

1

АКАДЕМИЯ НАУК СССР СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕДЛЕННЫХ
ПОЗИТРОНОВ С АТОМАМИ ГЕЛИЯ
С.Н. Родионов, Б.П. Санников
препринт 274

С.Н.Родионов, Б.П.Санников

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
МЕДЛЕННЫХ ПОЗИТРОНОВ С АТОМАМИ ГЕЛИЯ

равны $2,5 \cdot 10^{-18}$ см².

Новосибирск

1969

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕДЛЕННЫХ ПОЗИТРОНОВ С АТОМАМИ ГЕЛИЯ

С.Н.Родионов, Б.П.Санников

АННОТАЦИЯ

Методом электрического дрейфа измерено сечение упругого рассеяния медленных позитронов в гелии, которое оказалось равным $2,5 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$.

Г.И.Будкер / I / указал на принципиальную возможность создания сильноточного источника монохроматических позитронов. Идея заключается в том, чтобы замедлить в газовой мишени до тепловых или околотепловых скоростей значительную часть позитронов, образующихся в твердом радиаторе в результате конверсии электронов с энергией несколько Мэв. Позитроны затем вытягиваются из мишени сильным электрическим полем и ускоряются.

Для осуществления этой идеи необходимо определить характер взаимодействия медленных позитронов с атомами газовой мишени: измерить сечение рассеяния, вероятность образования позитрония и т.д. Полученные данные помогут оптимально выбрать параметры газовой мишени: сорт газа, его давление, размеры мишени и т.п.

Исследование взаимодействия позитронов с различными газами проводилось на установке, схема которой показана на рис. I. Пояснения приводятся под рисунком. Позитроны аннигилировали на мишени, расположенной на расстоянии 60 см от радиоактивного источника Na^{22} . Аннигиляционные γ -кванты регистрировались с помощью сцинтилляционных счетчиков, включенных в схему двойных совпадений и расположенных друг против друга с обеих сторон мишени. Как правило, для каждой экспериментальной точки наблюдалось не менее 10^4 совпадений.

С помощью вставленного внутри стеклянной камеры делителя, состоявшего из колец, соединенных сопротивлениями, можно было создать продольное электрическое поле. Для увеличения светосилы внутри камеры создавалось также продольное магнитное поле, близкое к однородному, с максимальной напряженностью 750 эрстед. Большая часть экспериментов проведена с полем 500 эрстед. Предварительно камера откачивалась до давления 10^{-5} тор. Измерение давления газа, напущенного в камеру, производилось с помощью ртутного манометра.

На рис. 2 показано изменение относительной скорости счета позитронов, дошедших до мишени в магнитном поле при отключенном электрическом поле, в зависимости от давления для различных газов. Скорость счета остается постоянной до некоторого давления p_0 (это соответствует процессу замедления), а затем уменьшается в результате различных эффектов: поперечная диффузия, образования позитрония, свободная аннигиляция и т.п. Произведение $p_0 Z$ падает с увеличением Z , что указывает на значительное увеличение поперечной диффузии в тяжелых газах. Быстрый спад скорости счета в двухатомных газах свидетельствует, по-видимому, о появлении добавочного механизма образования позитрония в результате химических реакций медленных позитронов. Это наблюдается при таких давлениях газа, когда по оценкам ионизационных потерь происходит полное замедление основной части спектра позитронов.

Приложение продольного электрического поля не вызывало никаких заметных изменений скорости счета во всех газах за исключением гелия.

На рис. 3 показана зависимость относительного увеличения скорости счета позитронов от величины продольного электрического поля при разных давлениях гелия (соответствующих полному замедлению значительной части спектра позитронов). Увеличение скорости счета с увеличением напряженности E можно объяснить дрейфом к мишени замедленных в газе позитронов. Максимум скорости счета соответствует такому значению E/p (одинаковому для всех давлений и равному $4,5 \text{ см}^{-1} \text{ атм}^{-1}$), при котором согласно [2,3] начинается образование позитрония в электрическом поле. С этим процессом, по-видимому, и связано дальнейшее уменьшение скорости счета. Изменение знака электрического поля слегка уменьшало общую скорость счета.

Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. За время жизни τ позитрон в электрическом поле E пройдет расстояние вдоль поля, равное

$$L_E = u\tau \quad \left(\tau = \frac{1}{nZ\pi r_0^2 c} \right)$$

где u — скорость дрейфа, определяемая в соответствии с теорией подвижности как $a_1 \frac{eE\lambda}{m\nu}$ (λ — длина свободного пробега, которую мы принимаем не зависящей от энергии, a_1 — численный коэффициент порядка единицы). Средняя энергия позитрона в электрическом поле составляет $\varepsilon = \frac{m\nu^2}{2} = a_2 \left(\frac{M}{m}\right)^{1/2} eE\lambda$ ($a_2 \sim 1$). Отсюда легко получить выражения для сечения упругого рассеяния позитронов на атомах гелия σ_p и средней скорости позитронов, если взять для a_1 , и a_2 значения, следующие из распределения Драйвестейна ($a_1 = 0,83$; $a_2 = 0,43$):

$$\nu = \left(\frac{M}{m}\right)^{1/2} L_E n Z \pi r_0^2 c$$

$$\sigma_p = \frac{0,8 e E}{n^3 L_E^2 (Mm)^{1/2} (Z \pi r_0^2 c)^2}$$

На рис. 4 приведено относительное изменение скорости счета позитронов при передвижении мишени вдоль камеры при выключенном электрическом поле. Величина L_E определялась как расстояние, на которое надо передвинуть мишень, чтобы получить ту же скорость счета, что и при включенном электрическом поле. Результаты расчета приведены в таблице (указанное значение E соответствует максимальной скорости счета).

P (Тор)	280	410	510
$10^{19} n$ (см ⁻³)	1	1,45	1,8
E ($\frac{В}{СМ}$)	$1,7 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	$3 \pm 0,5$
L_E (СМ)	6 ± 1	5 ± 1	4 ± 1
$10^{-7} \nu$ ($\frac{СМ}{СЕК}$)	$7,8 \pm 1,3$	$9,4 \pm 1,9$	$9,3 \pm 2,3$
$10^{18} \sigma_p$ (СМ ²)	$3,6 \pm 1,6$	$2,5 \pm 1,2$	$2,5 \pm 1,6$

Как уже указывалось, приведенные в таблице результаты соответствуют одному и тому же значению E/ρ и, следовательно, одной и той же средней энергии позитронов (равной 2,5 эв). Некоторое отличие в данных при меньших давлениях может быть объяснено тем, что позитроны должны собираться с больших расстояний, а при этом увеличится поперечная диффузия.

Продольная диффузионная длина позитронов $L_{||} = \sqrt{\frac{4}{\pi} D_{||} \tau} = \sqrt{\frac{4}{3\pi} \lambda v \tau} = \frac{3 \cdot 10^{19}}{n}$ (для $\epsilon \sim 2,5$ эв), т.е. $L_{||} < L_E$. Это подтверждает предположение о том, что в опыте замечен эффект дрейфа в электрическом поле.

Для $\epsilon = 2,5$ эв, $H = 500$ э и $n \sim 1,5 \cdot 10^{19}$ отношение $\frac{\lambda}{\rho} \sim 2$, т.е. позитроны можно считать замагниченными. На рис.5 показана зависимость скорости счета позитронов от величины продольного магнитного поля ($E=0$). По оценкам при 500э ($n \sim 1,5 \cdot 10^{19}$) поперечная диффузионная длина оказывается равной, примерно, 2 см. Поскольку для замагниченных позитронов $L_{\perp} = \sqrt{4 D_{\perp} \tau} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{v \tau \rho^2}{\lambda}}$, можно оценить их среднюю энергию. Она оказывается равной 4 эв.

Полученные значения для σ_p находятся в хорошем согласии с результатами Дойча и Юза /2,3/, которые анализировали зависимость образования позитрония в гелии под действием электрического поля. Отметим, что в /2,3/ также предполагалось, что сечение σ_p не зависит от энергии. С другой стороны теоретические расчеты Аллисона и др. /4/ дают для величины полного сечения упругого рассеяния позитронов в гелии значение $9 \cdot 10^{-18}$ см² (при $\epsilon \sim 0$).

Принятое допущение о независимости величины сечений от энергии требует экспериментального подтверждения. Предполагается провести новые более точные эксперименты, а изложенные результаты рассматриваются как предварительные.

В заключение авторы благодарят Г.И.Будкера за постановку задачи и проявленное внимание и Е.П.Солодова за помощь в работе.

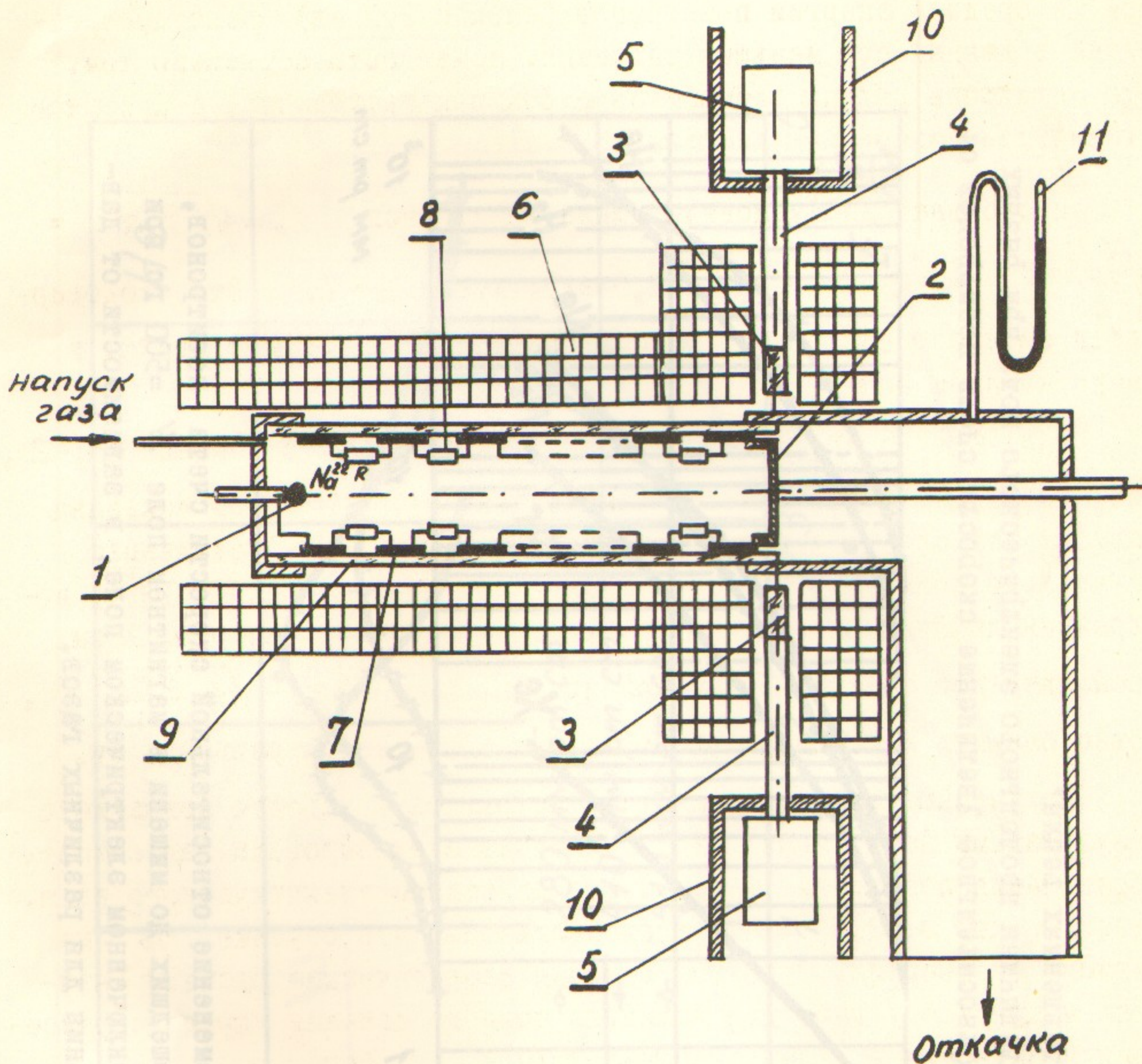


Рис. I. Принципиальная схема установки
 I-радиоактивный источник; 2-мишень; 3-сцинтиллятор;
 4-световод; 5-ФЭУ; 6-катушки магнитного поля;
 7-кольца делителя; 8-сопротивление делителя;
 9-стеклянная камера; 10-магнитные экраны; 11-манометр.

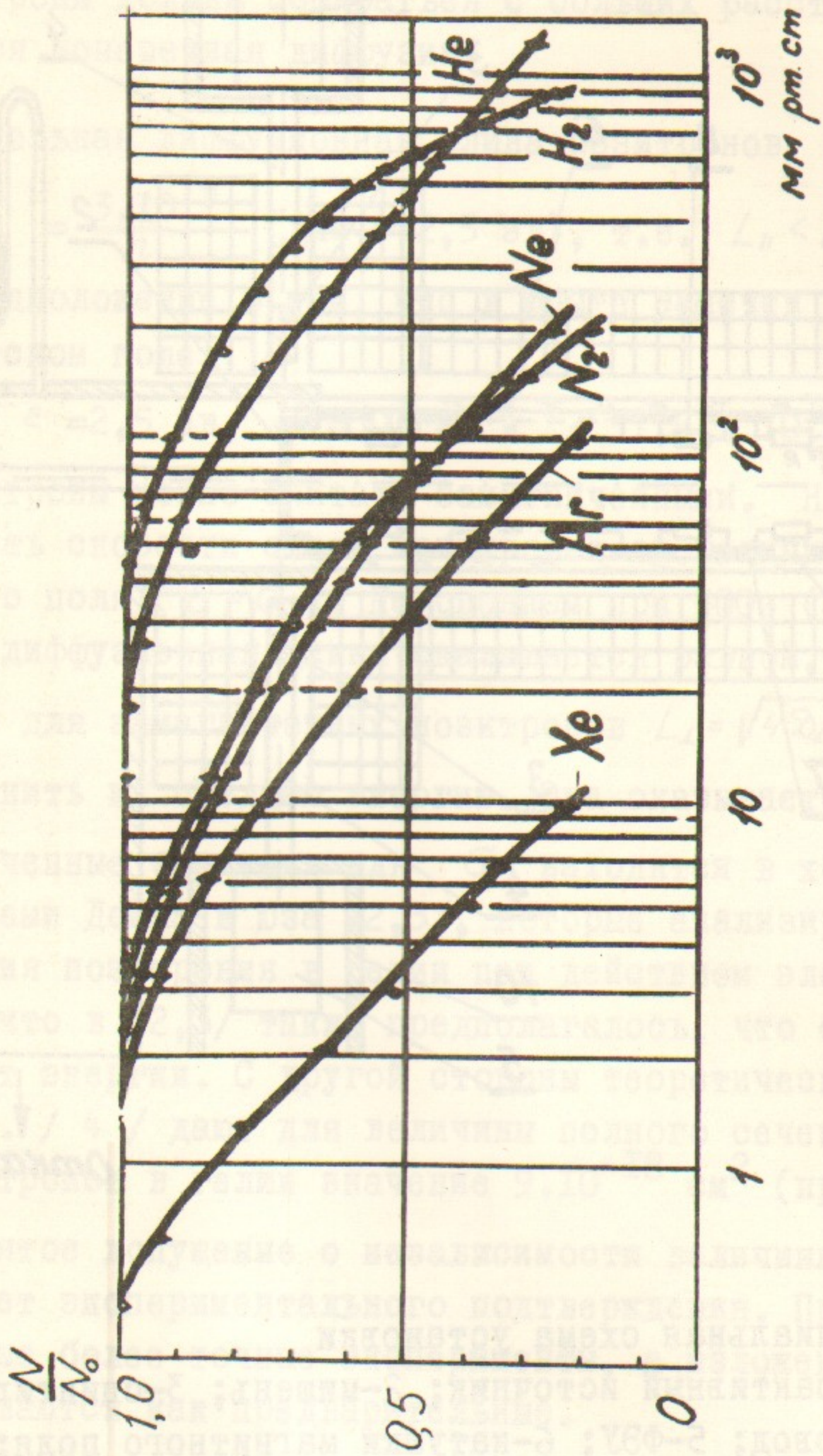


Рис.2. Изменение относительной скорости счета позитронов, дошедших до мишени в магнитном поле $H = 500$ Гс при отключенном электрическом поле, в зависимости от давления для различных газов.

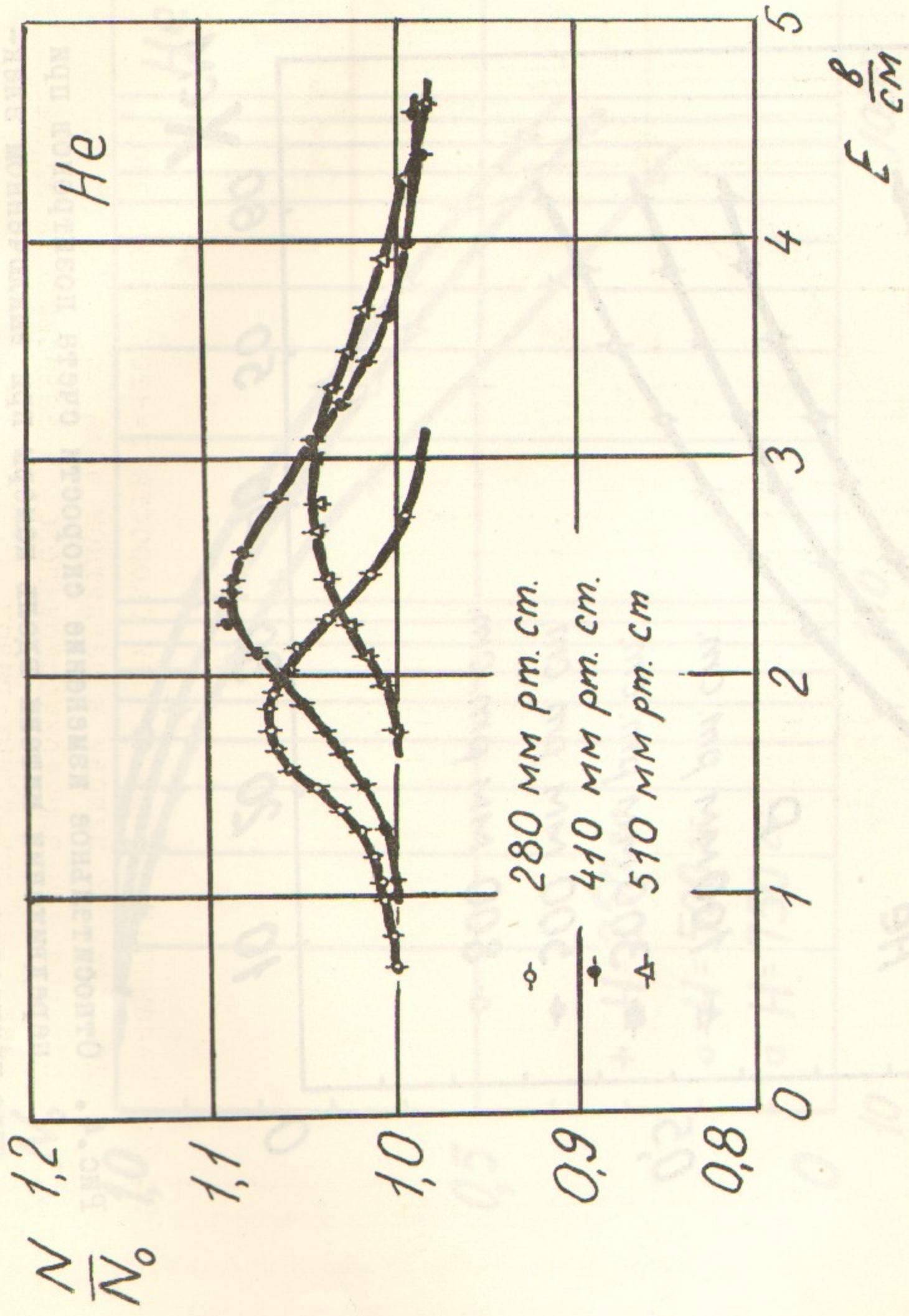


Рис. 3. Относительное увеличение скорости счета позитронов от величины продольного электрического поля при разных давлениях гелия.

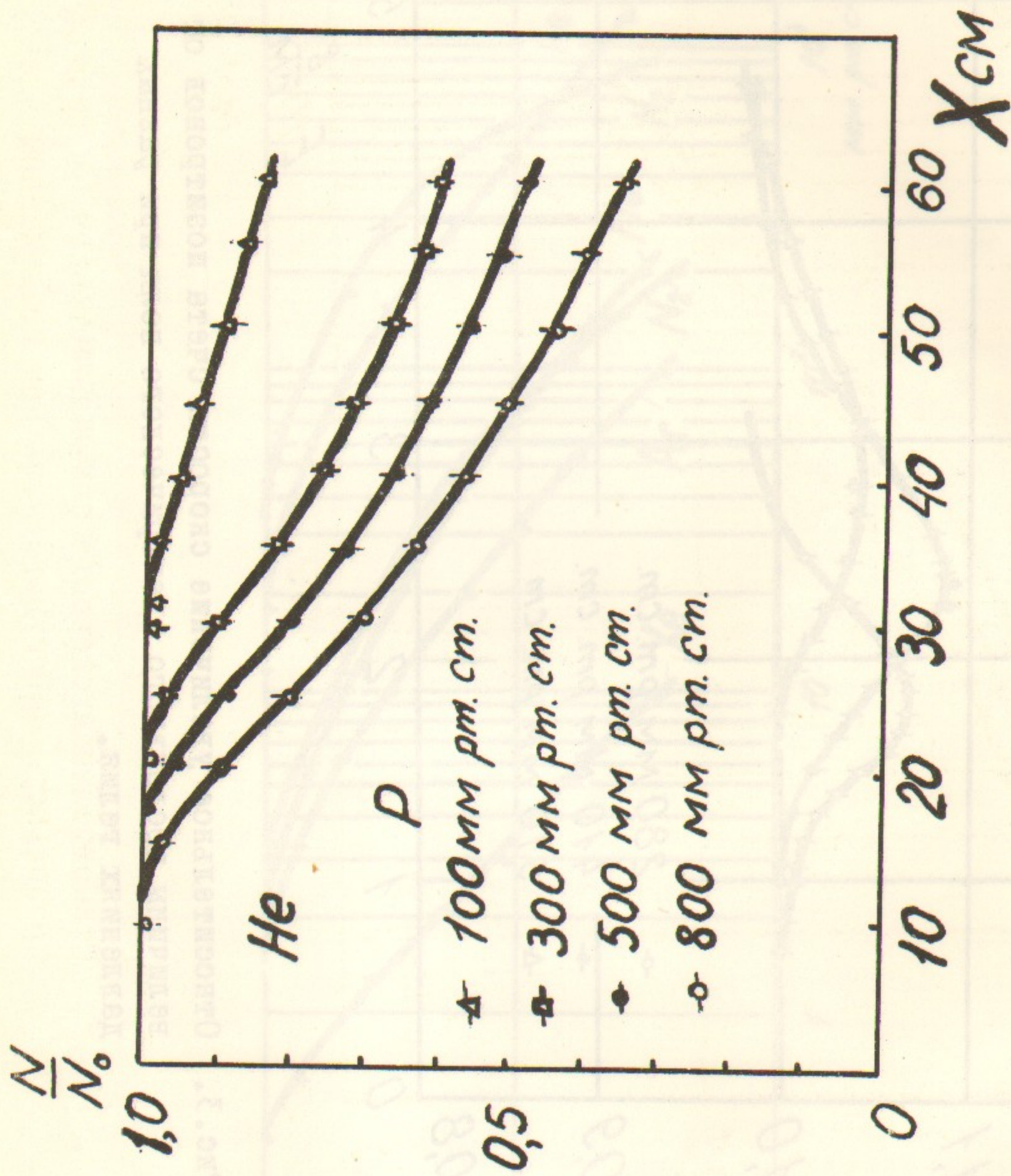


Рис. 4. Относительное изменение скорости счета позитронов при передвижении мишени вдоль камеры при выключенном электрическом поле.

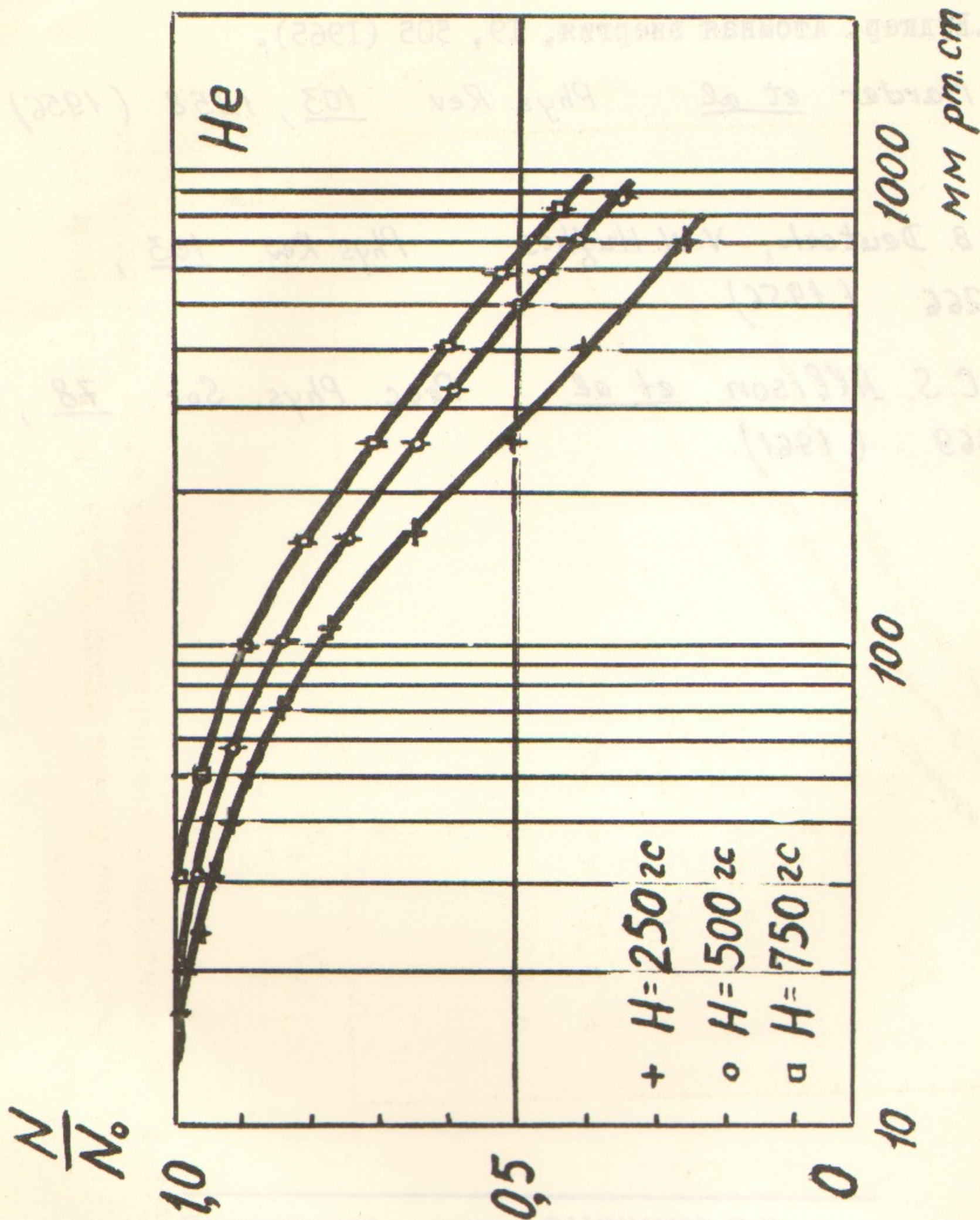


Рис.5. Относительная скорость счета позитронов от величины продольного магнитного поля при выключенном электрическом поле.

Л и т е р а т у р а

1. Г.И.Будкер. Атомная энергия, 19, 505 (1965).
2. S. Marder et al Phys. Rev. 103, 1258 (1956)
3. W.B. Deutsch, V.W. Hughes Phys. Rev. 103, 1266 (1956)
4. D.C.S. Allison et al Proc. Phys. Soc. 78, 1169 (1961)

Ответственный за выпуск САННИКОВ Б.П.

Подписано к печати 30.1-1969 г. Заказ № 274

0,4 печ.л., тираж 150 экз., бесплатно. вг

Отпечатано на ротаприте в ИЯФ СО АН СССР.