

ческим совершенством и интенсивной голубой люминесценцией при комнатной температуре. На основании исследования кинетики люминесценции определено, что излучение на длине волны 465 нм обусловлено рекомбинацией с двух возбужденных состояний, имеющих времена жизни 0.35 и 5.75 нс.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Y a m a g u c h i M., Y a m a m o t o A., K o n d o M. // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. N 1. P. 196-202.
- [2] J a i n F.C. // J. Cryst. Growth. 1988. V. 86. N. 1-4. P. 929-934.
- [3] N i i n a T., M i n a t o T., Y o n e d a K. // Japan. J. Appl. Phys. 1982. V. 21. N 6. P. L387-L389.
- [4] F u j i t a S., T e r a d a K., S a k a m o t o T. and F u j i t a S. // J. Cryst. Growth. 1989. V. 94. N 1. P. 102-108.
- [5] М а к с и м о в с к и й С.Н., С и д о р о в П.П., Ш о т о в А.П. // Краткие сообщения по физике ФИАН. 1989. № 3. С. 38-40.
- [6] K o h E r a, L a n g e r D.W. // J. Luminescence. 1970. V. 1-2. P. 514-527.

Физический институт  
им. П.Н. Лебедева  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
3 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 19

12 октября 1989 г.

04; 12

#### КРИВОЛИНЕЙНОЕ И ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ РЕЛЬСОТРОННОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Г.А. А с к а р ь я н, И.В. Г о с у д а р е в,  
Л.Д. К л е б а н о в

Исследование рельсотронного ускорения [1-5] занимает в последнее время большое место в плазменной физике больших токов и магнитных полей. Для ряда прикладных задач представляет интерес движение плазменного тока по криволинейной траектории с большими центробежными ускорениями. К таким задачам относятся, например, многократное или многовитковое (кольцевое или спиральное) ускорение плазмы и малых тел, создание плазменных поверхностей большой площади, моделирование рождения или формиро-

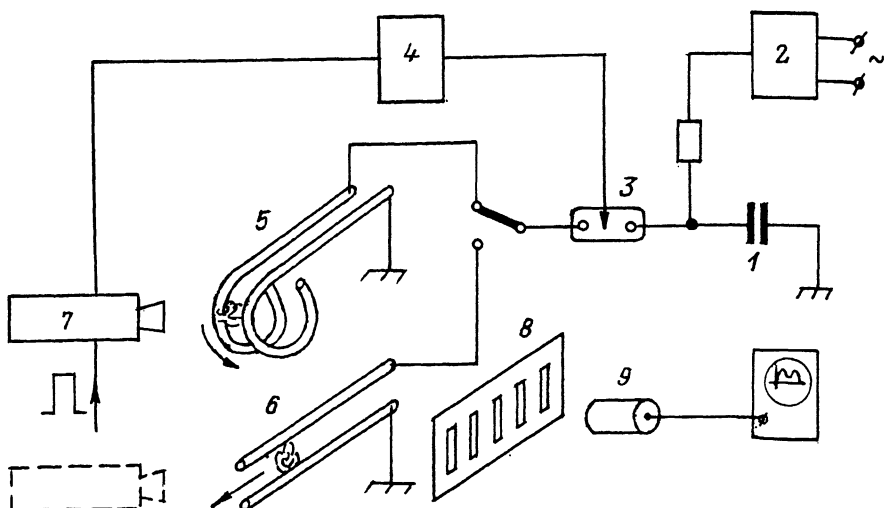


Рис. 1. Схема установки: 1 - батарея конденсаторов, 2 - зарядное устройство, 3 - разрядник, 4 - схема задержки, 5 - рельсы изогнутые, 6 - рельсы прямые, 7 - высокоскоростная фотографическая установка ВФУ, 8 - пластинка с щелями, 9 - фоторегистратор, ФК.

вания вихревых образований (например, влияние молний на образование вихрей) и т.п. При этом, вообще говоря, резкое изменение направления полета плазмы могло бы, казалось, привести к срыву разряда. Поэтому мы исследовали вращательное движение плазмы при очень больших центробежных ускорениях вплоть до  $\dot{V}_1 \approx \frac{V^2}{a} \approx 10^{10} \text{ см/с}^2$

Схема установки дана на рис. 1. Батарея конденсаторов (1) емкостью 1 мФ, заряжаемая зарядным устройством (2), разряжалась через разрядник (3), запускаемый через схему задержки (4) от скоростного фоторегистратора ВФУ (7) на рельсы (5), концы которых были согнуты в незамкнутое кольцо. Для сравнения исследовался также прямой рельсотрон (6) с такими же ускоряющими полями, в котором движение плазмы регистрировалось ВФУ или через систему щелей (8), фоторегистратором (9) ФК. Ток в цепи регистрировался поясом Роговского. Он носил характер затухающих колебаний с периодом 1 мс. Амплитуда тока доходила до  $1.4 \cdot 10^4 \text{ А}$ , создавая магнитное поле 22 400 Э в зазоре между рельсами 0.3 см для рельсов диаметром 0.2 см, изготовленных из меди. Диаметр кольца рельсов составлял 4 см. Прямые рельсы были изготовлены из такого же прута, что и криволинейные и расстояния между ними были такими же. Рельсы были утяжелены диэлектрическими накладками. Локализация начального инициирования тока на рельсах производилась тонкой провололочкой, помещаемой в нужном месте перед кольцом.

На кольцевом рельсотроне наблюдалось криволинейное движение разрядного тока со скоростями  $10^5 \text{ см/с}$ . Несмотря на сильные

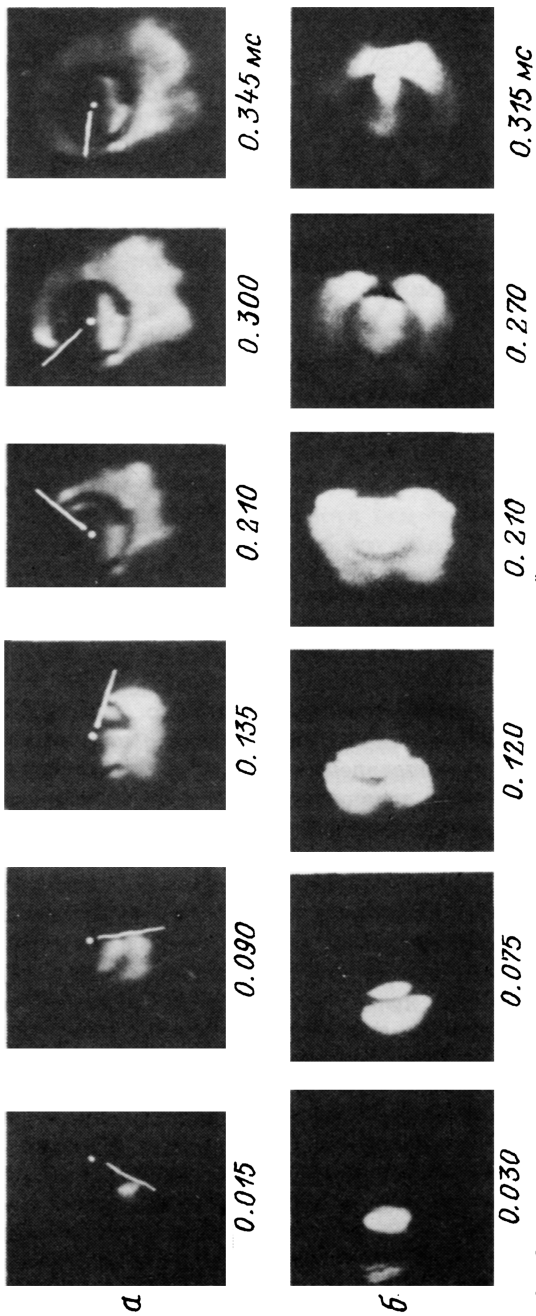


Рис. 2. Скоростные снимки вращения тока. а - ток, вращающийся по незамкнутому кольцу рельсов, б - движущийся навстречу друг другу разряды, цифры дают моменты времени кадров в мс.

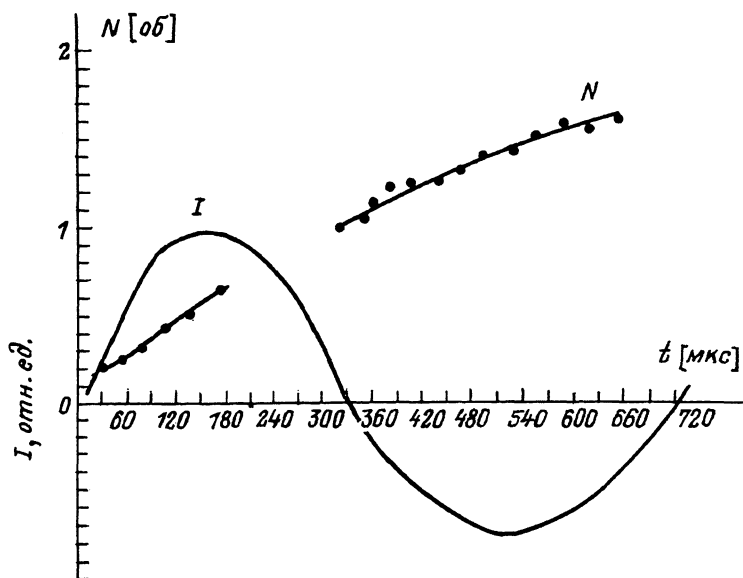


Рис. 3. Двухоборотное вращение тока по незамкнутому кольцу с приведением оциллограммы тока разряда.

выбросы плазмы вне кольца рельсов (см. рис. 2) ВФУ-граммы, на которых линии отмечают начальное и текущее положения фронта разряда, а стрелка — направление входа тока в кольцо. Средняя скорость фронта пробоя доходила до  $10^5$  см/с. Было заметно, что фронт движется рывками и скорость фронта меняется немонотонно от кадра к кадру. На рельсах оставался многоточечный след от катодных пятен, на которых возникал и перебрасывался газоразрядный ток. Аналогичное движение газоразрядного тока с такими же скоростями было зарегистрировано на прямых рельсах. Во многих случаях после завершения оборота разряд перескакивал через разрыв и снова шел по кольцу, совершая многократное вращение. На рис. 3 дана динамика двухоборотного вращения на фоне оциллограммы тока. Первый и второй обороты сняты на двух отдельных развертках с различными запаздываниями. Линейная скорость вращения  $V = a\dot{\varphi} = 2\pi a N$  испытывает мгновенные колебания, но в среднем разряд упорно совершает обороты.

Эти эксперименты показывают принципиальную возможность создания кольцевого рельсотрона для циклического ускорения малого тела до больших скоростей с последующим выводом или прямым использованием в кольцевом ускорителе, причем слежение и переброска разряда за телом будет более четким из-за понижения порога пробоя у торца тела (из-за наличия поверхности, понижения давления и сгребания плазмы). При этом центробежное удержание

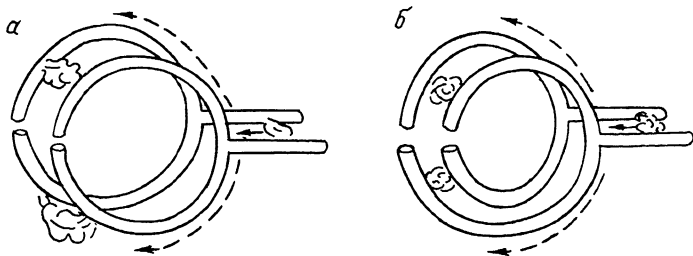


Рис. 4. Схема полуокружностей рельсов для встречного столкновения токов: а - для токов одинакового направления, б - для токов разного направления.

может быть осуществлено многими методами, например, магнитным отжатием или сопротивлением наружного диэлектрического кольцевого выреза. При этом трение быстрого тела о поверхность может быть значительно ослаблено подбором поверхности или сфероидальными процессами абляции поверхности при сверхскоростном касании, когда на поверхности при трении образуется слой газа или жидкости, резко уменьшающий трение на больших скоростях.

Изогнутые рельсотронные ускорители могут быть использованы для создания плазменных поверхностей сложной формы (спираль, конус, параболоид и т.д.) для отражения радиоволн, для транспортировки газоразрядной плазмы и т.п.

Была исследована возможность столкновения газоразрядных токов, сводимых изогнутыми рельсотронами (рис. 4). При внешнем иницировании на общем подводе токи разделялись и шли синхронно по двум полуокружностям навстречу друг другу. При этом можно было менять направления сталкивающихся токов, переставляя концы рельсовых полуокружностей. Были наблюдаемы отталкивание противоположно направленных и слияния одинаково направленных токов с характерно различающимися картинами распределения плазмы (рис. 2,б).

Полученные результаты расширяют возможности использования рельсотронного ускорения плазмы и малых тел, а также позволяют по новому осуществить транспортировку и формирование плазмы с целью заполнения ловушек отражения радиоволн.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М о р о з о в А.И. // ЖЭТФ. 1957. Т. 32. № 2. С. 306.
- [2] S a w l e D.R. // AIAA J. 1970. V. 8. N 7. P. 1240.
- [3] I n g e b e r g s E.B., J e x D.W., S h r i v e r E.L. // AIAA J. 1975. V. 13. N 8. P. 1024.

- [4] Hawke R.S., Brooks A.L., Fowler C.M., Peterson D.R. // AIAA J. 1982. V. 20. N 7. P. 978.
- [5] „Сверхсильные магнитные поля. Физика. Техника. Применение“. Труды третьей международной конференции по генерации мегатесла-гаусных магнитных полей и родственным экспериментам. Новосибирск, июнь, 1983. М.: Наука, 1984; Hawke R.S., Brooks A.L., Fowler C.M., Peterson D.R. Results of Railgun Experiments. P. 171; Швецов Г.А., Титов В.М., Башкатов Ю.Л., Стадниченко И.А., Орлов А.В. Исследование работы рельсотронного ускорителя твердых тел с питанием от МГД-генератора. С. 177.

Институт общей физики  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
13 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 19 12 октября 1989 г.

01; 05.1

#### ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДА В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

С.Л. Глузман, С.Г. Псахье

В рамках гидродинамической модели хорошо описывается поведение твердого тела при высокоскоростном ударе, сварке взрывом, прохождении через материал ударной волны [1]. Имеется, однако, ряд проблем, связанных с учетом прочностных свойств материала, а также с возможностью возникновения локализованных областей гидродинамического течения, в окружении кристалла, сохраняющего механическую устойчивость [1, 2]. Появление в материале определенной концентрации атомов, способных перемещаться на расстояние  $l_0 \gg a$  ( $a$  — межатомное расстояние), формируя тем самым гидродинамическую моду, характерно и для других случаев внешнего воздействия, например, для сложной схемы нагружения („давление + сдвиг“) [3]. В настоящей работе для описания поведения твердого тела при сильных внешних воздействиях вводится гидродинамическая переменная — плотность атомов (сорт 2), способных перемещаться в материале на расстояние  $l_0 \gg a$ , а также соответствующее такому движению поле скорости  $\vec{v}$ . Для описания же атомов, совершающих малые колебания вблизи положений равновесия (сорт 1), используются смещения из положений равновесия  $\vec{u}$ . Плотность функции Лагранжа системы записывается в виде  $L = T - U$ , где