

Б.25

10

**И Н С Т И Т У Т  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР**

ПРЕПРИНТ И Я Ф 74 - 18

Л.М.Барков, М.С.Золоторев, П.К.Лебедев  
Е.П.Маточкин, В.С.Охапкин, В.П.Смахтин

**ИЗМЕРЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ  
МЕГАГАУССНЫХ ПОЛЕЙ**

Новосибирск

1974

# ИЗМЕРЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МЕГАГАУССНЫХ ПОЛЕЙ

Л.М.Барков, М.С.Золоторев, П.К.Лебедев,  
Е.П.Маточкин, В.С.Охупкин, В.П.Смахтин

## АННОТАЦИЯ

В работе описана методика измерения импульсных мегагауссовых полей с точностью лучшей 0,5% по эффекту Фарадея и с помощью индукционного датчика с частичной компенсацией напряжения.

У(0) = U\_0 sin  
P(0) = K ∫ H

БИБЛИОТЕКА  
Института ядерной  
физики СО АН СССР  
ИНВ. № \_\_\_\_\_

Для экспериментов по измерению магнитных моментов гиперонов /1/ необходимо измерять импульсные магнитные поля напряженностью  $\sim 1$  МГс с точностью лучшей 1%. Для измерения таких полей были использованы два независимых метода. Первый метод состоял в измерении угла поворота вектора поляризации света в образце из тяжелого стекла, помещенного в магнитное поле (эффект Фарадея). Во втором методе использовался индукционный датчик с частичной компенсацией напряжения. Точность измерения магнитного поля каждым методом лучше 0,5%.

Схема установки для измерения магнитного поля по эффекту Фарадея представлена на рис.1. В качестве источника поляризованного монохроматического света использовался гелий-неоновый лазер ЛГ-56, анализатором служила призма Николя. Свет лазера проходил через образец тяжелого флинта ТФ-7, помещенного в импульсное магнитное поле. После анализатора свет попадал на отражательную сферическую дифракционную решетку, в фокусе которой располагалась диафрагма, а за ней фотоумножитель ФЭУ-15А. Дифракционная решетка, имеющая 1200 линий/мм, использовалась в качестве монохроматора для уменьшения световых наводок, возникающих при работе со сверхсильными магнитными полями. Она обеспечивала эффективную ширину пропускания  $\sim 20 \text{ \AA}$  и практически исключила световые наводки. Интенсивность луча, попадающего на ФЭУ, а, следовательно, и сигнал на выходе фотоумножителя имеет вид

$$U(t) = U_0 \sin^2 \varphi(t), \quad (1)$$

где

$$\varphi(t) = K \int_0^l H(x,t) dx, \quad (2)$$

где  $K$  - константа Верде,  $l$  - длина образца. Константа Верде измерялась для каждого образца на установке, схема которой представлена на рис.2. В постоянном магните использовались плитки намагниченного магнитотвердого материала, а для магнитопровода и полюсов - блоки магнитомягкой стали. В полюсах магнита сделаны отверстия  $\Phi 2$  мм для пропускания луча лазера. Полюса шиммировались для получения однородного магнитного поля в рабочей области зазора. Магнитное поле в зазоре  $H \approx 1,3$  КГс измерялось прибором ИМИ-2 с точностью 0,01%. В качестве анализатора использовался пленочный поляриод, который крепился на подвижной части угломера. Ин-

тенсивность света измерялась по току ФЭУ-15А микроамперметром М-265. Для образца стекла ТФ-7 значение константы Верде по результатам многократных повторных измерений в постоянном магнитном поле оказалось равным  $K = 51,18 \pm 0,13$  минут/кГс·см. Ошибка измерения 0,25% в основном определялась ценой деления угломера.

На рис.3 приведена осциллограмма сигнала, полученная в одном из экспериментов. На вход осциллографа TR-4401 подавался сигнал с фотоумножителя. Как видно из рисунка, скорость поворота угла вектора поляризации увеличивается со временем, что соответствует увеличению скорости нарастания магнитного поля. В момент времени  $t_m$  достигается максимальное значение магнитного поля, после чего вектор поляризации начинает поворачиваться в обратном направлении. Наличие временной калибровки развертки осциллографа позволяет построить функцию  $H(t)$  по измерениям амплитуды сигнала, а отсюда и фазы поворота вектора поляризации в разные моменты времени. Наименее благоприятными для точности измерения этим методом являются углы поворота, близкие к  $\varphi = \pi/2$ , так как в этой области амплитуда сигнала, пропорциональная  $\sin^2\varphi$ , слабо зависит от угла. При втором методе регистрации, показанном на рис.4, сигнал с ФЭУ подается на усилитель вертикального отклонения, а на горизонтальный - сигнал с интегрирующей цепочки индукционного датчика, помещенного в месте расположения тяжелого флинта. Этот сигнал пропорционален полю, а сигнал с ФЭУ пропорционален  $\sin^2\varphi$ , где  $\varphi$  пропорционально  $H$ .

Наблюдение на экране осциллографа участка синусоиды с постоянным периодом позволяет измерять угол, соответствующий максимуму поля с точностью  $\sim 0,3\%$  независимо от фазы сигнала. При несовершенстве интегрирующей цепочки или наводках в ее цепи, а также при наличии наводок в цепи ФЭУ, прямой и обратный лучи в синусоиде не будут совпадать и будет наблюдаться раздвоение синусоиды. Это дает возможность контролировать наводки и совершенство цепей измерения. Отсутствие раздвоения синусоиды позволяет сделать вывод об отсутствии "гистерезиса" в эффекте Фарадея, наблюдавшегося в работе /2/. Авторы работы /2/ наблюдали в импульсных магнитных полях напряженностью до 400 кГс сдвиг угла поворота вектора поляризации луча гелий-неонового лазера при прямом и обратном ходе поля, причем сдвиг угла  $\Delta\theta$  при поле  $H_{max}/2$  составлял  $(2 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$  от максимального угла поворота вектора

поляризации. Отсутствие раздвоения сигнала на осциллограмме рис.4 означает, что  $\Delta\theta < 5 \cdot 10^{-3} \theta_{max}$ , то есть, что при полях до 800 кГс эффект "гистерезиса" мал, как это и предсказывается теорией эффекта Фарадея.

Во втором методе измерения магнитного поля использовался индукционный датчик со схемой частичной компенсации напряжения, представленной на рис.5. На этой схеме  $R_1$  соответствует сопротивлению индукционного датчика и подводящего кабеля длиной 50 м. Сопротивление  $R_2$  ставится для согласования волнового сопротивления кабеля. Потенциометры  $R_3$  и  $R_4$  обеспечивают грубую и плавную регулировку компенсирующего напряжения. Постоянное напряжение измерялось прибором Ш1412. При измерениях магнитного поля таким методом необходимо точно измерять площадь датчика и значение  $RC$  интегрирующей цепочки. Датчик из 12 витков был намотан на образец флинта проводом  $\varphi = 0,1$  мм. Точность измерения  $NS$  датчика прямыми измерениями и методом сравнения сигналов от рабочего и калибровочного датчиков составляла 0,2%.

Значение магнитного поля, измеренного таким методом, равно

$$H = \frac{R_1 + R_2'}{R_2'} \frac{RC}{10^{-8} NS} \left( U_c + \int_0^t \frac{U_c dt}{R_{эф} C} \right). \quad (3)$$

Здесь  $R_2' \approx R_2 R / (R_2 + R) \approx R_2$ ,  $U_c$  - напряжение на емкости интегрирующей цепочки,  $R_{эф}$  - эффективное сопротивление при разрядке емкости  $C$  ( $R_{эф} \approx R$ ).

Измерение параметров  $RC$ -цепочки проводилось по схеме, представленной на рис.6. Напряжение от генератора ГЗ-33 подавалось на омический делитель и  $RC$ -цепочку. Изменяя частоту генератора, добивались равенства показаний вольтметра. Значения величин сопротивления в омическом делителе измерялись мостом постоянного тока с точностью  $\sim 0,01\%$ . Частота измерялась частотомером ЧЗ-32 с точностью 0,01%. Для проверки метода были проведены измерения при разных делителях и, соответственно, при разных частотах. Результаты измерений одной из  $RC$ -цепочек представлены в таблице.

Делитель	$f_2$ , кГц	$RC$ , мсек
1 : 101,05	16,071	1,0007
1 : 201,10	32,026	0,9994
1 : 301,00	47,921	0,9997

Как видно из таблицы, максимальное расхождение полученных значений составляет 0,13%. Оно, в основном, связано с наличием собственной индуктивности у емкости и паразитными параметрами измерительных цепей.

На рис. 7а представлен сигнал, снятый с помощью схемы с частичной компенсацией напряжения. На осциллограф подавалось 10% полной амплитуды сигнала, точность измерения которой составляла 3 - 5%. При вычислении поля по формуле (3) учитывалось падение напряжения на диоде Д311 по измеренной предварительно вольтамперной характеристике. На рис. 7б показана зависимость поля  $H$  от времени, снятая с интегрирующей цепочки без схемы частичной компенсации. Точность измерения поля в этом случае составляла 3 - 5%. Использование схемы частичной компенсации увеличивает точность примерно на порядок, так как основная, компенсированная опорным напряжением, часть сигнала измеряется вольтметром постоянного тока с высокой точностью.

Измерение магнитного поля двумя методами в одном и том же месте импульсного магнита показало, что имеется хорошее совпадение результатов измерения:

$H=828$  кГс - по эффекту Фарадея;

$H=826$  кГс - по схеме с компенсацией,

находящихся в пределах 0,5% ошибок измерения. Поскольку при измерениях поля по эффекту Фарадея использовалась константа Верде, полученная в магнитных полях малой напряженности, это совпадение означает, что до полей  $\sim 1$  МГс константа Верде не зависит от напряженности поля с точностью  $\sim 0,5\%$ . В работах [3,4], выполненных в полях до 1-2 МГс, независимость константы Верде от напряженности поля не превышала 2-7%.

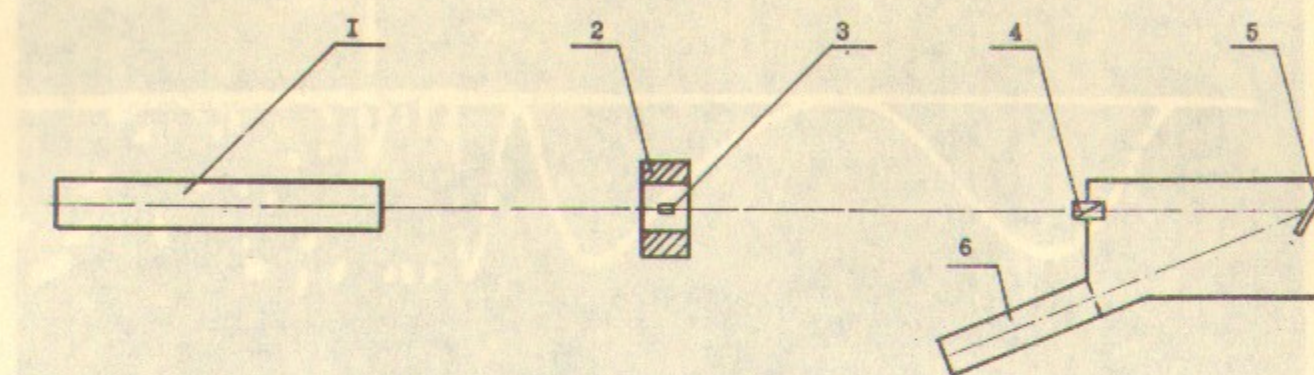


Рис.1. Схема установки для измерения магнитного поля по эффекту Фарадея: 1 - лазер, 2 - импульсный магнит, 3 - образец из тяжелого флинта, 4 - анализатор, 5 - дифракционная решетка, 6 - ФЭУ.

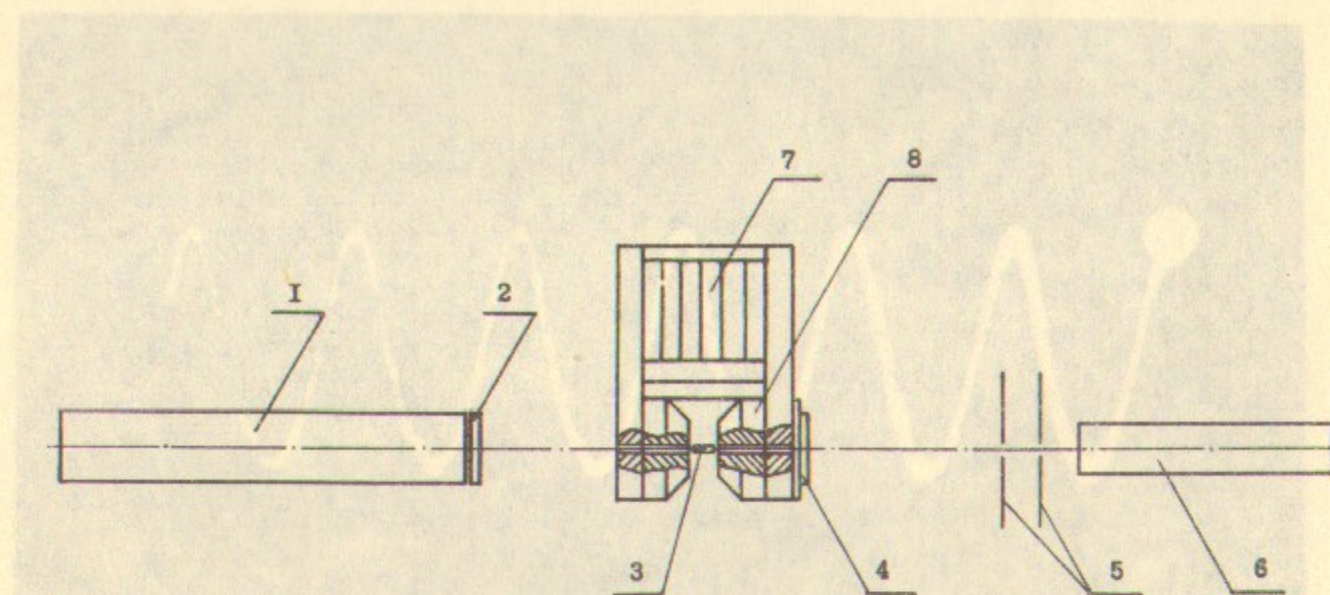


Рис.2. Установка для измерения постоянной Верде: 1 - лазер ЛГ-56, 2 - поляризатор, 3 - образец из стекла ТФ-7, 4 - угломер с анализатором, 5 - диафрагмы, 6 - фотоумножитель ФЭУ-15А, 7 - пластины из магнито-твердого материала, 8 - полюса магнита.

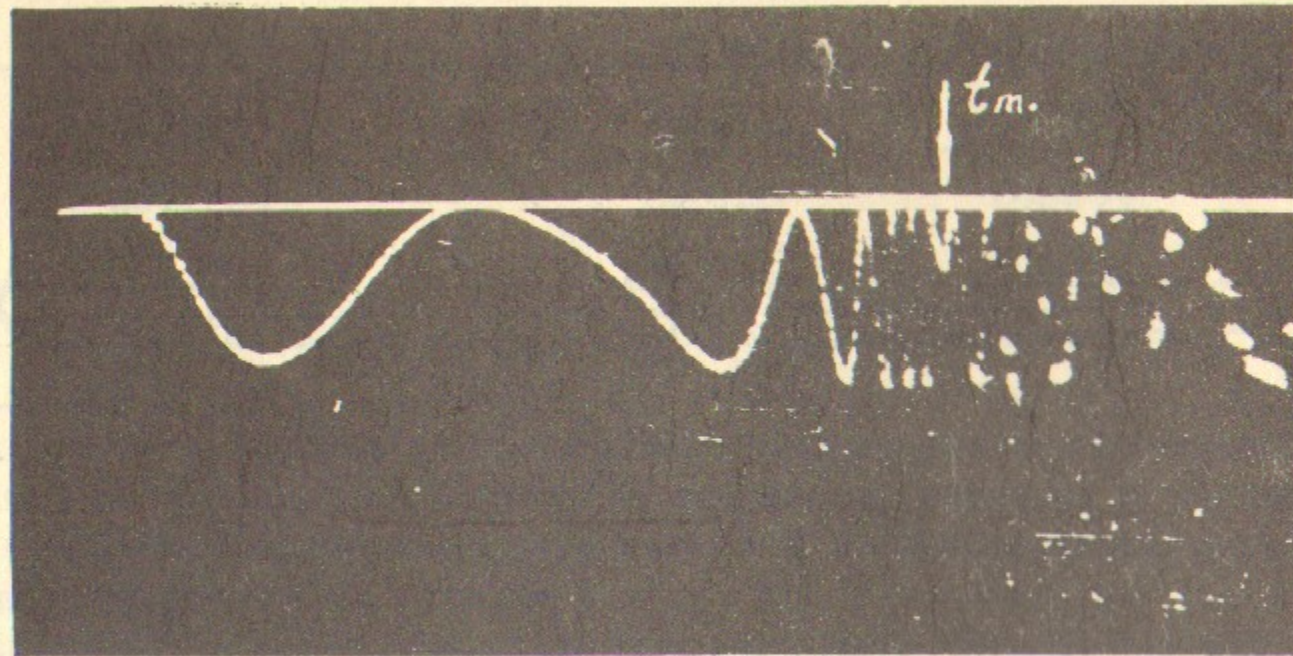


Рис. 3. Зависимость сигнала с ФЭУ от времени.  
 $t_m$  - момент максимума магнитного поля.

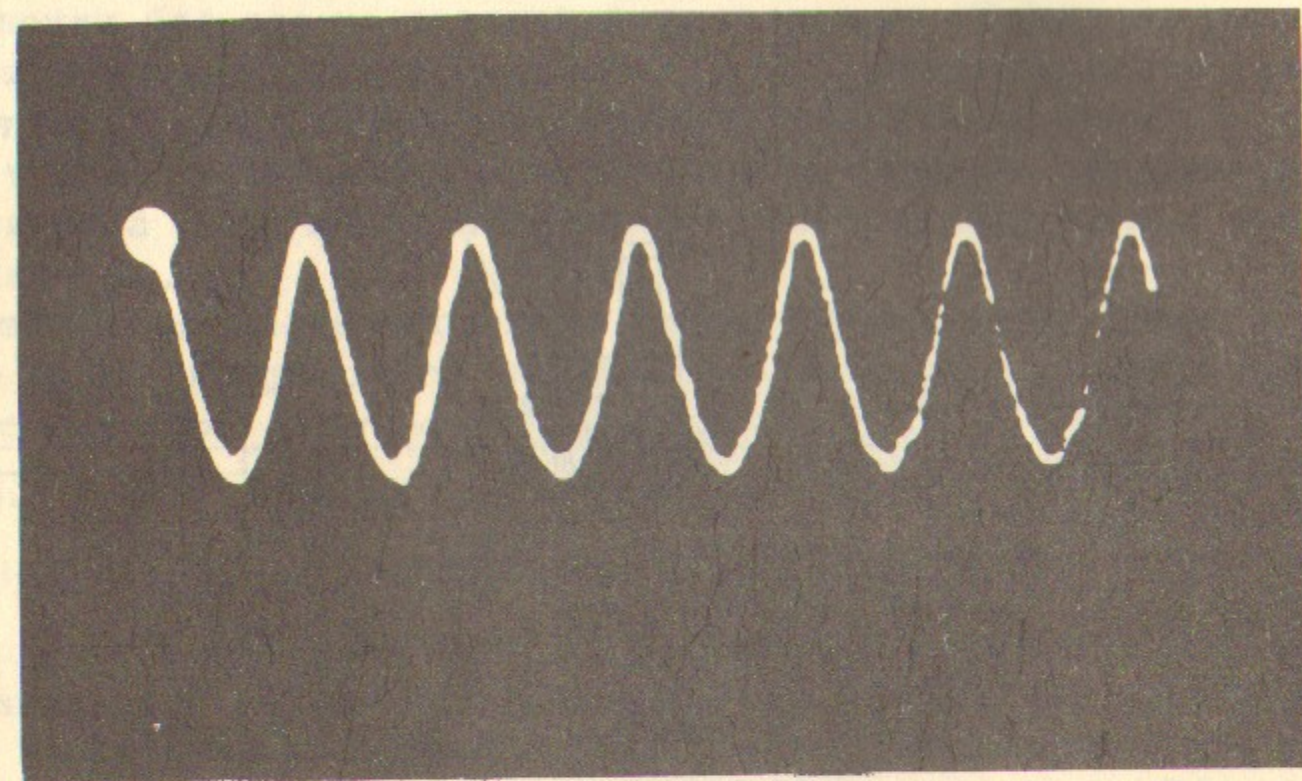


Рис. 4. Зависимость сигнала с ФЭУ от величины магнитного поля.

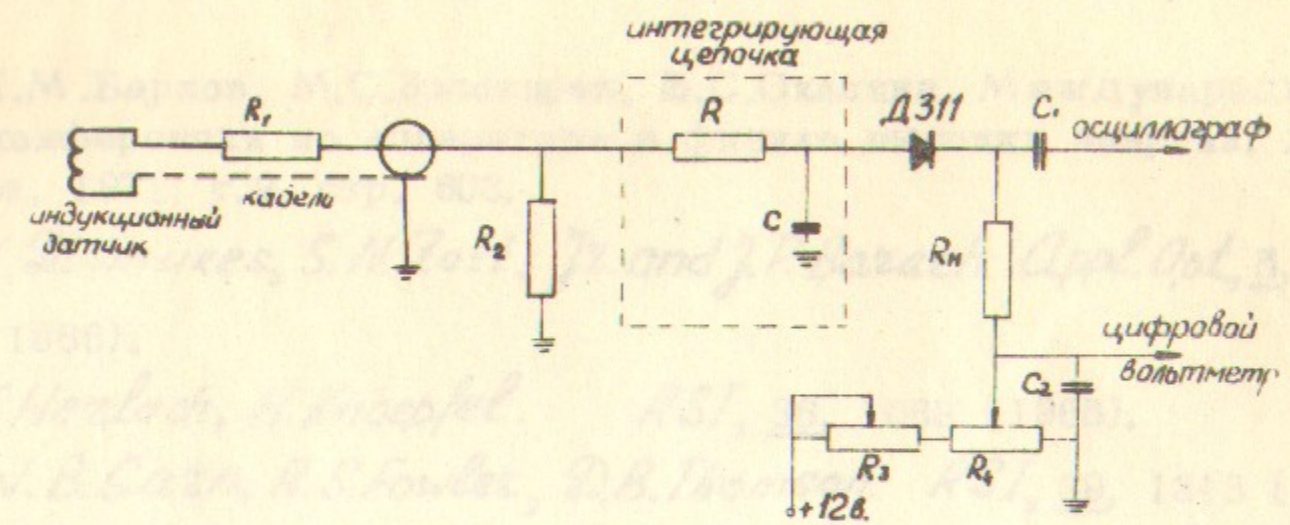


Рис. 5. Схема измерения магнитного поля индукционным датчиком.  $R_1 = 3,5 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 75 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 390 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 27 \text{ Ом}$ ,  $R_H = 5,1 \text{ кОм}$ ,  $C_1 = C_2 = 1 \text{ мкф}$ .  
 $RC = (1,000 \pm 0,001) \text{ мксек}$ .

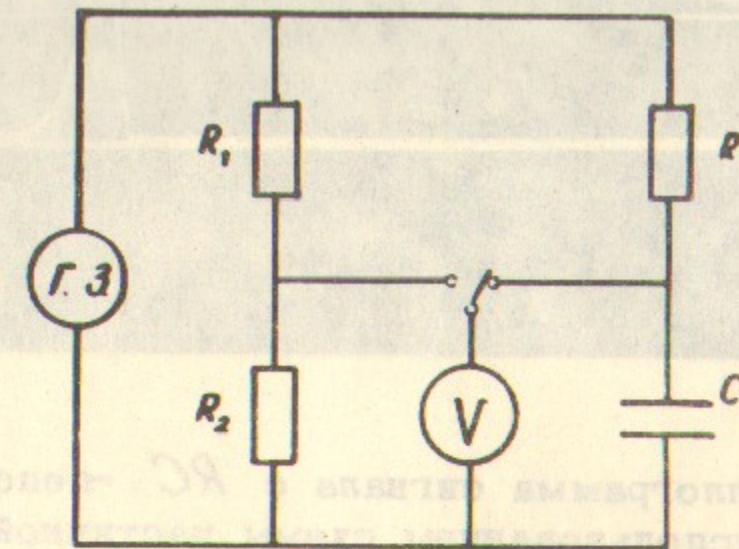


Рис. 6. Схема измерения параметров  $RC$  цепочки.  
 ГЗ - звуковой генератор, V - вольтметр, R, C - сопротивление и емкость  $RC$  - цепочки,  $R_1$  и  $R_2$  - плечи омического делителя.

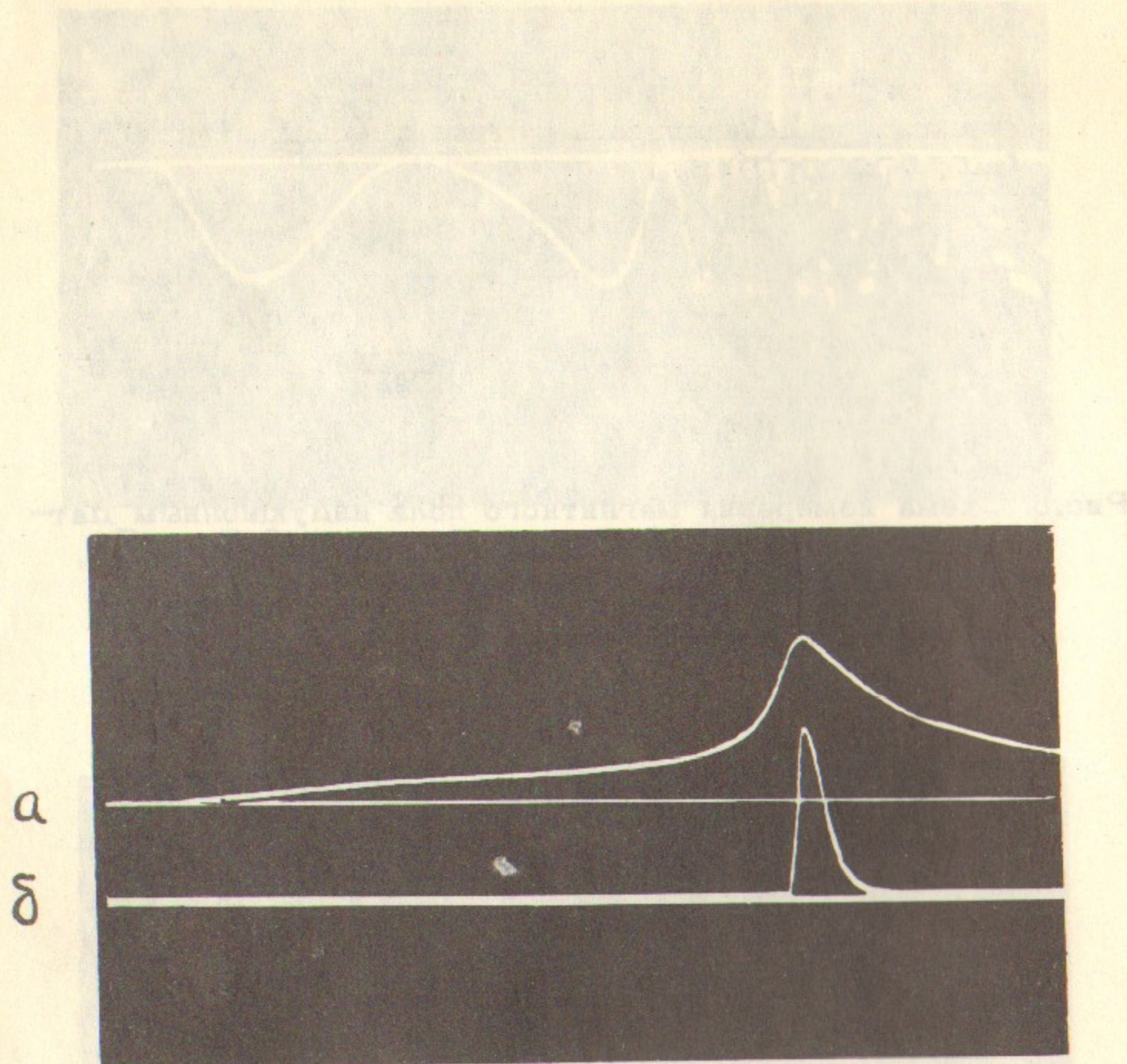


Рис.7. Осциллограмма сигнала с  $RC$ -цепочки, снятая использованием схемы частичной компенсации (а) и без нее (б).

### Литература

1. Л.М.Барков, М.С.Золоторев, В.С.Охапкин. Международная конференция по аппаратуре в физике высоких энергий. Дубна, 1971, т.2, стр. 603.
2. K. Dismukes, S. N. Zott, Jz. and J. P. Barach. *Appl. Opt.*, 5, 1246 (1966).
3. F. Herzlach, H. Knoepfel. *RSI*, 36, 1088 (1965).
4. W. B. Gazn, R. S. Fowler, D. B. Thomson. *RSI*, 39, 1313 (1968).

I. M. Baxko, M. C. Zolotarev, N. C. Oshchinnik, *Механические свойства полимеров*, М., 1971, кн. 2, стр. 603.

A. K. Szymanski, S. M. Jett, *J. Appl. Polym. Sci.*, 1968, 12, 2181.

A. E. Hurler, H. Knoke, *Kolloid Z.*, 1968, 241, 1088.

A. W. Eaton, R. S. Stein, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 1968, 6, 1013.

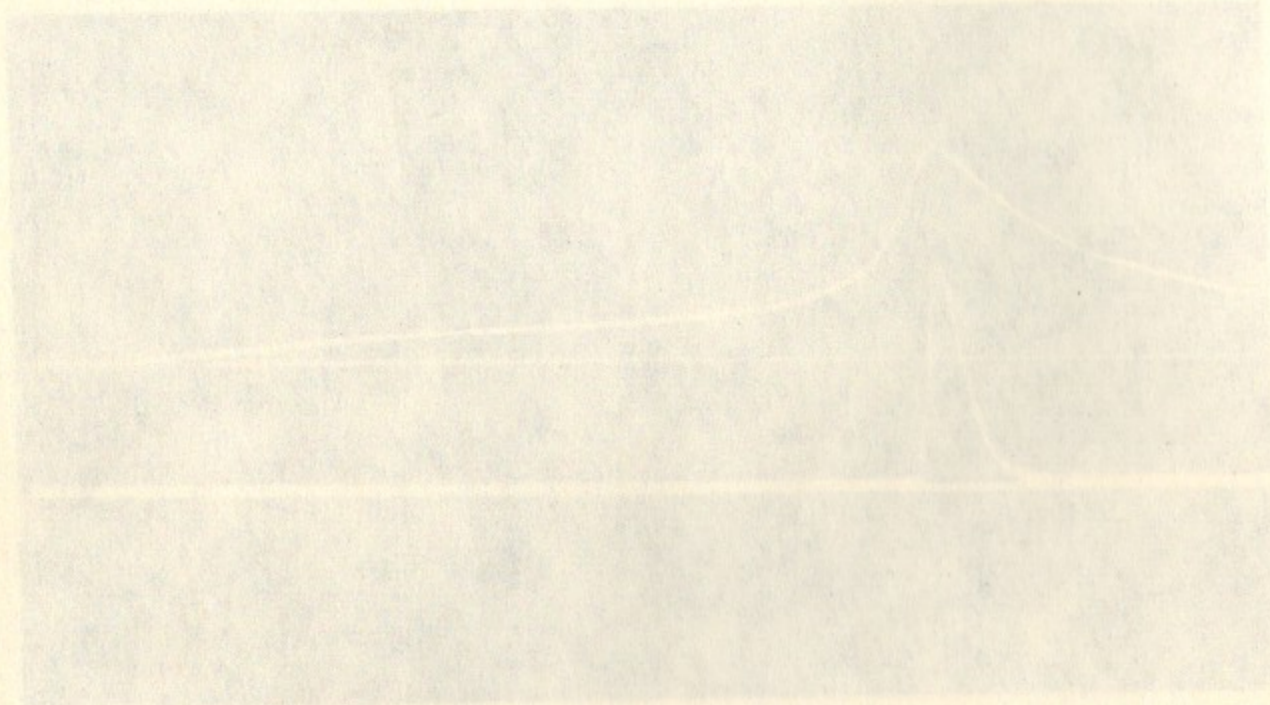


Рис. 7. Осциллограмма сигнала с датчика, связанного с датчиком температуры, при нагревании образца полимера.

Ответственный за выпуск С.Н.РОДИОНОВ  
 Подписано к печати 5.V-74г. МН 08279  
 Усл. 0,7 печ. л., тираж 150 экз. Бесплатно  
 Заказ № 18

Отпечатано на ротационной машине в ИЯФ СО АН СССР, тв