

56

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР



В.С. Бурмасов, Э.П. Кругляков

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ
ДЕФОРМАЦИЙ СОЛЕНоиДА
В ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

ПРЕПРИНТ 86-96



НОВОСИБИРСК

1986

АННОТАЦИЯ

Предложен метод измерения импульсных перемещений, основанный на введении в плечо интерферометра тонкого клина, движущегося вместе с исследуемым объектом. Метод использован для исследования продольных деформаций, возникающих в длинном (7,5 м) импульсном соленоиде. Измеренная величина продольного сжатия соленоида в поле 5 Тл составила 2,2 мм, постоянная затуханий продольных колебаний—60 мс. Описанный метод может быть использован для анализа деформаций в различных магнитных системах.

Для проведения исследований по удержанию и нагреву плазмы в многопробочных магнитных конфигурациях требуются специфические магнитные системы, обладающие большой длиной (десятки; в случае термоядерного реактора, основанного на продольном удержании плазмы в многопробочных магнитных полях,—сотни метров), небольшим поперечным размером (масштаба десяти сантиметров), оперирующие при высоких (порядка 10 Тл) напряженностях магнитного поля. Пробразом установки следующего поколения для экспериментов по исследованию удержания и нагрева плотной ($n_e \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$) плазмы в многопробочном магнитном поле должна стать установка ГОЛ-3 с длиной магнитной системы 22,5 м [1]. Недавно в Институте запущена установка ГОЛ-М, имеющая соленоид длиной 7,5 м примерно с той же напряженностью магнитного поля ($B_{\text{max}} \simeq 6 \text{ Тл}$), что и в будущей установке ГОЛ-3. Увеличение продольных размеров установок вместе с ростом напряженности магнитного поля привело к появлению эффектов, которые ранее были мало существенны. Эти эффекты связаны с ощутимым продольным сжатием соленоида за счет упругих деформаций при импульсном создании магнитного поля. В данной работе предложен метод, позволяющий исследовать динамику торцов длинного соленоида в процессе формирования магнитного поля и в последующие моменты времени.

Соленоид установки ГОЛ-М создан на основе идентичных секций. Схема одной из них представлена на рис. 1. Соленоид смонтирован из одиночных последовательно включенных витков из каленой бронзы. Система металлических и диэлектрических стаканов

между витками и система стягивающих стержней с общим сжимающим усилием около 30 тс обеспечивает монолитность секций соленоида. Тем не менее, как показывают оценки, при создании импульсного поля в 6 Тл в соленоиде из трех секций с общей длиной 7,5 м за счет упругих деформаций максимальное сжатие достигает 3 см.

Для увеличения продольной жесткости в каждой секции предусмотрены четыре колонны из дюралюминия (3), которые через рамы (4) принимают на себя усилия, возникающие в соленоиде. Торцы колонн соседних секций плотно стянуты между собой. В результате на всей длине соленоида в 7,5 м колонны образуют монолитную структуру.

Метод, позволяющий исследовать движение торцов соленоида, основан на использовании оптического интерферометра Майкельсона с фотоэлектрической регистрацией интерференционных сигналов, применявшегося нами ранее для диагностики плазмы [2]. Суть метода ясна из рис. 2. К торцу соленоида прикрепляется прозрачный клин, пересекающий одно из плеч интерферометра. Смещение клина поперек этого плеча приведет к изменению оптической разности хода. При этом на детекторе будут попеременно отсчитываться максимумы и минимумы интерференционного сигнала. Оптическая разность хода, выраженная в числе интерференционных полос, Δ , прямо пропорциональна величине смещения торца соленоида, Z : $\Delta \propto Z$, причем при фиксированной длине волны источника монохроматического излучения ($\lambda = 3,39$ мкм) абсолютную величину разности хода в широких пределах можно регулировать подбором угла клина.

Существенно, что в предложенной схеме все элементы интерферометра изготовлены из диэлектрических материалов и полностью развязаны от соленоида. Что же касается клина, то как нетрудно видеть, его вибрации не могут внести заметных измерительных ошибок.

На рис. 3 приведена интерферограмма, зарегистрированная для случая, когда максимальное поле в соленоиде $B = 5$ Тл. Из интерферограммы следует, что максимум сжатия соленоида достигается спустя 4 мс после момента начала нарастания поля (максимум поля приходится на $t = T/4 = 2,6$ мс). На рис. 4 представлены результаты обработки интерферограмм, полученных при различных полях в соленоиде. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что величина сжатия соленоида пропорциональна квадрату напряженности магнитного поля. Этот факт свидетельствует об уп-

ругом характере деформаций соленоида.

Отметим, что рассматриваемый метод позволяет исследовать временное поведение деформаций соленоида. Наиболее просто постоянная затухания τ продольных колебаний соленоида определяется для случая, когда разность хода Δ , связанная с перемещением клина при колебаниях торцов, оказывается меньше половины интерференционной полосы. Рис. 5 демонстрирует возможность измерения затухания продольных колебаний описанным методом.

В заключение отметим, что предложенный метод позволяет в широких пределах исследовать динамику продольного движения обмоток длинных соленоидов. Метод может быть использован также для анализа поведения других магнитных конфигураций, в том числе обмоток токамаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beam Heating of Plasma in Solenoids/ A.V. Arzhannikov, B.N. Breizman, A.V. Burdakov, V.S. Burmasov, L.N. Vyacheslavov, V.I. Erofeev, A.M. Iskoldskij, B.A. Knyazev, V.S. Kojdan, V.V. Konyukhov, Eh.P. Kruglyakov, S.V. Lebedev, V.N. Lukyanov, K.I. Mekler, O.I. Meshkov, A.A. Podyminogin, V.V. Postupaev, A.I. Rogozin, D.D. Ryutov, S.L. Sinitskij, A.D. Khilchenko, Yu.A. Tsidulko, V.V. Chikunov, M.A. Shcheglov.—In: Plasma Physics and Control. Nuclear Fusion Research—1984. London, 1984.—Vienna, 1985, v.2, p.347—358.
2. Бурмасов В.С., Кругляков Э.П., Подыминогин А.А. Интерферометр Майкельсона с CO_2 -лазером для измерения плотности плазмы.—Физика плазмы, 1978, т.4, вып.1, с.140—143.

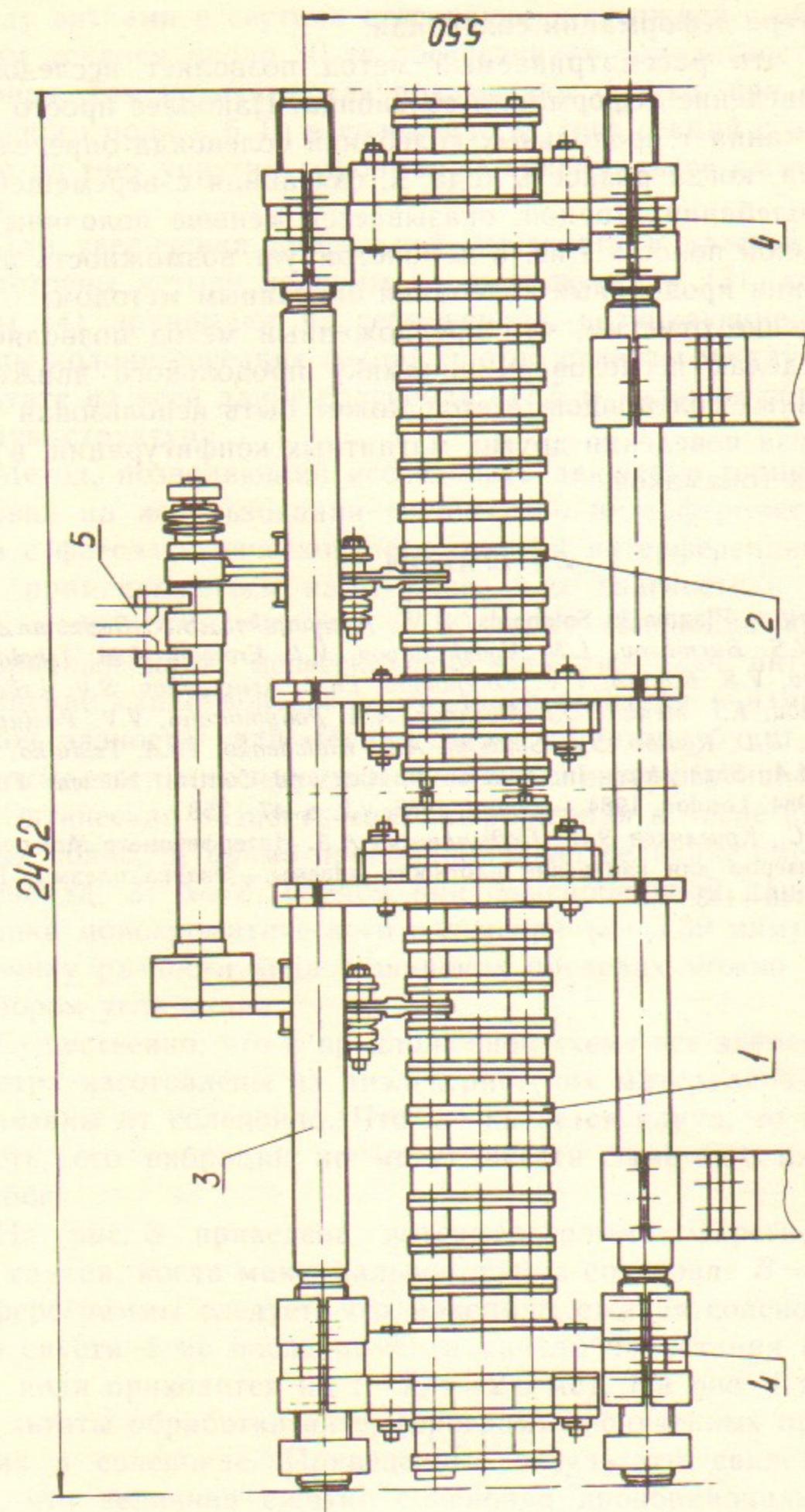


Рис. 1. Схема секции соленоида установки ГОЛ-М:
 1, 2 — «правый» и «левый» витки соленоида. Два типа витков обеспечивают уменьшение поперечной компоненты магнитного поля; 3 — несущая колонна, 4 — рама, передающая усилия, возникающие в соленоиде, на колонны; 5 — токоввод.

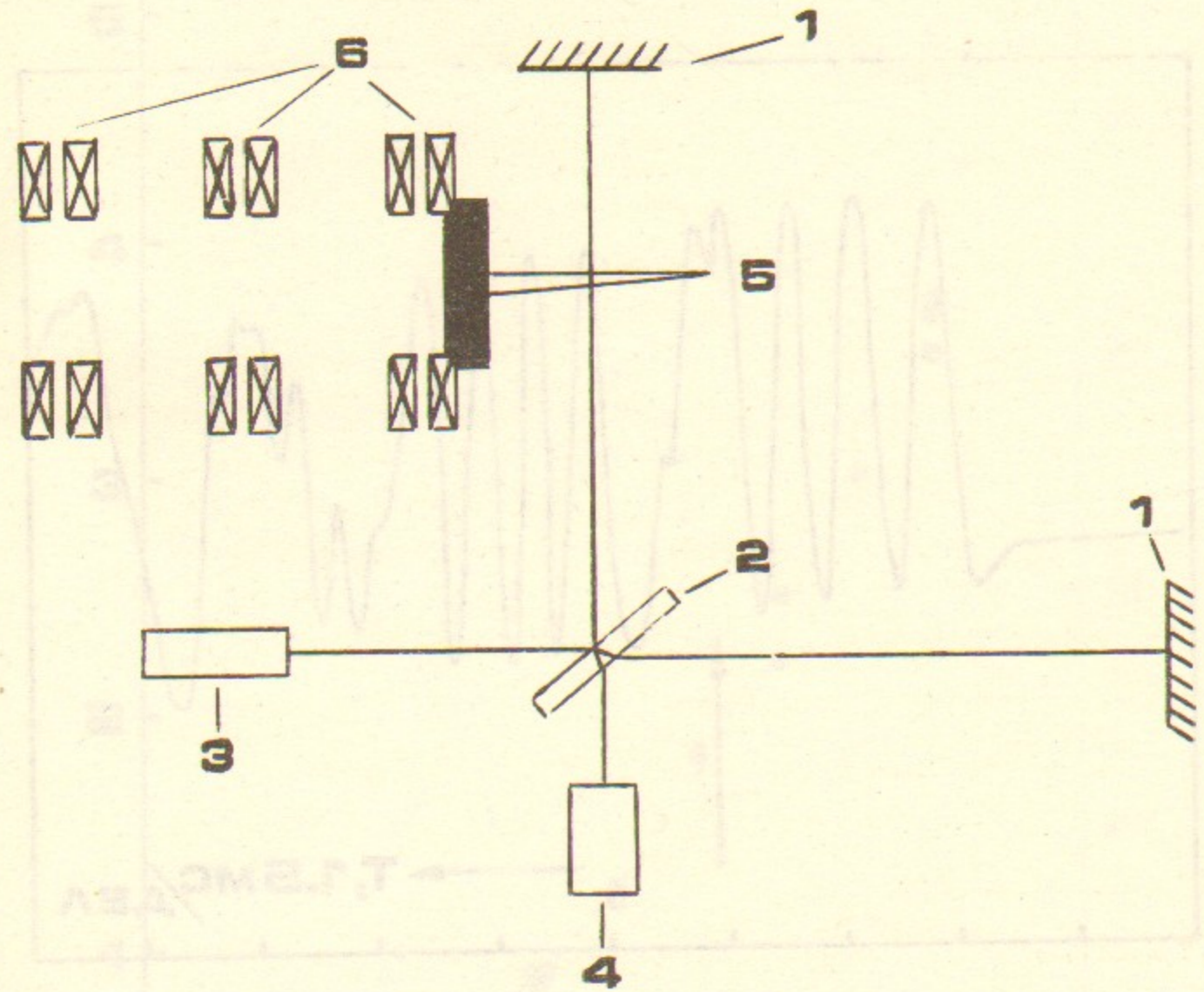


Рис. 2. Схема интерферометра с перемещающимся прозрачным клином:
 1 — торцевые зеркала; 2 — разделительная пластина; 3 — He-Ne лазер ($\lambda = 3,39$ мкм); 4 — детектор; 5 — клин; 6 — витки соленоида.

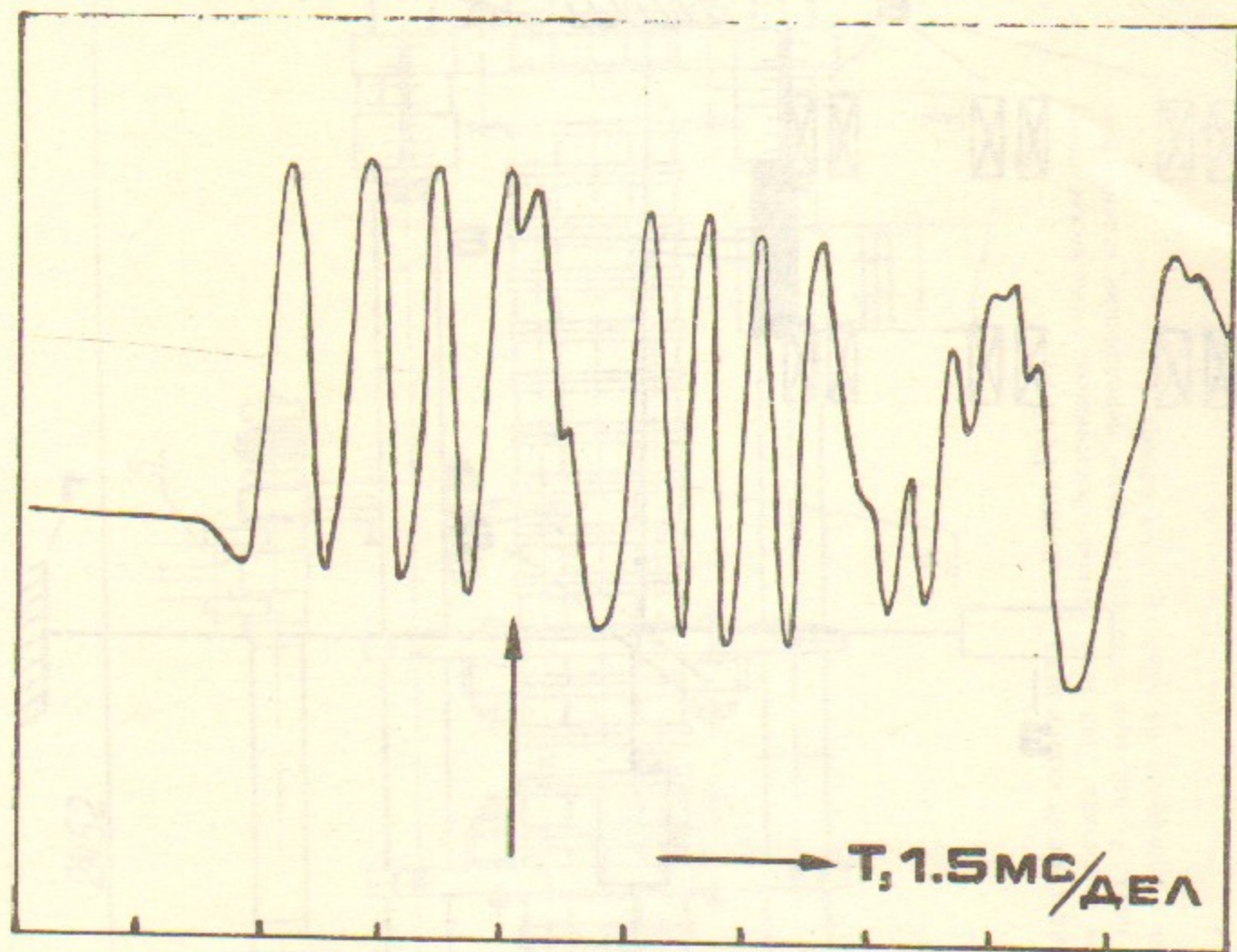


Рис. 3. Временное поведение сигнала с детектора интерферометра (случай максимальной напряженности поля в соленоиде $B_{\max} = 5$ Тл). Амплитуда интерференционного сигнала $\sim 0,15$ В. Стрелкой указан момент максимального сжатия соленоида.

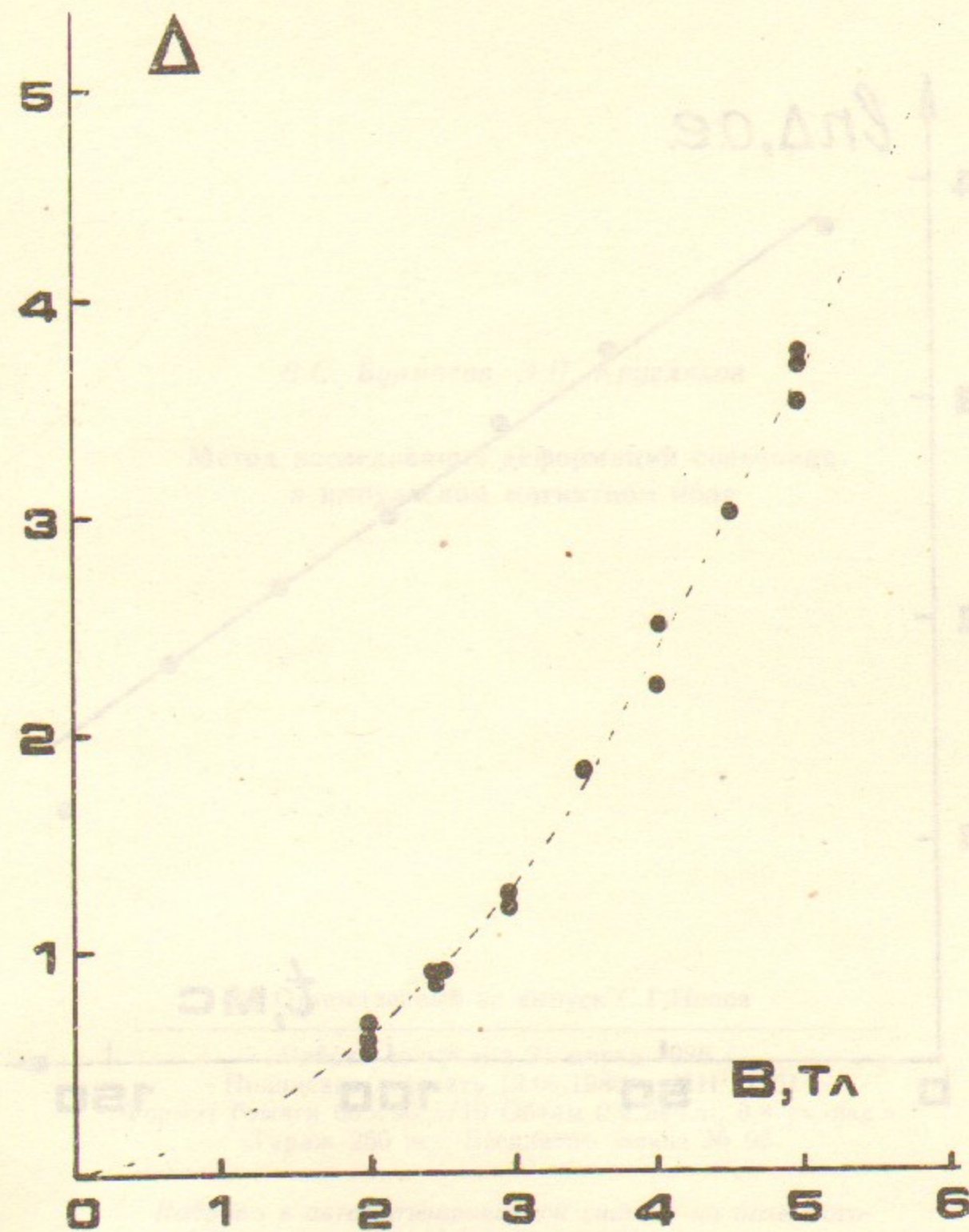


Рис. 4. Приращение оптической разности хода Δ , возникающее в интерферометре из-за смещения оптического клина, в зависимости от максимальной напряженности магнитного поля B . $\Delta = 1$ эквивалентно смещению торца на 0,3 мм или изменению размера соленоида на 0,6 мм.

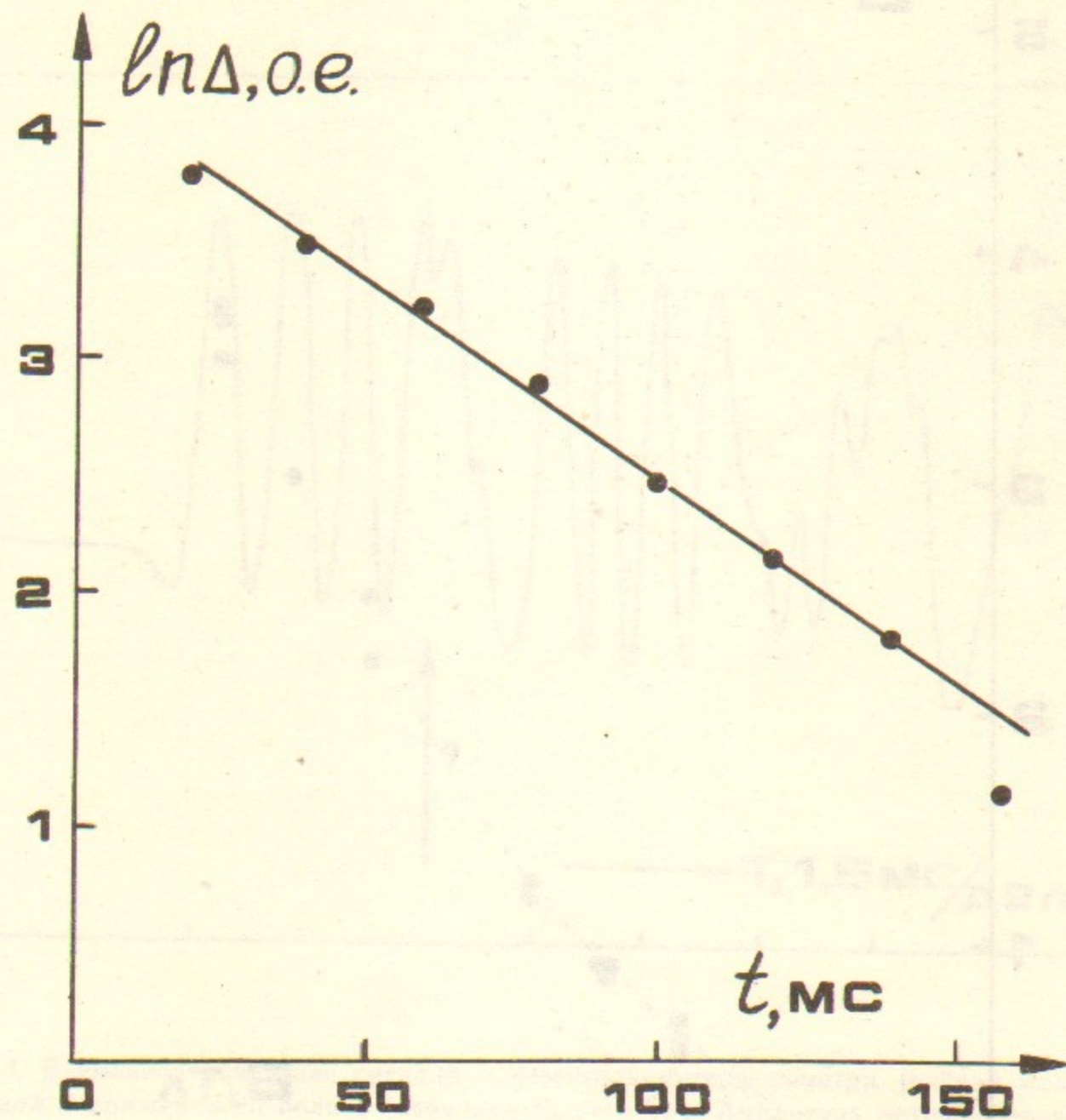


Рис. 5. Определение постоянной затухания соленоида (случай $\Delta < 1/2$). Приведенным экспериментальным точкам соответствует $\tau = 60$ мс.

В.С. Бурмасов, Э.П. Кругляков

Метод исследования деформаций соленоида
в импульсном магнитном поле

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

Работа поступила 21 марта 1986 г.
Подписано в печать 12.06.1986 г. МН 11751
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,9 печ.л., 0,8 уч.-изд.л.
Тираж 250 экз. Бесплатно. Заказ № 96

Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики
СО АН СССР.

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.