

04;12
©1993

ИЗМЕРЕНИЕ БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ ТЕЛ МАЛЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

Э.М. Дробышевский, Б.Г. Жуков, В.А. Сахаров

Преодоление проблемы катастрофической эрозии электродов в электродинамических ускорителях твердых тел (рельсотронах) с малыми межэлектродными расстояниями (1–3 мм) позволило создать в ФТИ им. А.Ф. Иоффе компактное устройство, способное без поддона сообщать диэлектрическим телам размером ≈ 1 мм скорости в диапазоне 3–5 км/с. Такие тела (пеллеты) представляют значительный интерес для исследований по термоядерному синтезу [1], по антропогенному космическому мусору и т.п. Поэтому задача простой и надежной регистрации их скорости достаточно актуальна.

Измерение скорости тел путем их сверхскоростного фотографирования на фоне светящегося экрана широко применяется в экспериментах [2,3]. К достоинствам этого метода относится возможность одновременного получения информации также о состоянии быстролетящего тела. Однако методика работает, если выполняется условие $\frac{l}{V} > t_0$, где l — продольный размер тела, V — его скорость. Характерное время экспозиции одного кадра ($t_0 \sim 1$ мкс) для широко распространенных механических систем сверхскоростной фоторегистрации (типа СФР) делает невозможным определение с их помощью скорости быстролетящих тел небольшого размера.

Для измерения скорости таких тел, помимо их теневого фотографирования с помощью лазеров с модулированной добротностью, была разработана простая система регистрации с помощью пленочных датчиков. Принцип их работы достаточно прост [4] и они давно применялись для измерения небольших (< 2 км/с) скоростей больших тел ($\gtrsim 1$ см). Датчик состоит из разнесенных на известное расстояние двух заряженных плоских конденсаторов, при заколачивании пластин которых пробивающим их телом возникают электрические импульсы. Временной сдвиг между ними позволяет вычислить скорость. Однако в нашем случае ввиду малых размеров тел и их большой скорости возникают дополнительные трудности, требующие своего разрешения. Дело в том, что соударение двух тел с отношением

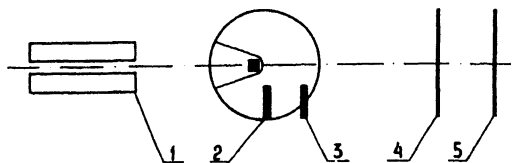


Рис. 1. Схема эксперимента. 1 — рельсовый ЭМ ускоритель, 2, 3 — реперы; 4, 5 — пленочные датчики. Отмечено поле зрения, соответствующее теневого фото рис. 2.

Расстояния: от среза ЭМ ускорителя до репера 2 — 165 мм, до датчика 4 — 242 мм, между датчиками — 52 мм.

масс $\sim 10^{-2}$ на скорости $\gtrsim 5$ км/с обычно вызывает разрушение большего тела [5]. Кроме того, само взаимодействие тела с пленкой неизбежно ведет к некоторой потере импульса тела, пропорциональной поверхностной плотности пленки. Компромиссным оказалось использование тонких (~ 5 мкм) лавсановых пленок с поверхностной металлизацией. Из таких пленок изготовлены, например, конденсаторы типа ОСК 77 на рабочее напряжение 63 В. В конструкции датчика две пленки за счет натяжения тесно соприкасаются друг с другом по всей поверхности. Металлизированные покрытия, разделенные слоем лавсана одной из пленок, выступают в качестве пластин конденсатора. Для предотвращения краевых пробоев одна из пленок сделана на 5–6 мм уже другой. Пробивное напряжение такой сборки составляет 250–260 В, рабочее напряжение бралось на 10–15 В ниже.

Система из двух таких датчиков была использована для измерения скорости при испытании электродинамического ускорителя малых тел (рис. 1). Одновременно проводилось теплеровское теневого фотографирование (рис. 2) движения тела в воздухе (пластмассовый кубик $1 \times 1 \times 1$ мм массой $m_T = 1.2$ мг). Осциллограммы сигналов с датчиков представлены на рис. 3. Верхний луч соответствует сигналу с первого датчика, нижний — со второго. Длительность переднего фронта импульсов $\sim 10^{-8}$ с. При контакте с датчиками тело не разрушается, оставляя на их пленках отверстия с достаточно ровными краями с поперечным размером 1.2–1.5 мм. Цуговая структура импульсов обусловлена вторичными пробоями и “выгоранием” напыленного слоя металла вокруг отверстия при прохождении токового импульса от дополнительного конденсатора. Это выгорание приводит к восстановлению электрической прочности датчика и возможности его вторичного использования.

Можно считать, что при механическом пробое датчика телом некоей массы Δm , соответствующей сечению про-

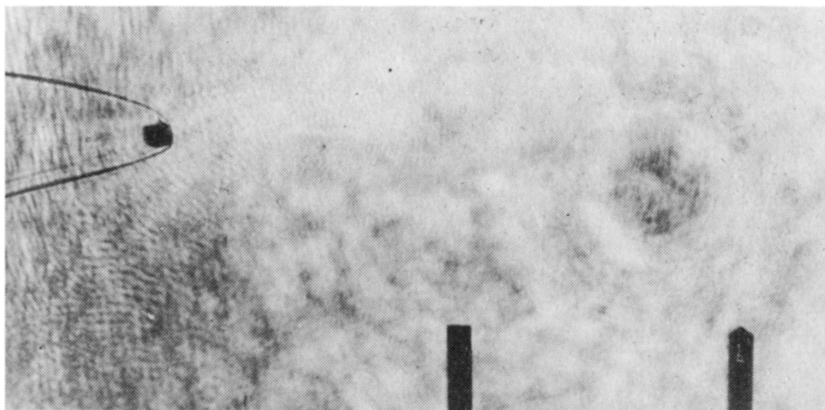


Рис. 2. Теплеровская теневая фотография движения тела ($V \approx 4$ км/с) в воздухе при атмосферном давлении. Реперы — проволоки диаметром 1.2 мм, расстояние между их осями — 13.5 мм. Источник света — рубиновый лазер с модулированной добротностью ($\tau_n = 2 \cdot 10^{-8}$ с).

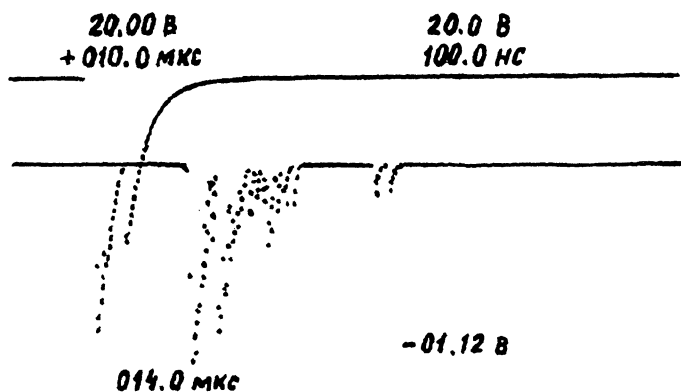


Рис. 3. Осциллограммы сигналов с датчиков. Длительность разветки 100 мкс.

битого в пленке отверстия, сообщается скорость V , равная скорости тела. Тогда для потери ΔV скорости телом после прохождения двойного слоя пленки имеет место оценка $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta m}{m_T}$, где m_T — масса тела. В наших экспериментах $m_T = 1-1.2$ мг, поверхностная плотность двойного слоя использованной нами пленки составляла 8 г/м². Поэтому уменьшение скорости после прохождения телом датчиков незначительно: $\frac{\Delta V}{V} \lesssim 10^{-2}$. В нашем случае гораздо большее падение скорости тела происходит за счет торможения

в воздухе во время полета от среза ускорителя до датчиков. При коэффициенте сопротивления воздуха $C_x = 1.6$ [6] измеренной датчиками скорости 3.7 км/с соответствует скорость тела размером 1 мм на выходе из ускорителя 4.5–4.8 км/с.

Список литературы

- [1] *Kotarek P.* // Nucl. Fusion. 1990. V. 30. N 9. P. 1817–1862.
- [2] *Дробышевский Э.М., Жуков Б.Г., Назаров Е.В.* и др. Препринт ФТИ-1315. Л., 1989.
- [3] *Кондратенко М.М., Лебедев Е.Ф., Осташев В.Е.* и др. // ТВТ. 1988. Т. 26. № 1. С. 159–164.
- [4] *Eichelberger R.J.* // J. Appl. Phys. 1956. V. 27. N 1. P. 63–68.
- [5] *Kessler J., Cour-Palais B.G.* // J. Geophys. Res. 1978. V. 83. N 6. P. 2637–2646.
- [6] *Бараусов Д.И., Дробышевский Э.М.* // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 17. С. 43–46.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
30 июля 1993 г.

