollow round glass ring**

Кумахов М.А.

*Институт рентгеновской оптики, Москва, Россия (E-mail: iroptic@list.ru)*

Макалада дөңгелек сакина тәрізді тұйық қуыс жүйеде зарядталған бөлшектерді көп рет бұрудың негізгі ерекшеліктері қарастырылған. Ток көзінің инжекция тоғы 1 миллиампер болғанда сақинадағы токтың шамасы 1,5 кА жетті. Сақинадағы вакуум деңгейі  $10^{-11}$  мм сн. бағ. Эксперимент нәтижелері жана физикалық құбылыс — дөңгелек электрендірілген шыны сақинада бөлшектің контактісіз көп ретті бұрылу құбылысының мүмкін екендігін көрсетті. Қысқаша бұл эффектінің қолданылуы келтірілген.

The basic specificities of multiple turn of charged particles in the closed hollow electrified systems type of a round ring (toroid) are considered. For a current injection from an external source 1 mA in the ring managed to obtain a current of 1.5 kA. Vacuum was supported at level of  $10^{-11}$  mm of mercury column. The main features of the motion of particles in the ring are discussed. Some applications of this effect are considered.

*Введение*

Поворот пучка заряженных частиц в современной технике осуществляется в магнитных полях. В однородном магнитном поле частицы движутся по окружности, при этом радиус окружности определяется законом Лармора. На этом принципе основана работа циклических ускорителей, синхротронов, коллайдеров и т.д. [1–4].

Современная физика высоких энергий и ускорительная техника эффективно используют возможность движения частиц в магнитных полях. Однако эта техника имеет серьезные ограничения.

Радиус частицы, энергия частицы и величина магнитного поля жестко связаны. При увеличении энергии частиц необходимо увеличивать радиус и величину магнитного поля. При больших энергиях  $\sim 10^{12}$  эВ необходимо использовать поле примерно несколько Тесла и радиус больше одного километра.

Такие большие коллайдеры и ускорители крайне дороги. Кроме того, токи в магнитных полях невелики, обычно меньше 1 ампера.

В [2] была обоснована принципиально новая возможность управления траекториями заряженных частиц — их многократный бесконтактный поворот в диэлектрических каналах с наэлектризо-

ванными стенками. При этом электризация стенок производится самими частицами, которые инжектируются в полый канал, имеющий форму круга.

#### *Прохождение заряженных частиц в полом кольцевом круге*

При прохождении заряженной частицы, например электрона, по кругу, на электрон действуют две силы:

1. Центробежная сила,  $F_{ц}$ :

$$F_{ц} = \frac{2E}{R}, \quad (1)$$

где  $E$  — энергия частицы;  $R$  — радиус круга. Эта сила «стремится» выбросить частицу из круга.

2. Электростатическая сила  $F_e$  возникает при взаимодействии электрона с наэлектризованной внутренней стенкой кольца. Эта сила удерживает частицу в круге.

Эту силу можно оценить в первом приближении по формуле:

$$F_e \approx \frac{2U_{\bar{\sigma}}X}{l^2}, \quad (2)$$

где  $U_{\bar{\sigma}}$  — величина потенциального барьера;  $l$  — полуширина канала в круге (внутренний радиус кольца); координата  $X$  отсчитывается от центра круга.

Величина потенциального барьера связана с электрической прочностью материала круга,  $U_{np}$ , соотношением:

$$U_{\bar{\sigma}} = Q \times U_{np} \times d, \quad (3)$$

где  $Q$  — заряд частицы;  $d$  — толщина стенки круга.

Например, для стекла марки С-48-3 и ситалла СТ-50-2  $U_{np} = 2 \times 10^5$  В/мм и  $2,5 \times 10^5$  В/мм, соответственно, при комнатной температуре [2].

Частица будет двигаться в круге при условии  $F_e > F_{ц}$ , т.е.

$$\frac{U_{\bar{\sigma}} * X}{l^2} > \frac{E}{R}, \quad (4)$$

максимальное значение  $X$  равно 1, т.е.

$$\text{при } \frac{U_{\bar{\sigma}}}{l} > \frac{E}{R} \quad (5)$$

или

$$\text{при } R > \frac{1E}{U_{\bar{\sigma}}}. \quad (6)$$

В наших экспериментах (см. ниже) при  $E \approx (15 \div 20)$  кэВ,  $R \approx 15$  см;  $d$  (толщина стенок круга)  $\approx 3$  мм и  $1 \div 2$  мм, условие (6) легко выполнялось, т.е. электроны стабильно поворачивались в полом стеклянном круге.

#### *Эксперименты*

Первые эксперименты по повороту пучков были начаты летом 2009 г. Затем они были продолжены в 2010 г. Летом 2010 г. удалось повернуть пучок на 360 градусов. В этом эксперименте использовался круг с радиусом  $\approx 20$  мм, внутренним диаметром круга  $\approx 6$  мм и толщиной стенки  $\approx 1$  мм. Энергия электронов была около 30 кэВ.

В дальнейшем удалось повернуть пучок на 675 градусов. В обоих случаях трансмиссия пучка была близка к 100 %. В этих экспериментах имело место однократное прохождение пучка по незамкнутой траектории.

Затем был реализован принципиально новый эксперимент прохождения частиц по замкнутой траектории, когда частицы многократно, многие десятки и сотни миллионов раз проходят по одному и тому же кругу, т.е. по замкнутой траектории.

Первый удачный эксперимент был выполнен в конце апреля 2011 г. В ходе которого удалось получить в круге ток  $\sim 100$  ампер при токе инжекции 300 микроампер.

В дальнейшем, в мае 2011 г., удалось получить ток около 850 ампер. Однако в этих экспериментах токи получались кратковременные, так как быстро нарушался вакуум. В последующем удалось получить стабильный пучок на уровне 500 ампер, который вращался в круге около 5 мин. Во всех

этих экспериментах метод инъекции пучка был недостаточно хорошим. Поэтому стабильность тока и повторяемость были недостаточны.

Эти проблемы удалось решить в ноябре 2011 г. При токе инъекции 1 мА в круге удалось получить стабильный ток в 1, 5 кА. Таким образом, в круге удалось получить ток, который в полтора миллиона раз превосходил ток инъекции от внешнего источника. Радиус круга был 140 мм, внутренний диаметр круга 6 мм, толщина стенки 3 мм. Энергия электронов была равна 10 кэВ.

Полученный результат не является оптимальным. Расчет показывает, что при 100 % захвата частиц в круг, ток должен быть на уровне 100 кА. Поэтому в настоящее время предпринимаются меры для резкого увеличения коэффициента захвата инжектируемых в круг частиц.

### Применения

Рассмотренный эффект найдет многочисленные применения [2]. Кратко рассмотрим некоторые из них.

#### 1. Техника коллайдеров.

Наиболее важным параметром коллайдеров является светимость пучка, пропорциональная квадрату плотности сталкивающихся частиц. Наибольшей яркостью обладает *Большой адронный коллайдер (LHC) (CERN)*.

В перспективе его светимость будет равна  $10^{34}$  частиц/(см<sup>2</sup>с) (сейчас на 2–3 порядка ниже).

Рассмотренная новая техника и полученные результаты говорят о возможности увеличения светимости по сравнению с коллайдером в CERN на 14–16 порядков. К тому же этот коллайдер будет намного меньше и дешевле.

#### 2. Новые ускорители.

На базе рассмотренного эффекта может быть создано новое поколение мощных дешевых компактных ускорителей, которые найдут широкое применение в технике и медицине.

#### 3. Новый источник электромагнитного излучения.

Круг с вращающимся в нем электронным пучком является новым источником направленного излучения в широком спектральном диапазоне от радиочастот до рентгеновского и гамма-излучения. По интенсивности он намного превзойдет существующие источники синхротронного излучения [2]. К тому же он на порядок будет дешевле.

#### 4. Другие применения.

Имеется еще множество других применений [2].

В том числе использование магнитной индукции, возникающей вокруг кольца, когда ток в нем нарастает и убывает.

Другим интересным применением является организация встречных пучков дейтерия и трития с выходом интенсивных термоядерных нейтронов. Оценки [2] показывают, что такой источник представляет большой практический интерес для энергетики.

### References

1. Fetisov G.V. Synchrotron radiation. — М.: Fizmatlit, 2007.
2. Kumahov M.A. Patent claim. № 2011122945 from 08.06.2011.
3. Manual on electrotechnic materials. — М.: Energoatomizdat, 1987. — Vol. 2. — 207 p.
4. Kumahov M.A., Tegaev R.I. Experiments of multipleturn of electron beams in the hollow round ring. // Vestnik KarSU. Ser. Physics. — 2012. — № 1 (65). — P. 34, 35.