

К 84

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт

ОН 1

Э.П.Кругляков, Ю.Е.Нестерхин

**интерферометр майкельсона
для исследования плазмы**



Новосибирск 1964

В в е д е н и е.

Методы оптической интерферометрии давно используются для определения параметров газовых потоков в аэродинамике. В последние годы появился ряд работ [1-5], где сообщается о первых экспериментальных результатах по диагностике плазмы с помощью интерферометров Маха-Цендера. Возможность применения оптических интерферометров для диагностики плазмы основана на хорошо известной зависимости диэлектрической проницаемости плазмы от электронной концентрации:

$$\varepsilon = 1 - \frac{4\pi N_e \cdot e^2}{m \omega^2} \quad (1)$$

(где e , m - заряд и масса электрона, а ω - круговая частота света).

Оптическая разность хода, вносимая плазмой длиной l есть:

$$\delta m = - \frac{2\pi N_e \cdot e^2}{m \omega^2} \cdot \frac{l}{\lambda} = - 4,46 \cdot 10^{-14} \cdot N_e \cdot \lambda \cdot l \quad (2)$$

(Здесь N_e - плотность электронов плазмы [см^{-3}], λ - длина световой волны [см]). Как следует из (2), с помощью интерферометра типа Маха-Цендера при зондировании плазмы с оптической длиной пути порядка 10 см и концентрации $N_e = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ может быть получен фазовый сдвиг 0,22 полосы ($\lambda = 5000 \text{ \AA}$). По оценкам авторов большинства приведенных выше работ точность определения δm (сдвиг интерференционной полосы) составляет 0,1, что соответствует $N_e \cdot l \approx 4,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

До настоящего времени оптическая интерферометрия плазмы проводилась на интерферометрах типа Маха-Цендера с однократным прохождением света через

исследуемый объект. Чувствительность метода может быть повышена, если свет пропустить сквозь плазму дважды. С этой целью нами был разработан интерферометр типа Майкельсона, оптическая схема которого позволяет одновременно регистрировать на пленку интерференционные полосы и изображение плазмы. В необходимых случаях свечение плазмы может быть ослаблено на несколько порядков без снижения яркости интерференционных полос.

Описание установки.

На рис. 1 изображен общий вид интерферометра с плазменным инжектором и системой регистрации интерференционных полос (скоростные фоторегистраторы типа СФР-2М). На рис. 2 показана оптическая схема прибора. Интерферометр смонтирован на массивном чугунном основании. Для уменьшения поперечных размеров прибора было использовано поворотное зеркало I. Разделение интерферирующих пучков производилось с помощью пластины P с многослойным диэлектрическим покрытием и коэффициентом отражения $\sim 50\%$ при малом поглощении ($\sim 0,2\%$), что позволило получить интерференционные полосы с хорошим контрастом. В одной оправе с разделяющей пластиной смонтирована пластина K , предназначенная для компенсации дисперсии света в стекле при одновременном наблюдении интерференции в различных длинах волн. С той же целью в одном из плеч интерферометра поставлена пластина Π_3 , толщина которой равна сумме толщин окон вакуумной камеры (Π_1, Π_2). Интерференционные полосы локализованы на зеркалах 2, 3, расположенных в фокусах освещающего (O_2) и выходного (O_3) объективов. При установке объектива O_4 , формирующего изображение интерференционного поля на вертикальной щели S , в фокусе O_3 на O_4 получается изображение освещающей диафрагмы D_1 . Таким образом, изменением диаметра диафрагмы D_2 , расположенной за объективом O_4 , можно добиться необходимого отношения интенсивностей свечения плазмы и интерференционных полос. Для осуществления одновременной регистрации полос в двух длинах волн за щелью S было установлено диэлект-

рическое зеркало, полностью отражающее красный свет ($\lambda = 6000 \text{ \AA}$) и пропускавшее синий ($\lambda = 4000 \text{ \AA}$).

Встировка интерферометра.

После предварительной установки элементов схемы на станине встировка интерферометра производилась в следующем порядке:

1) При снятом объективе O_3 зеркала 2 и 3 выставляются взаимно перпендикулярно с помощью регулировочных винтов, меняющих наклон зеркал, и автоколлиматора.

2) При установленном объективе O_3 зеркала выставляются в фокусе последнего. После предварительной настройки полосы интерференции можно наблюдать визуально за объективом O_3 , освещая входную диафрагму D_1 монохроматическим источником света.

3) Для наблюдения интерференции в белом свете необходимо, чтобы расстояния от зеркал 2,3 до отражающей поверхности пластины P были равны с точностью порядка двух-трех микрон. Далее производится окончательная встировка прибора. Диафрагма D_1 освещалась светом лампочки накаливания через интерференционный светофильтр с полушириной порядка 100 \AA . Одно из торцевых зеркал (2 или 3) перемещалось микрометрическим винтом до появления полос в поле интерференции, после чего светофильтр убирался и медленным перемещением зеркала интерференционная полоса нулевого порядка выводилась на середину поля.

4) При снятом автоколлиматоре объектив O_4 устанавливался таким образом, чтобы поле интерференции фокусировалось на щель S . Продольным перемещением объектива O_5 достигалась фокусировка щели на пленке.

5) Наконец, для регистрации сдвига интерференционных полос необходимо, чтобы они были выставлены перпендикулярно щели. Это достигалось изменением наклона зеркал 2,3 с помощью регулировочных винтов. Наклоном зеркал подбиралось необходимое расстояние между интерференционными полосами.

Результаты испытаний.

При наладке установки в качестве источников света использовались рубиновый лазер и ксеноновая лампа-вспышка ИФК-2000. Для регистрации интерференционных полос во времени в режиме целевой развертки лампу вспышку наиболее целесообразно использовать при следующих условиях: $U = 3 \text{ кВ}$, $C = 300 \text{ мкФ}$. При этом мощность, излучаемая лампой, оказывается достаточной для регистрации развертки монохроматизированных ($\delta\lambda = 100 \text{ \AA}$) интерференционных полос через щель 0,4 мм на пленку РФ-3 при скоростях развертки порядка 30 тысяч оборотов в минуту, а в белом свете - вплоть до максимальных скоростей развертки фоторегистратора. При указанных выше условиях длительность свечения лампы, четко фиксируемая на пленку, достигает 100 ÷ 150 мсек. На рис.3 показано поле интерференции, снятое в свете рубинового лазера ($\lambda = 6943 \text{ \AA}$). К сожалению, лазер, дающий более контрастную интерференционную картину, в настоящее время нельзя применить в режиме целевой развертки из-за "пикового" характера генерации. Однако лазер может с успехом применяться для получения интерферограмм в режиме лупы времени.

Для отработки метода интерферометрии нами был проделан ряд экспериментов.

На рис.4 приведена полученная в белом свете интерферограмма ударной волны, возникающей при пробое воздушного промежутка. Одновременно видна теневая картина фронта ударной волны. Интерферограмма плазменного сгустка коаксиального ускорителя приведена на рис.5. Заметна корреляция между свечением плазмы и сдвигом интерференционных полос. Рис.6 иллюстрирует возможность полного подавления свечения плазмы с помощью диафрагмы D_2 . На рис.7 представлены интерферограммы плазмы, одновременно зарегистрированные в двух длинах волн. Ниже приведены кривые, показывающие относительное смещение интерференционных полос, ход электронной плотности и степени ионизации плазмы во времени.

Обсуждение результатов.

Проведенные исследования показали, что интерферометр Майкельсона может применяться в диагностике плазмы.

На данном этапе работы достигнутая точность определения смещения полос $\frac{\delta\lambda}{\lambda} \sim \frac{1}{40}$ позволяет регистрировать $N_e \cdot l \approx 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^2$ (при просвечивании плазмы светом с длиной волны $\lambda = 6000 \text{ \AA}$). В настоящее время опробован вариант схемы двойного интерферометра Майкельсона. В этом случае чувствительность метода повышается еще в два раза.

Применение метода эквиденситометрии к обработке интерферограмм (см. рис. 8), позволяет повысить точность определения смещения полос до $\frac{\delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{1}{100} \pm \frac{1}{200}$. Таким образом, при оптической длине плазмы $l \sim 100 \text{ см}$ вполне реально определение электронной концентрации на уровне $N_e \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

В тех случаях, когда доля примесей в плазме невелика, одновременная регистрация сдвигов полос в двух длинах волн позволяет определить степень ионизации плазмы.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.П.Коронкевичу за ряд ценных советов и Л.В.Анкудинову за помощь при наладке интерферометра.

Л и т е р а т у р а.

1. Долгов Г.Г., Мандельштам С.Л., ЖЭФ, 24, 691 (1953).
2. R. A. Alpher and D. R. White, *The Physics of Fluids*
1, № 5 (1958)
3. R. A. Alpher and D. R. White, *The Physics of Fluids*
2, № 2 (1959)
4. R. D. Medford, A. L. F. Powell, A. G. Hunt and J. K. White
*Proceedings Fifth International Conference
on Ionisation Phenomena in Gases, Munich, 1961*
5. Klein A. F., *The Physics of Fluids* 6, № 2 (1963)

Подписи к рисункам

- Рис.1. Общий вид интерферометра с инжектором плазмы.
- Рис.2. Оптическая схема интерферометра и системы регистрации полос.
- Рис.3. Поле интерференции в свете лазера на рубине.
- Рис.4. Интерферограмма ударной волны в воздухе при атмосферном давлении.
- Рис.5. Интерферограмма плазменного сгустка с частичным подавлением свечения плазмы.
- Рис.6. Интерферограмма плазменного сгустка с полным подавлением свечения плазмы.
- Рис.7. Интерферограммы плазменного сгустка, зарегистрированные одновременно в двух длинах волн. Ниже - профиль плотности электронов N_e , степень ионизации α и относительные сдвиги интерференционных полос во времени.
- Рис.8. а) Интерферограмма плазменного сгустка коаксиального инжектора Маршалла. в) Та же интерферограмма после обработки методом эквиденситометрии.

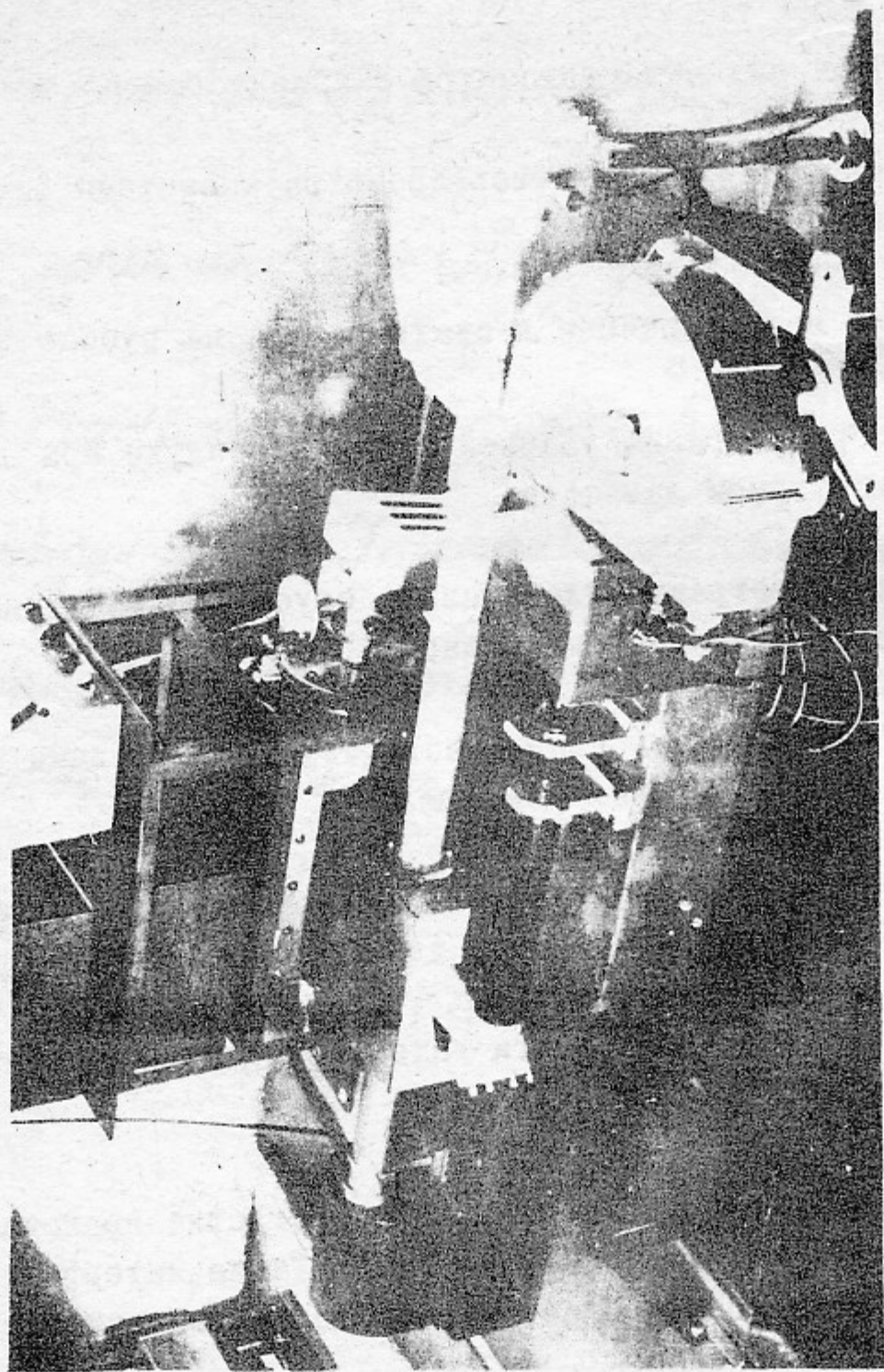


Рис. I.

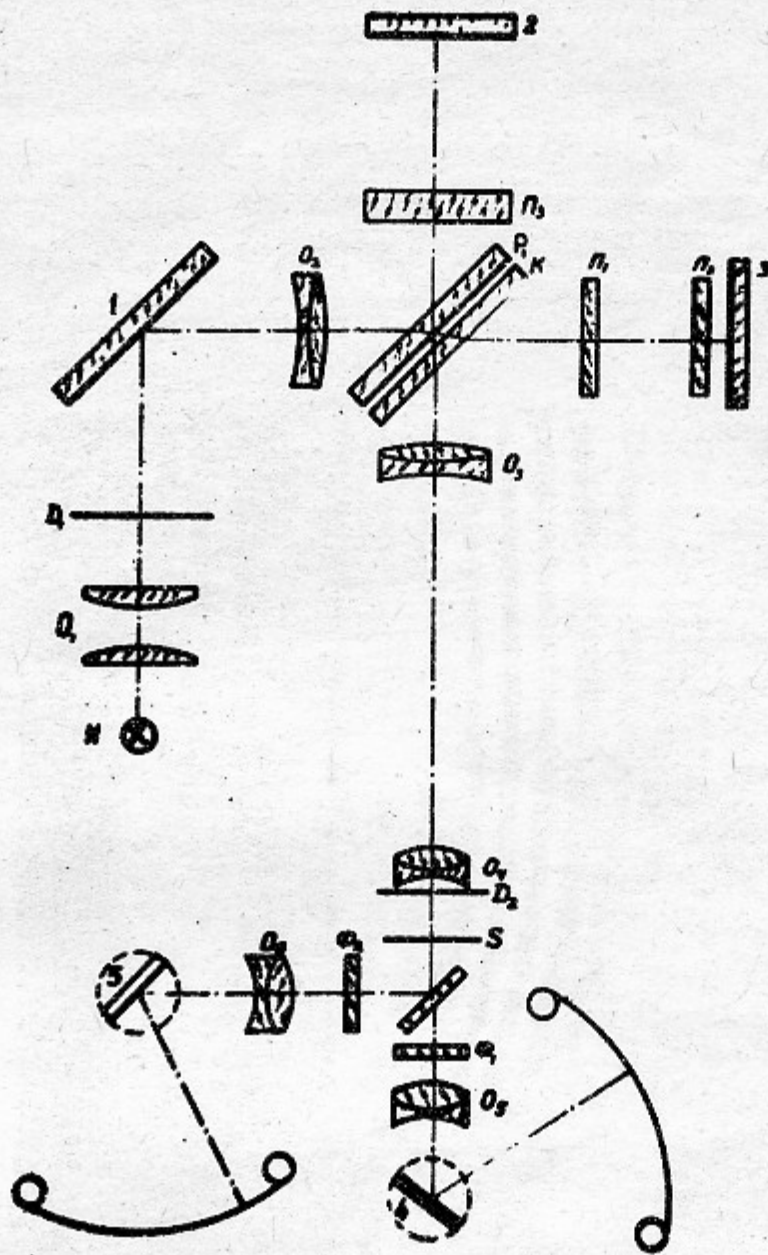


Рис. 2

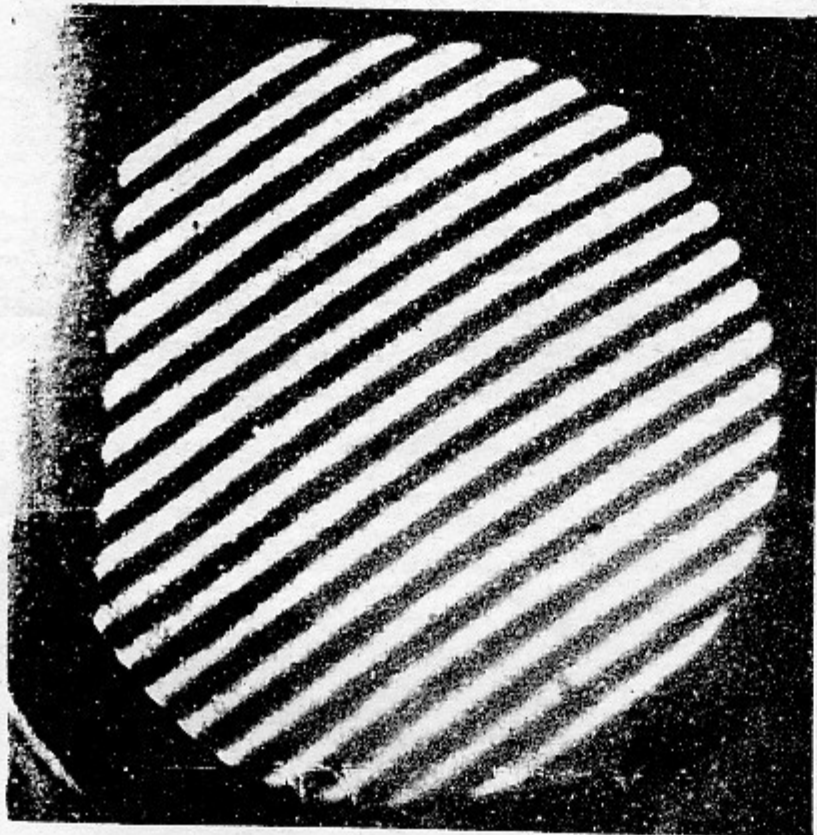


Рис. 3.

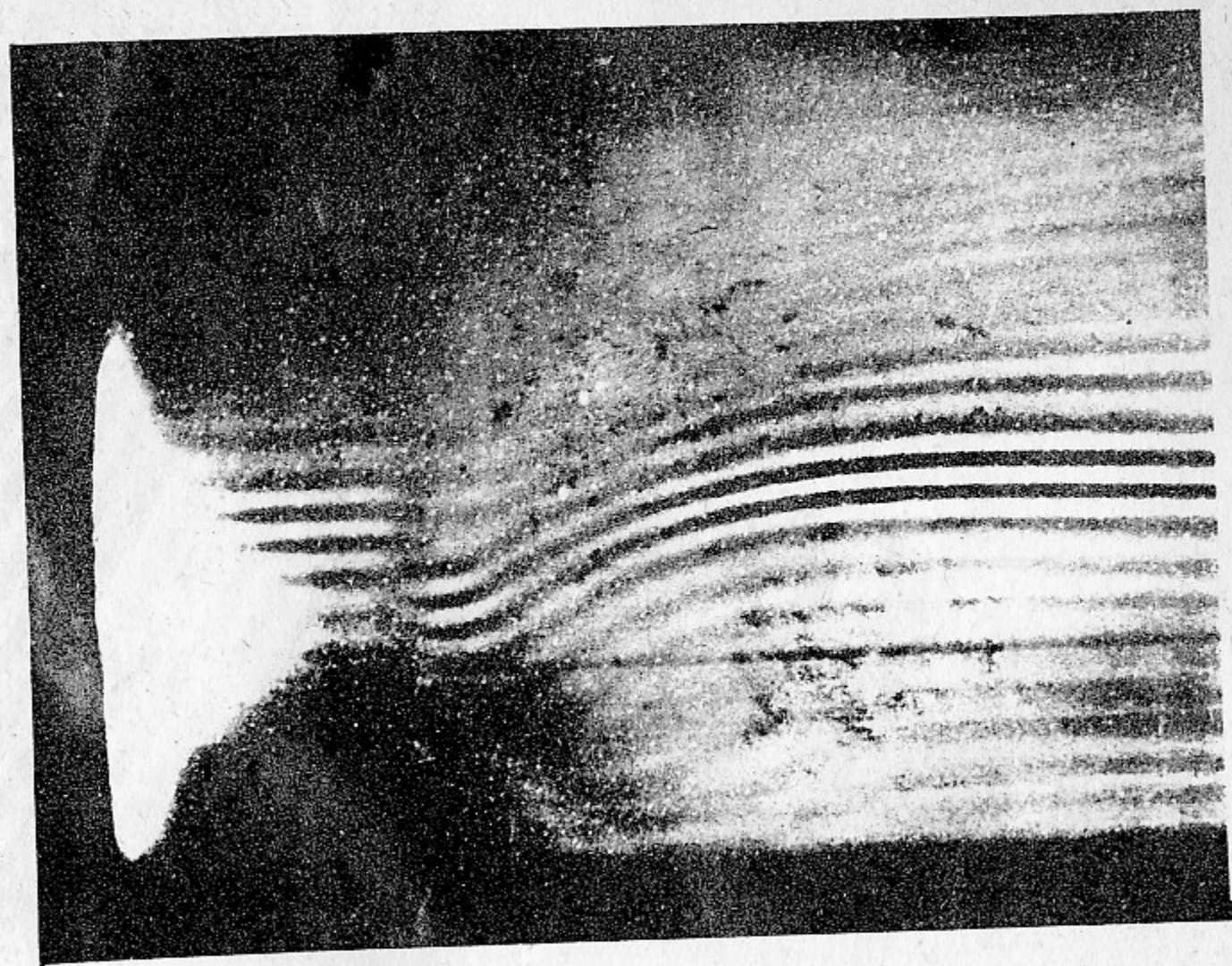


Рис. 4.

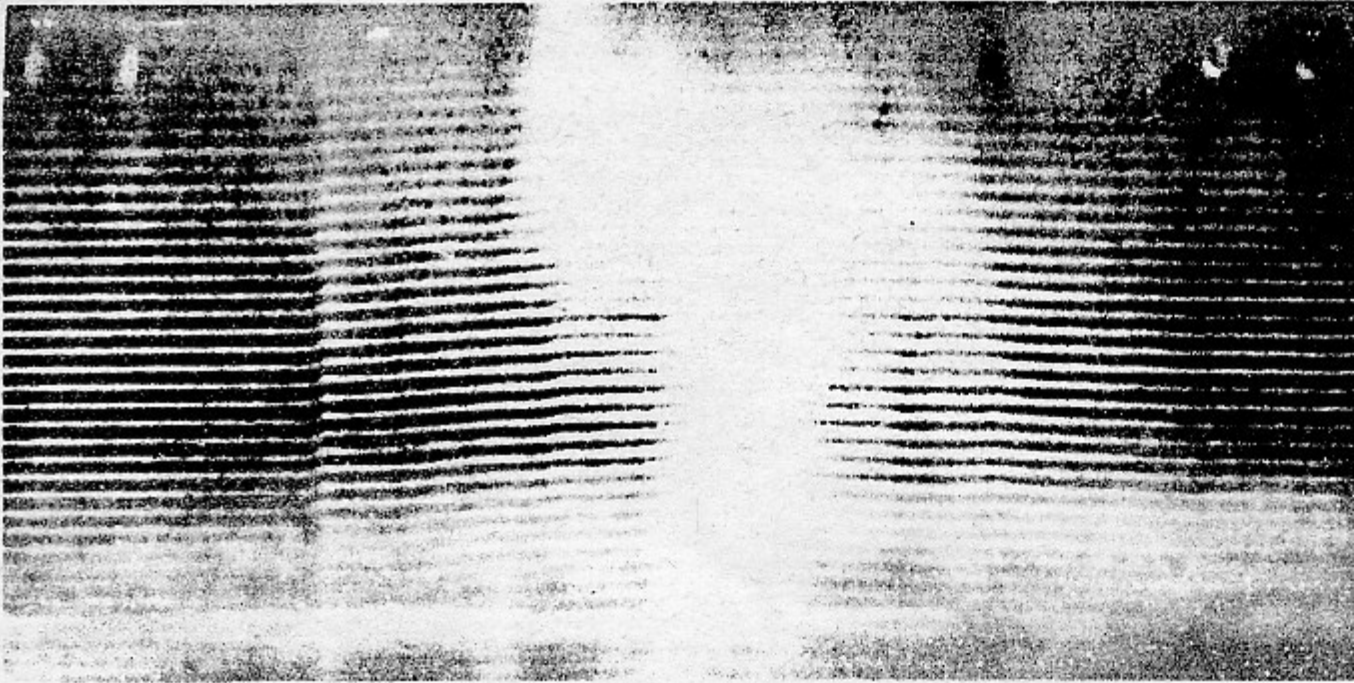


Рис. 5.

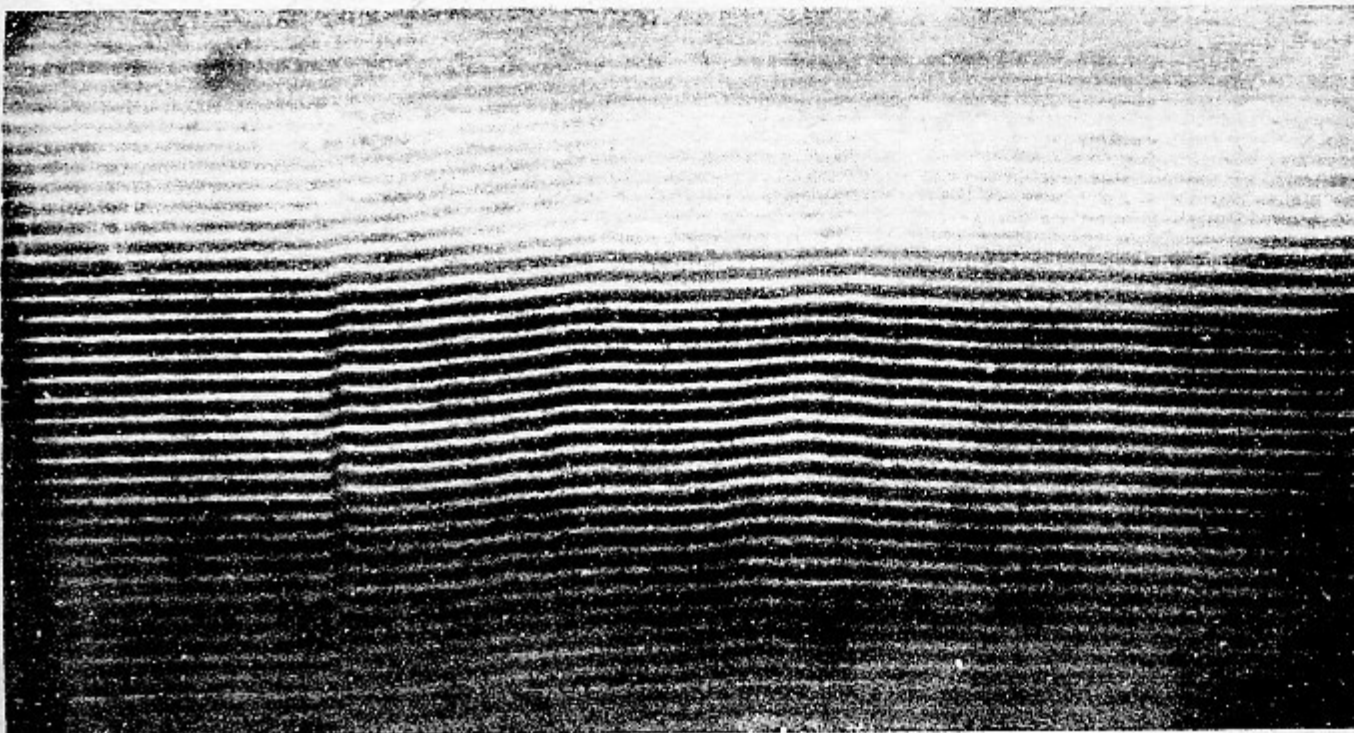


Рис. 6.

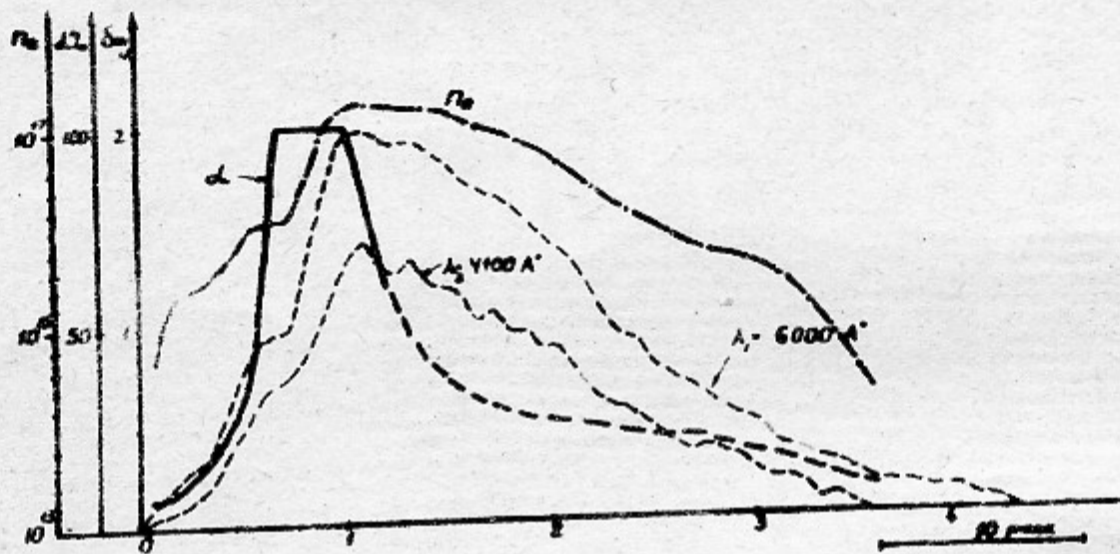
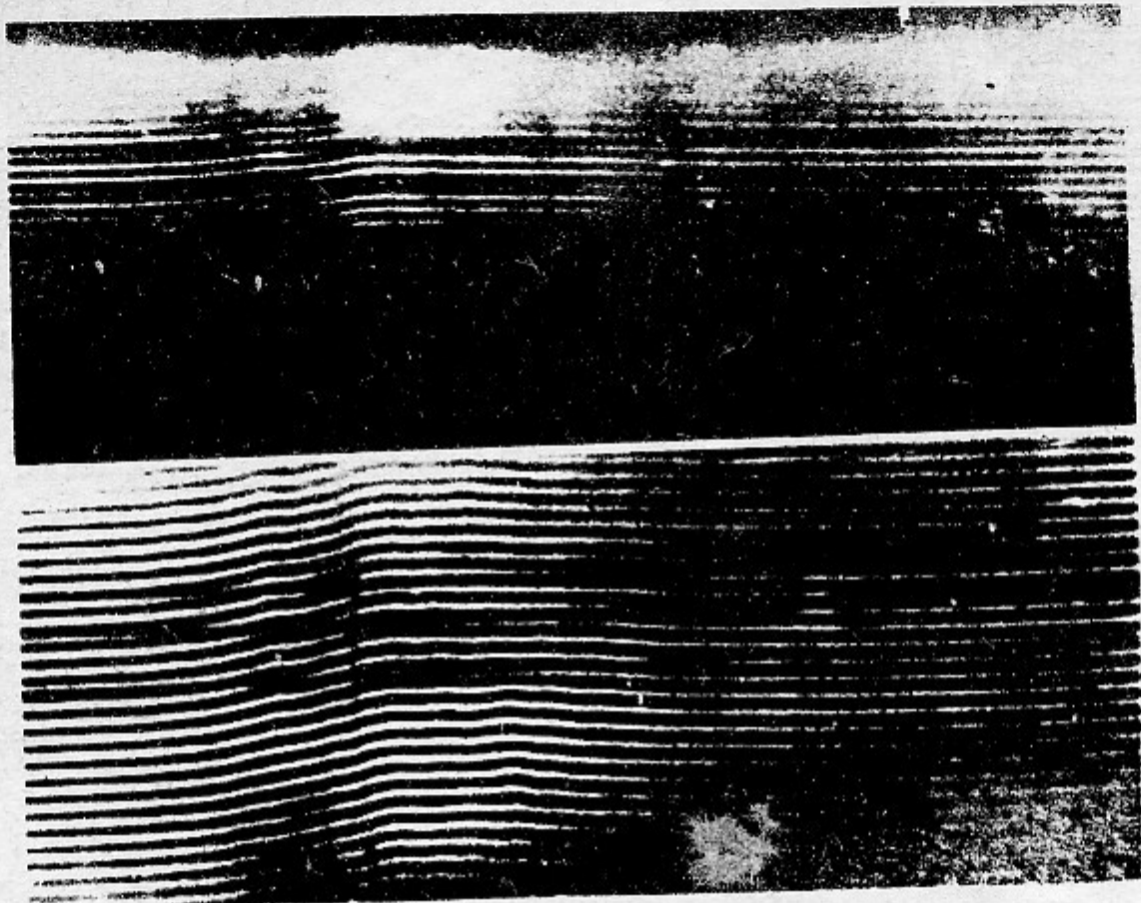


Рис. 7.

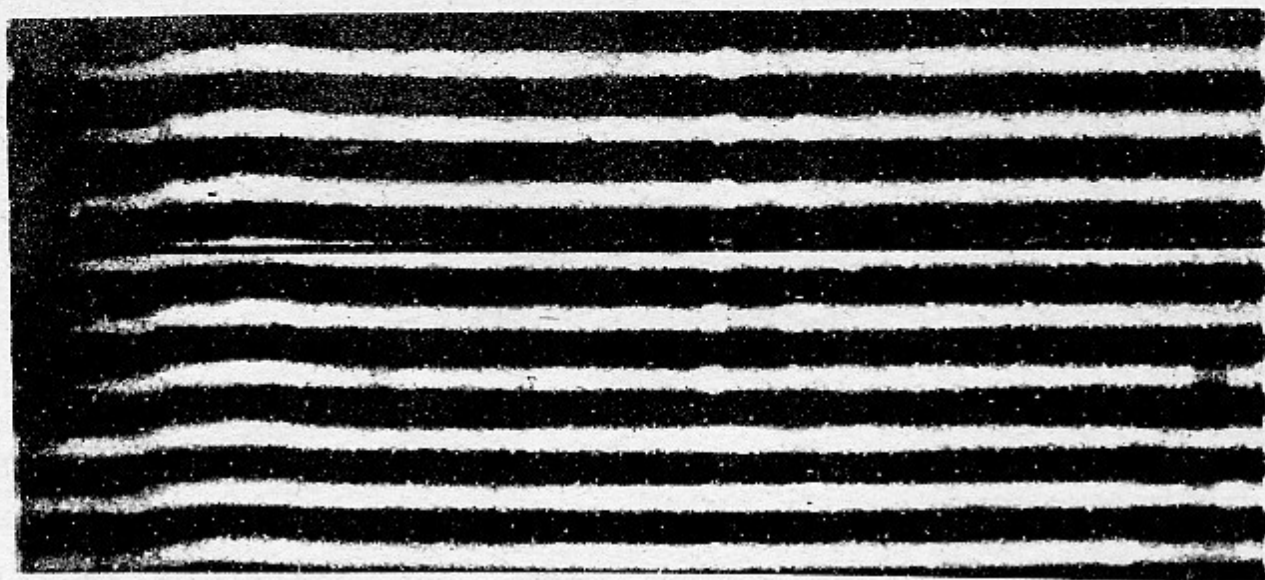


Рис. 8

Ответственный за выпуск Федоров В.М.
Подписано к печати МН00623 11.9.64 г.
Формат бумаги 270 x 190, тираж 200 экз.
Заказ № 041 Бесплатно

Отпечатано на ротопринтере в Институте
ядерной физики СО АН СССР.