

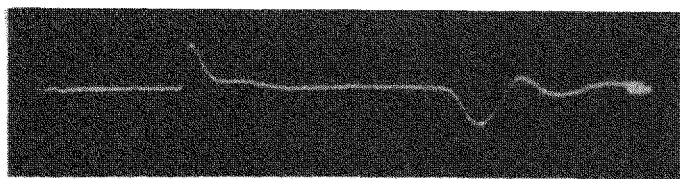
СВЕТОВАЯ ИСКРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович, М.М.Савченко,
А.Д.Смирнова

Недавно было экспериментально [1-3] и теоретически [4-7] исследовано явление "световой искры" - бурной ионизации газов под действием вспышки интенсивного света. В данной статье описываются первые результаты исследования искры при наличии внешнего магнитного поля, которое может быть использовано как для изучения развития плазменного сгустка искры по диамагнитным индук-

ционными сигналами [7], так и для изучения взаимодействия плазмы искры с магнитными полями с целью удержания от растекания, ускорения в неоднородных полях, выброса для заполнения магнитных ловушек [8] и т.д.

Для экспериментов использовался обычный оптический квантовый генератор с модулированной добротностью, устройство которого аналогично описанному в [9]. Внешнее продольное постоянное магнитное поле в описываемой серии экспериментов достигало 10 кэ. Приемная индукционная катушка окружала область фокуса линзы с фокусным расстоянием $f \approx 4$ см. Использовались различные катушки с числом витков $N \sim 2 + 20$ витков и диаметром $2R = 1 + 3$ см.



Типичный диамагнитный сигнал изображен на рисунке (длительность всей развертки 5 мксек). Первый импульс¹⁾ соответствует появлению диамагнитного момента плазменного сгустка (знак импульса соответствует уменьшению потока в катушке), второй — исчезанию токов в нем. Сразу бросается в глаза существование длительного интервала, порядка нескольких мксек, между гораздо более короткими импульсами появления и исчезания возмущения. Эта фаза, по-видимому, соответствует существованию диамагнитных или индукционных токов в

плазме, созданной выделением энергии и ударной волной. Интересно отметить, что свечение плазмы искры продолжается во время существования этого магнитного момента и, возможно, играет роль в создании проводимости среды или характеризует ее существование.

Индукционный сигнал, связанный с изменением магнитного момента

$$E(t) \approx \frac{4\pi N}{c} \dot{M}_1,$$

где M_1 - магнитный момент, приходящийся на единицу длины диаметра катушки - в случае, когда продольный размер магнитного момента меньше диаметра катушки, или на единицу длины области магнитного момента - для квазицилиндрического магнитного момента. По величине индукционные сигналы достигают десятков и сотен милливольт и легко наблюдаемы.

При использованных полях $H < 10$ кэ диамагнитный сигнал и интеграл от него (определяющий момент M) были пропорциональны магнитному полю ($E_{\max}/H \approx 10^{-5}$ в/э для $N \approx 10$ и $2R \approx 1$ см). Длительность интервала между фронтами двух импульсов почти не зависит от магнитного поля, но заметно уменьшается при увеличении первого импульса (т.е. энергии искры) и уменьшается при уменьшении радиуса приемной катушки.

Магнитный момент

$$M_1(t) \approx \frac{c}{4\pi N} \int_0^t E(t) dt = d(t) H_0$$

достигает своей величины

$$M_{эф} \approx \frac{c}{4\pi N} E_{эф} \tau_1 \approx 10^{-6} \text{ см}^3 \text{ Н}_0$$

уже за время первого импульса $\tau_1 \approx 0,3 \text{ мксек.}$

Механизм образования долгоживущего магнитного момента пока не выяснен. Если предположить, что индукционные токи связаны с движением проводящего вещества в квазицилиндрической ударной волне или при расширении, т.е.

$$M \sim \frac{1}{c} j \sim \frac{1}{c} \sigma v r^3 \text{ Н}_0$$

то приходится допустить высокие значения проводимости σ и скорости движения вещества v (так как $M_1 \sim 10^{-6} \text{ Н}_0$, то $\sigma v r^3 \sim c^2 10^{-6} \sim 10^{15} \text{ CGSE}$ и даже при объеме области $\alpha^3 \lesssim 3 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3$ это приводит к $\sigma v \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ см/сек}^2$). При этом приходится допустить, что полный магнитный момент плазмы слабо меняется в некотором большом диапазоне изменения размеров ($\sigma v r^3 \approx \text{const}$). Если предположить, что создается плазменное равновесное образование с временем жизни порядка нескольких мксек с циркулирующими диамагнитными или индукционными токами, то для объяснения такого большого времени затухания индукционных токов придется предположить слишком высокую долгоживущую проводимость среды. Диамагнетизм более продолжителен, причем его не ослабляет тройная рекомбинация, оставляющая энергию в электронной плазме.

Отметим, что сигналы последующего "звона" от акустических колебаний каркаса катушки под действием волны сжатия от ослабевшей ударной волны искры исчезали при введении мягкой амортизирующей прокладки, но при этом диамагнитный импульс не менялся. Диамагнитные импульсы исчезали при введении трубки из проводника, которая удерживала неизменным магнитный поток через нее, в то время как "звон" от удара волны от искры в трубку регистрировался внешней катушкой. Введение поверхностей на небольшом расстоянии от искры приближает второй импульс к первому, что можно, по-видимому, объяснить тормозящим или охлаждающим действием поверхности на плазму.

Данные о величине и длительности существования магнитного момента плазмы искры позволяют произвести оценку воздействия неоднородных магнитных полей на плазму искры: полная сила

$$F_z \approx M(t) \frac{\partial H}{\partial z} \approx \alpha(t) \frac{\partial H^2}{\partial z}$$

определяет скорость "сгребания" или выброса плазмы - для получения быстрых струй чистой плотной плазмы, заполнения ловушек, быстрого собирания вещества, ионизованного светом в один ком для большей концентрации выделившейся энергии и т.д.

Обнаруженное длительное существование диамагнитной плазмы позволит попытаться вложить дополнительную энергию в плазму искры с помощью быстропеременных

внешних полей или более длительно излучающих оптических генераторов с большим световым энерговыделением.

Отметим попутно, что системы индукционных катушек во внешнем магнитном поле, укрепленные на диэлектрических телах или окружающие их металлические тела, могут быть эффективно использованы для исследования объемных колебаний, возникающих в телах под действием локального нагрева от вспышек интенсивного света.

В заключение выражаем благодарность проф.

А.М.Прохорову и П.П.Пашинину за помощь в создании генератора.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
3 февраля 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] R.G. Meyerand, A.F. Naught. Phys. Rev. Lett., 11, 401, 1963.
- [2] R.W. Minck. J. Appl. Phys., 35, 252, 1964.
- [3] С.Л.Мандельштам, П.П.Пашинин, А.В.Прохиндеев, А.М.Прохоров, Н.К.Суходрев. ЖЭТФ, 47, 2003, 1964.
- [4] L.K. Wright. Proc. Phys. Soc., 84, 41, 1964.
- [5] Я.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. ЖЭТФ, 47, 1150, 1964.
- [6] Д.Д.Рютов. ЖЭТФ, 47, 2194, 1964.
- [7] Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович. ЖЭТФ, 48, 290, 1965.
- [8] Г.А.Аскарьян, Н.Б.Делоне, М.С.Рабинович. ЖЭТФ, 46, 814, 1964.

[9] Т.В.Гваладзе, И.К.Красюк, П.П.Пашинин, А.В.Прохоридеев, А.М.Прохоров. ЖЭТФ, 48, 106, 1965.

1) Замечено существование быстрых формимпульсов, которые устранялись тонким заземленным разрезанным проводящим цилиндром, не влияющим на интересующие нас сигналы длительного возмущения магнитного поля.