

30/ХІ-77.  
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН УССР

ХФТИ 77-41

П.И.ГЛАДКИХ, А.С.МАЗМАНИШВИЛИ, Л.В.РЕПРИНЦЕВ,  
П.И.ФИЛИППОВ

БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ФОТОНАМИ  
СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Харьков 1977

Работа посвящена экспериментальной проверке второго постулата специальной теории относительности (СТО), который, как известно, до сих пор не был подтверждён решающим опытом.

В работе приведены результаты прямого измерения скорости распространения синхротронного излучения релятивистских электронов, которые согласуются со вторым постулатом СТО. Содержание работы может оказаться полезным для широкого круга физиков-теоретиков.

## I. Введение

Наряду со всеобщим признанием специальной теории относительности (СТО) и подтверждением в опытах её следствий, в последние годы резко увеличилось число предложенных и реализованных экспериментов по проверке постулатов, лежащих в основе теории (/1+6/ и др.). Указанный рост количества этих экспериментов свидетельствует не только о возросшем желании проверить в опыте фундаментальные утверждения современной физики (что необходимо и из принципиальных соображений), но только о появлении новых экспериментальных средств и методов, но, в первую очередь, о том, что ни один из проведенных ранее экспериментов не является решающим.

В связи с неудачами попыток провести решающие эксперименты были предложены всевозможные обходные пути, из которых наибольшее распространение получили:

- заменить постулаты Эйнштейна другими постулатами, легко проверяемыми на опыте, например, зависимость  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$  /1/; при этом игнорируется факт, что указанную зависимость можно легко вписать не только в СТО, но и в другие гипотезы /2/;

- не расходовать силы на проверку постулатов, а удовлетвориться тем, что следствия из СТО подтверждаются практически во всех известных явлениях. Это предложение, пожалуй, наиболее распространено (см., например, /1/) несмотря на его нестрогость и на существование ряда спорно объясняемых, так называемых "парадоксов" СТО и некоторых физических явлений, необъяснимых с позиций этой теории, например, смещение периастроа двойных звёзд /2/. При этом все, конечно, понимают, что подлинно решающие эксперименты в этом вопросе необходимы и они будут в конце концов поставлены; тем более, что принципиальные затруднения ныне существуют только для проверки первого постулата СТО, а для проверки второго постулата возможны эксперименты, которые с полным правом могут считаться решающими.

В настоящей работе излагаются результаты эксперимента по измерению скорости распространения синхротронного излуче-

ния (СИ). В этом опыте используются, вероятно, наиболее наглядные и бесспорные процессы (излучение электронных пучков, движущихся со строго известными параметрами), а побочные явления, снижающие принципиальную "чистоту" эксперимента, исключены. К таким явлениям можно отнести погашение скорости при переизлучении света на пути к приемнику /2,8,9/; использование не до конца объяснённых или гипотетических эффектов, например, некоторых видов распада элементарных частиц /4/; наконец, использование, явное или неявное, самого второго постулата при логических заключениях. Так, в принципиально правильном опыте по измерению скорости распространения фотонов с энергией в несколько электронвольт и 7 ГэВ, проведенном на Стенфордском линейном ускорителе /5/, эти побочные явления могли возникнуть на наш взгляд из-за чрезвычайно большой (более 1300 метров) длины пролёта фотонов по трубе ускорителя. Это неизбежно должно привести к тому, что в оптическом диапазоне на призму, выводящую излучение из трубы, по крайней мере, частично приходили не прямые фотоны, а переотражённые от стенок и структур трубы. Кроме того, здесь не исключено погашение скорости фотонов за счёт их переизлучения на остаточном газе в трубе (см. ниже численные оценки).

Поэтому в опыте, проведенном на накопителе H-100 ХФТИ /10/, были предусмотрены специальные меры, исключающие возможность неоднозначного толкования полученных результатов. Главными из этих мер были:

- а) обеспечение максимальной простоты и наглядности схемы;
- б) проведение опыта в нескольких (в трёх) вариантах;
- в) использование оптических систем небольшой длины;
- г) исключение возможности переизлучений и переотражений всех видов.

Нами была поставлена следующая задача - используя синхротронное излучение релятивистских электронов в накопителе, непосредственно измерить значение  $v_{\phi}$  скорости распределения фотонов СИ: равняется ли оно  $c$ , как это принято в специальной теории относительности /11/, или превышает  $c$  на  $u$ , как следует из бодлиственной гипотезы Ритца /12,2/.

Здесь  $U$  - скорость движущегося источника - релятивистских электронов. С этой целью мы фиксировали время пролёта через некоторый пространственный промежуток фотонных пучков, непосредственно испущенных электронами, и фотонных пучков, претерпевших переизлучение.

## 2. Эксперимент с использованием двух фотоумножителей.

Блок-схема эксперимента с использованием двух фотоумножителей приведена на рис. 1. Электронный пучок, обращающийся по орбите в камере накопителя I, испускает в магнитных квадрантах 2 фотоны синхротронного излучения. Кванты СИ в этом эксперименте имеют возможность распространяться по двум каналам. По каналу I излучение следует внутри трубы длиной  $L_1 = 580$  см /13/, вакуумно соединённой с камерой накопителя, причём в этой трубе установлены диафрагмы с целью исключить излучение, отражённое от внутренних стенок /14/. Достигнув выходного кварцевого стекла 4а, СИ переизлучается и попадает в фотоумножитель 5а.

По каналу II фотоны СИ, испущенные в следующем квадранте накопителя (через интервал  $L_2 = 205$  см), попадают на поворотное зеркало 3, герметически отделенное от камеры тонкой стеклянной пластинкой. Претерпев на этих элементах переизлучения, фотоны второго пучка после пролёта трубы длиной  $L_3 = 210$  см (при атмосферном давлении) и стекла 4б регистрируются вторым фотоумножителем 5б. Сигналы с обоих фотоумножителей после усиления IO, подавались на вход стробоскопического осциллографа 6. В одном варианте запуск развертки осциллографа осуществлялся с помощью ВЧ-генератора накопителя 7, 8. В другом варианте осциллограф синхронизировался самими исследуемыми сигналами от фотоумножителей. Для идентификации временных интервалов и очередности следования сигналов использовалась линия задержки (9).

Таким образом, качественное отличие каналов I и II заключается в неодинаковых длинах свободного пролёта СИ от места их испускания до мест переизлучения. Время, затраченное фотонами на пролёт в канале I, равняется  $\tau_I = L_1/v_\phi$ , а в канале II -  $\tau_{II} = L_2/v + L_3/c = (L_2 + L_3)/c$ , поскольку для релятивистского электрона, имеющего энергию 70 МэВ, имеем

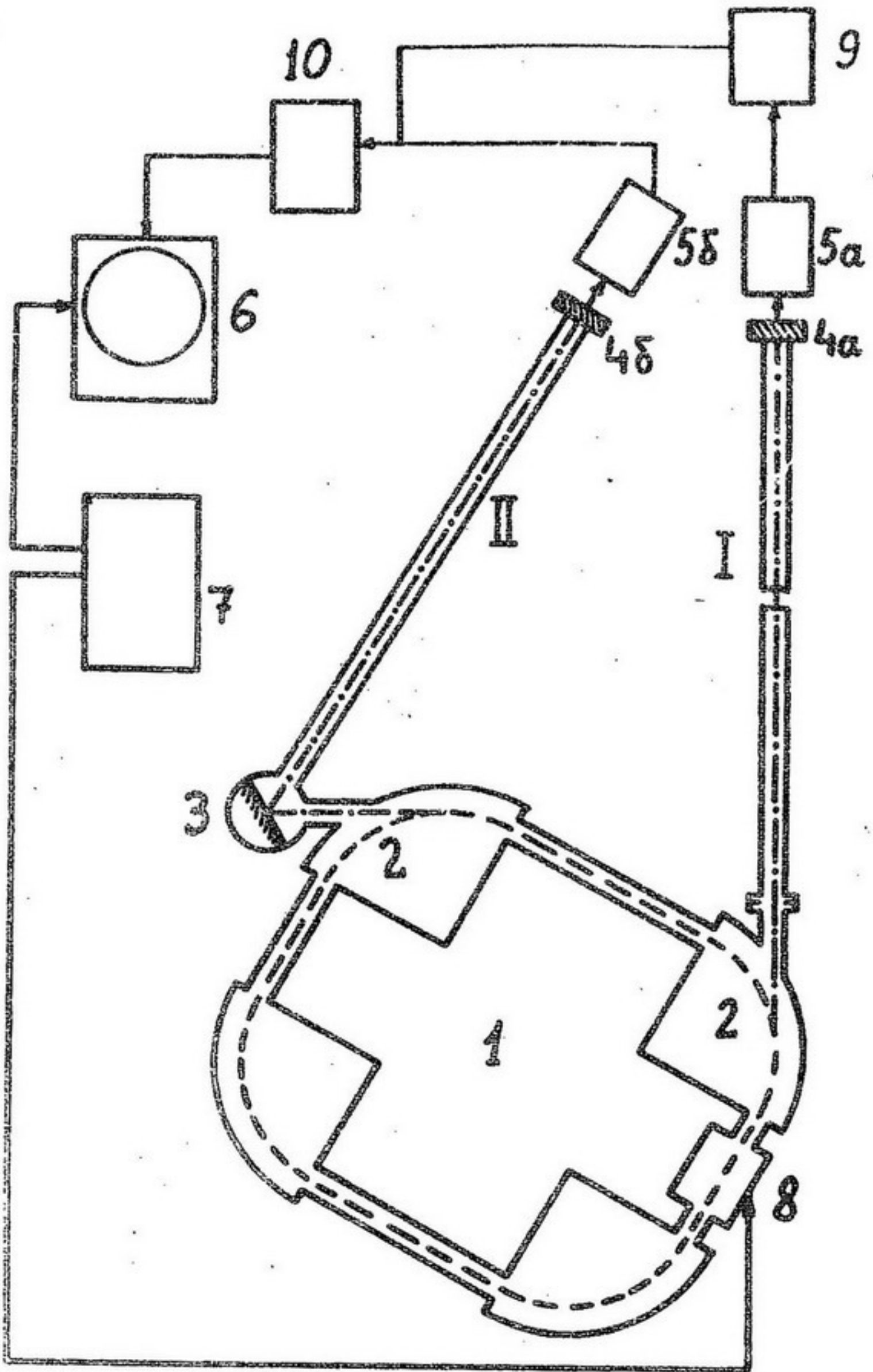
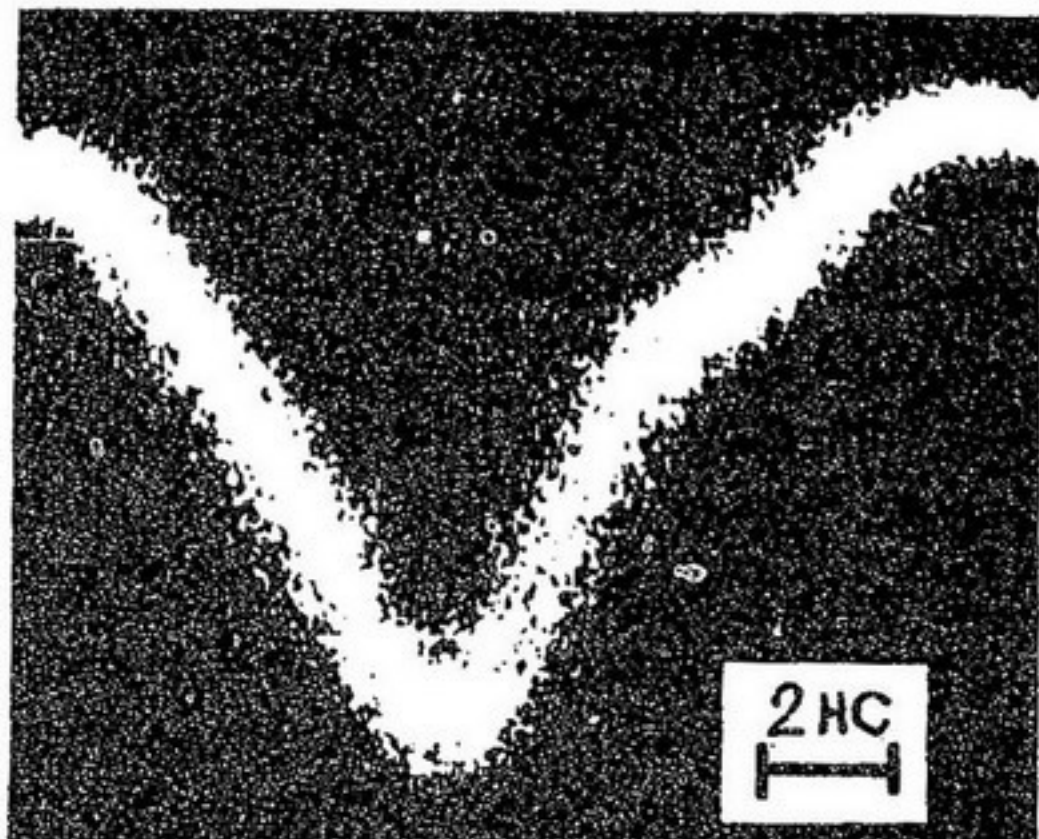
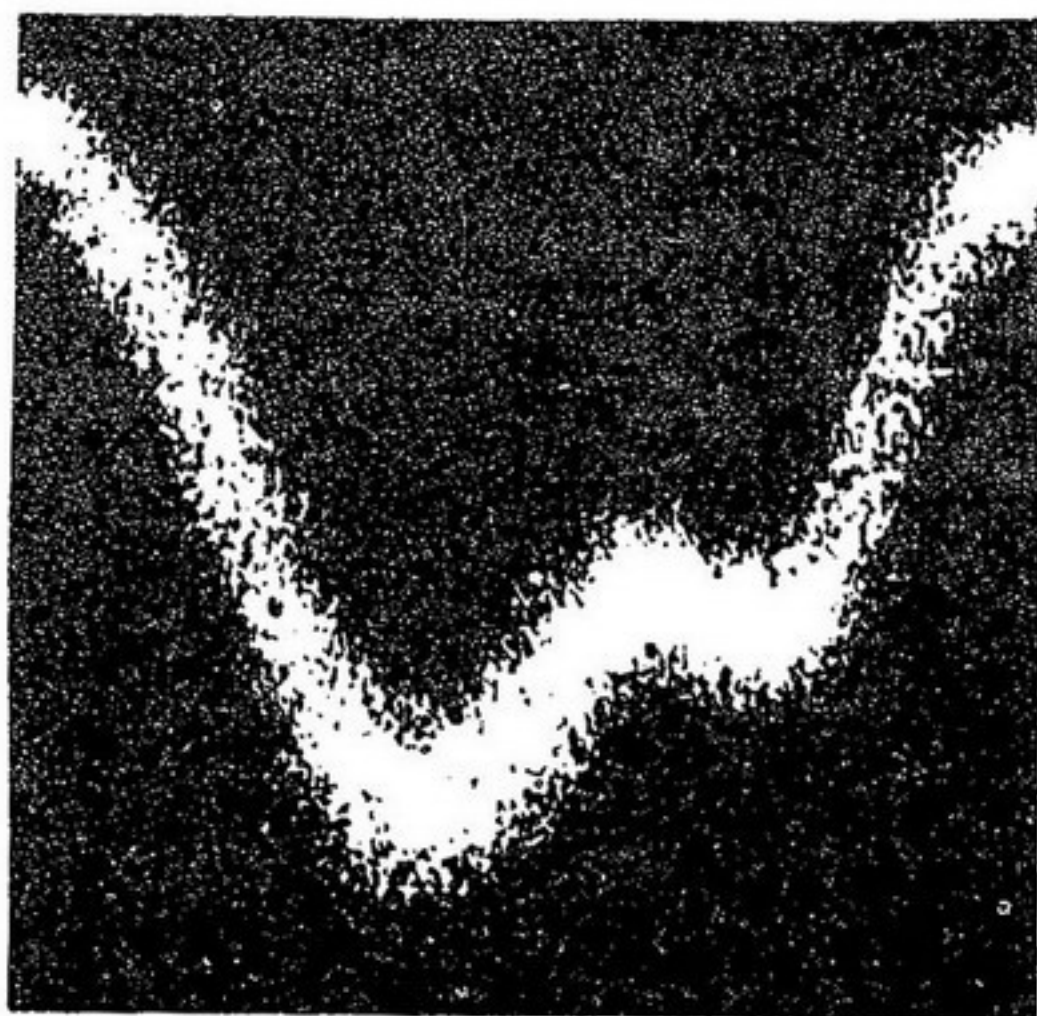


Рис. I. Схема эксперимента с использованием двух фотоумножителей



a



б

Рис. 2. Осциллограммы наблюдаемых сигналов.

$1 - v/c = 2,5 \cdot 10^{-5}$ , что лежит за пределами точности наших измерений. Разность времен пролёта  $\Delta \tau = \tau_I - \tau_{II}$  составляет таким образом  $\Delta \tau = -4,2$  нс (фотоны канала I приходят раньше) в рамках баллистической гипотезы и  $\Delta \tau = 5,5$  нс в рамках СТО (фотоны канала I приходят позже).

На рис. 2 приведены осциллограммы зарегистрированных сигналов. Текущее время на них возрастает слева направо. На верхней осциллограмме а виден сигнал с фотоумножителя 5б, который фиксирует фотоны, прошедшие канал II. На нижней осциллограмме б приведены сигналы с обоих фотоумножителей 5а и 5б совместно наблюдаемые на осциллографе 6. Видно, что сигнал, проходящий по каналу II, — первый, и что сигнал I отстаёт на 5,5 нс. Предварительно отобранная пара фотоумножителей ФЭУ-36 использовалась в этом эксперименте в одинаковых условиях, допускающих повторение опыта с перестановкой их местами. Рабочий вакуум в камере накопителя составлял  $1 \cdot 10^{-7}$  мм Hg.

Результаты измерений, проведенных в этом эксперименте, говорят в пользу СТО и не согласуются с баллистической гипотезой.

### 3. Эксперимент с использованием электронно-оптического преобразователя

В первом эксперименте фотоны СИ регистрировались двумя детекторами-фотоумножителями. С целью одновременного наблюдения обоих сравниваемых световых пучков нами был поставлен эксперимент с использованием электронно-оптического преобразователя (ЭОП'а). Блок-схема опыта представлена на Рис. 3. Электронный пучок, обращающийся по орбите накопителя I, испускает по касательной к своей траектории 2 фотоны СИ, которые имеют возможность распространяться по двум каналам. По каналу I излучения следует по трубе 3, длиной  $l = 100$  см, вакуумно соединённой с камерой накопителя, причём внутри этой длинной трубы установлены диафрагмы для устранения света, отражённого от её стенок. Достигнув кварцевого стекла 5, фотоны СИ переизлучаются и после поворота на зеркале 6, попадают на полупрозрачную призму 7. По каналу II фотонный пучок, пройдя короткую трубу 4, сразу попадает на кварцевое



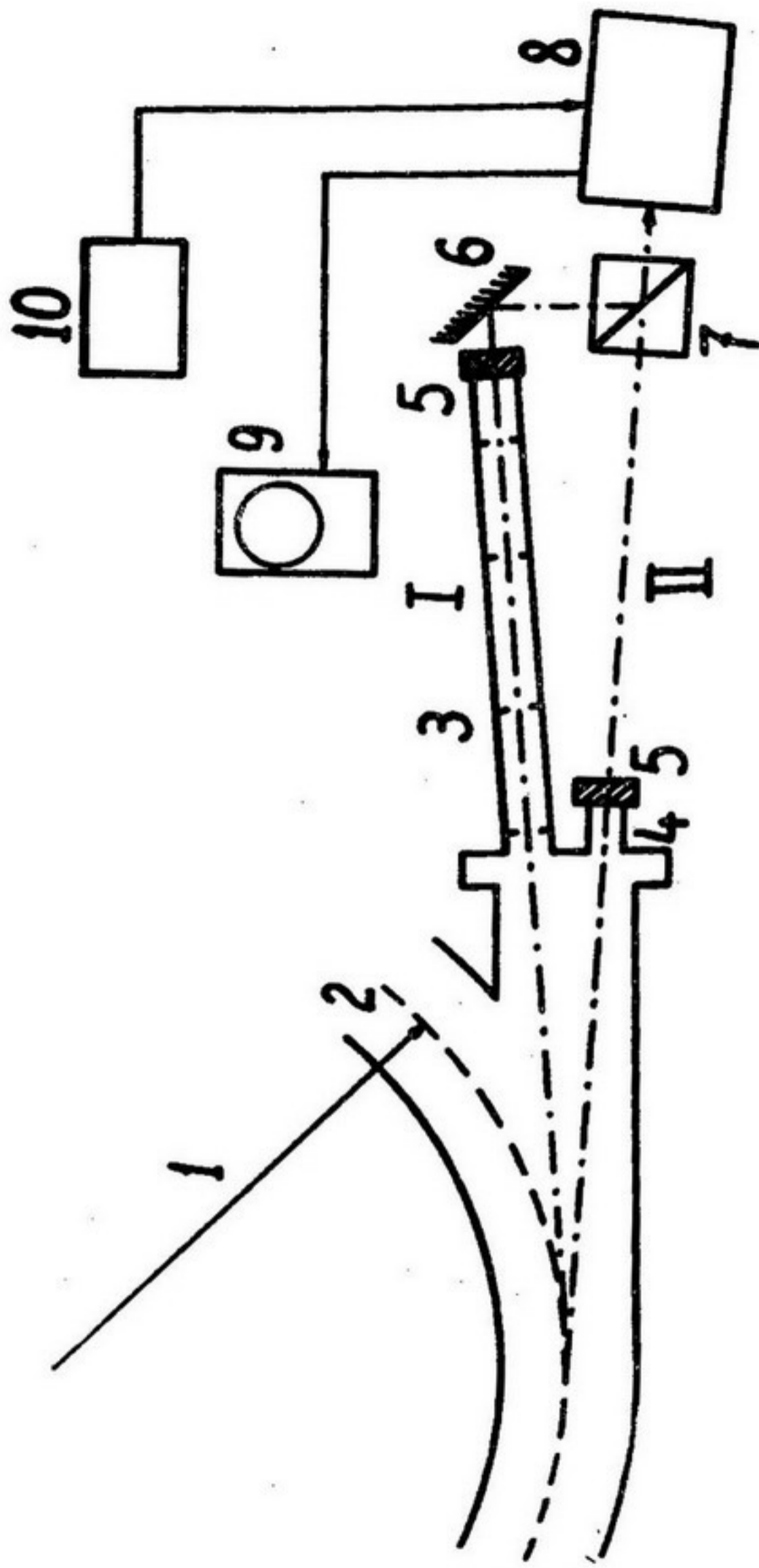
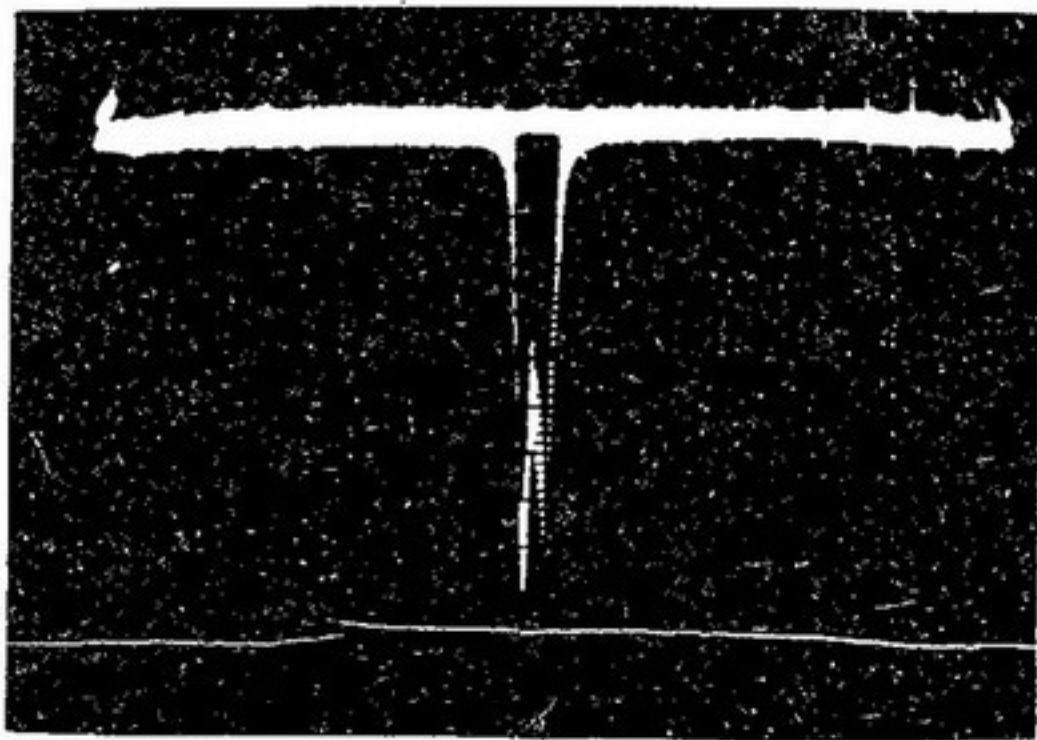


Рис.3. Схема эксперимента с использованием электронно-оптического преобразователя.

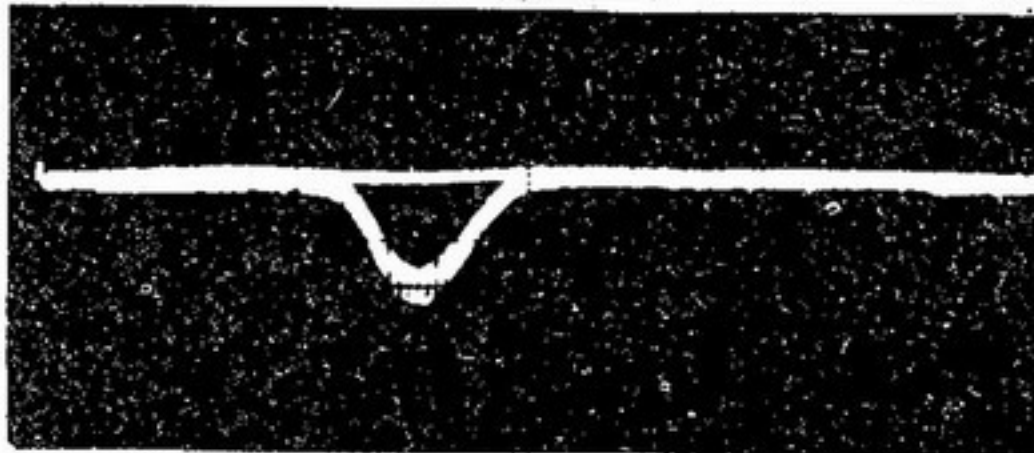
стекло 5. После переизлучения на этом стекле пучок II, распространяясь в атмосфере, также достигает призмы 7 и вместе с первым пучком с помощью объектива фокусируется на фотокатоде ЭОП'а 8. ЭОП был синхронизован от ВЧ-генератора накопителя 10, а видеосигналы регистрировались на осциллографе 9 /15/. Разность времён пролёта  $\Delta\tau = \tau_I - \tau_{II}$  в этом опыте с учётом расстояния  $l = 15$  см между зеркалом 6 и призмой 7 составляет  $\Delta\tau = -1,16$  нс (фотоны канала I приходят раньше) в рамках баллистической гипотезы и  $\Delta\tau = l/c = 0,50$  нс в рамках СТО (фотоны канала I приходят позже).

Качественное различие каналов I и II в этом эксперименте, как и в предыдущем, заключается в неодинаковой длине свободного пролёта фотонов СИ от места их испускания до мест переизлучения. Поскольку  $L = 100$  см, то разность времён пролёта, следующая из баллистической гипотезы должна равняться  $L/2c = 1,66$  нс.

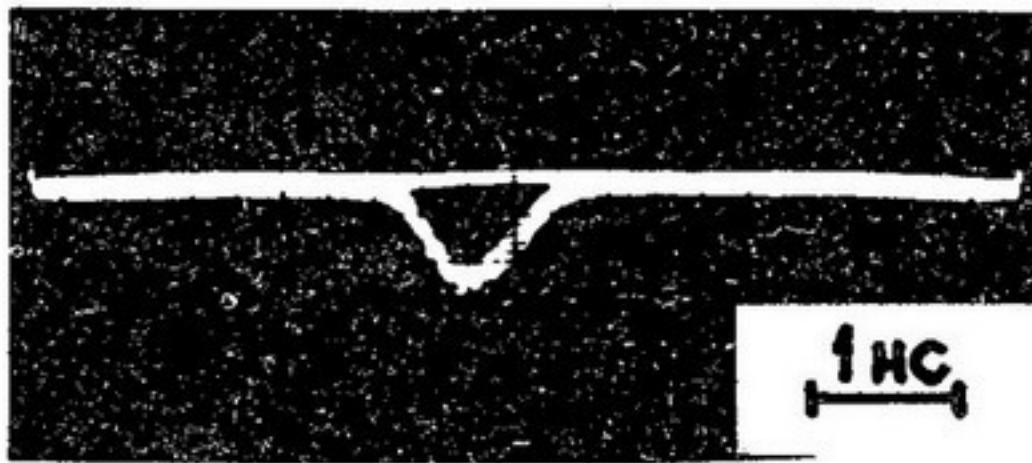
На рис.4 представлены осциллограммы наблюдаемых сигналов. На верхней осциллограмме а приведены сигналы от обоих каналов, регистрируемые ЭОП'ом в режиме без развёртки; сигнал от канала II более интенсивен. Поскольку условие совмещения изображений на фотокатоде ЭОП'а требует длительной визуальной постановки зеркала 6, и призмы 7, мы ограничились их приближённым совмещением. Приборная разность хода  $\tau_{II}$ , обусловленная этим несовмещением, как видно из осциллограммы рис.4а, составляет  $\tau_{II} = 0,15$  нс. Разрешающая способность прибора не хуже 0,10 нс. На следующих двух осциллограммах рис.4 приведены сигналы СИ, испускаемого электронным пучком и регистрируемого в канале II(б) и в канале I (в). Из них видно, что сигнал II приходит раньше и что, с учётом времени задержки  $\tau_{II}$ , фотонный пучок, проходящий по каналу I, отстаёт на 0,50 нс. Этот дополнительный временной интервал он затрачивает на прохождение пути от зеркала до призмы (см.рис.3). Калиброванная линия задержки в тракте развёртки ЭОП'а была использована для установления очередности следования сигналов и контроля временных интервалов. Рабочий вакуум в камере составил  $1 \cdot 10^{-6}$  мм Hg.



a



b



1нс

в

Рис.4. Осциллограммы наблюдаемых сигналов.

На рис. 5а показан калибровочный сигнал от развёртки тес-та - точечного источника света. Расстояние между максимумами составляет 6 нс. На осциллограмме б приведен суммарный сиг-нал от обоих каналов. На рис. 5 в показана форма сигнала для случая, когда фотоны в вакууме распространялись бы со ско-ростью  $C + U$ .

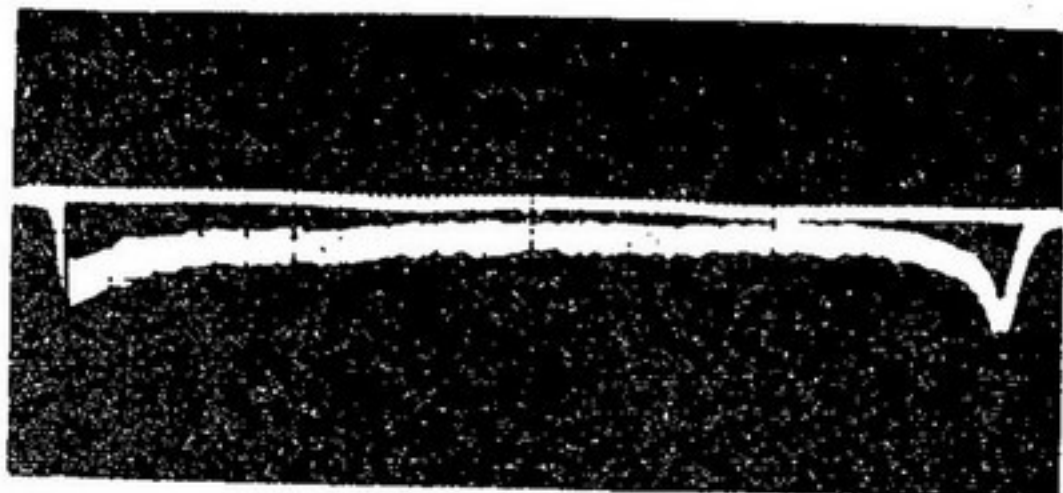
Результаты измерений, проведенных в этом эксперименте, так же, как и в предыдущем, говорят в пользу СТО и не согла-суются с баллистической гипотезой.

#### 4. Эксперимент с изменением плотности остаточного газа в камере накопителя

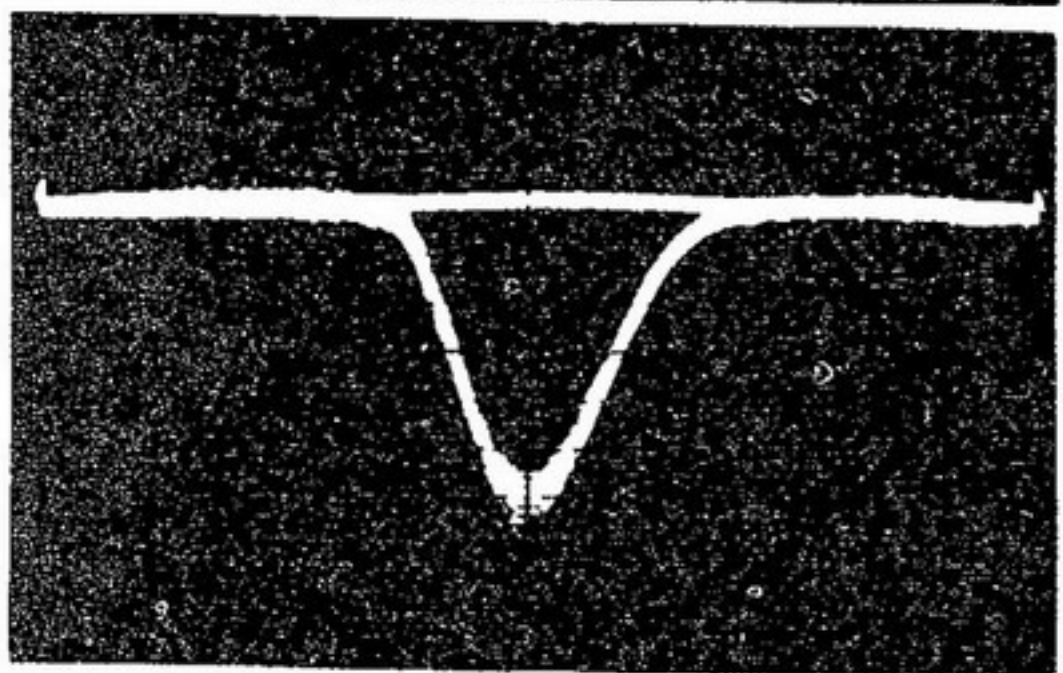
В приведенных выше экспериментах на тех пространственных промежутках, которые мы использовали для время-пролётных из-мерений, не было абсолютного вакуума. Естественным в этой связи является вопрос о переизлучении испущенных фотонов на атомах остаточного газа в камере. Более того, в случае значи-тельного показателя переизлучения на участке, примыкающем к месту испускания фотонов, приведенные выше эксперименты лиши-лись бы своего идеологического основания, поскольку по исход-ному предположению /2,16/ скорость распространения переизлу-ченных фотонов мы считаем известной и равной  $C$ .

Поэтому был проведен следующий эксперимент. Изменяя дав-ление в камере накопителя от  $2 \cdot 10^{-8}$  мм Hg до  $8 \cdot 10^{-6}$  мм Hg с помощью ЭОП'а проводилось наблюдение за сигналом, образо-ванным фотонным пучком в канале П (см. рис. 3). Если изменение числа материальных частиц в камере накопителя на два порядка обуславливает полное переизлучение, то согласно баллистичес-кой гипотезе видеосигнал должен был сместиться на 0,83 нс, поскольку расстояние от места излучения до стекла 5 со-ставляет 50 см. В результате наблюдений установлено, что ви-деосигнал не меняется по форме (при постоянном накопленном токе) и его положение во времени неизменно.

С целью получить численные оценки для такого эксперимен-та на ЭВМ был проведен следующий расчёт. В пренебрежении вре-менем переизлучения фотонов, был промоделирован процесс про-



a



б



в

Рис. 5.

лёт светового пучка на условном расстоянии  $L = 100$  см. Распределение пучка до влёта в этот промежуток было выбрано гауссовым с дисперсией 1 нс. Гистограммы, иллюстрирующие результат расчёта, приведены на рис.6 для случаев: 1 - отсутствие переизлучения; 3 - погашение скорости фотонов у места их испускания; 2 - промежуточный случай. Эти три случая соответствуют изменению числа  $N$  актов переизлучения ( $10^{-1}$ ; 1; 10 соответственно). С другой стороны, это число равно  $N = n\sigma L$ , где  $n$  - плотность атомов;  $\sigma$  - сечение переизлучения на этих атомах. Поскольку синхротронное излучение достаточно широкополосно, то мы можем воспользоваться численными оценками, полученными Биберманом в результате обработки данных, следующих из экспериментов Земанского и Бейтса /8/ (в своей работе Л.М.Биберман называет величину  $\sigma$  "сечением тушения"), а именно  $\sigma = 6 \cdot 10^{-16}$  см<sup>2</sup>. Отсюда следует, что среднее число актов переизлучения в первом приведенном эксперименте не превышало  $6 \cdot 10^{-3}$ , а во втором эксперименте - не превышало  $8 \cdot 10^{-3}$ . С учётом проведенного нами эксперимента с изменением давления в камере до восьмого порядка для среднего числа актов переизлучения имеем  $N \leq 6 \cdot 10^{-5}$ . В эксперименте /5/ эта величина при длине пролётного промежутка  $L = 1,3 \cdot 10^5$  см и давлении  $5 \cdot 10^{-7}$  мм Hg (/17/, стр. 888) составила  $N = 2,4$ ; что достаточно (см. рис.6) для полного переизлучения фотонов. Это побочное явление снижает достоверность заключения, приведенного в работе /6/, о чём упоминалось во Введении.

## 5. Заключение

Основные выводы работы можно сформулировать следующим образом:

- 1) проведено прямое измерение скорости распространения фотонов СИ релятивистских электронов;
- 2) проведенные опыты были выполнены при отсутствии явлений, снижающих принципиальную чистоту эксперимента;

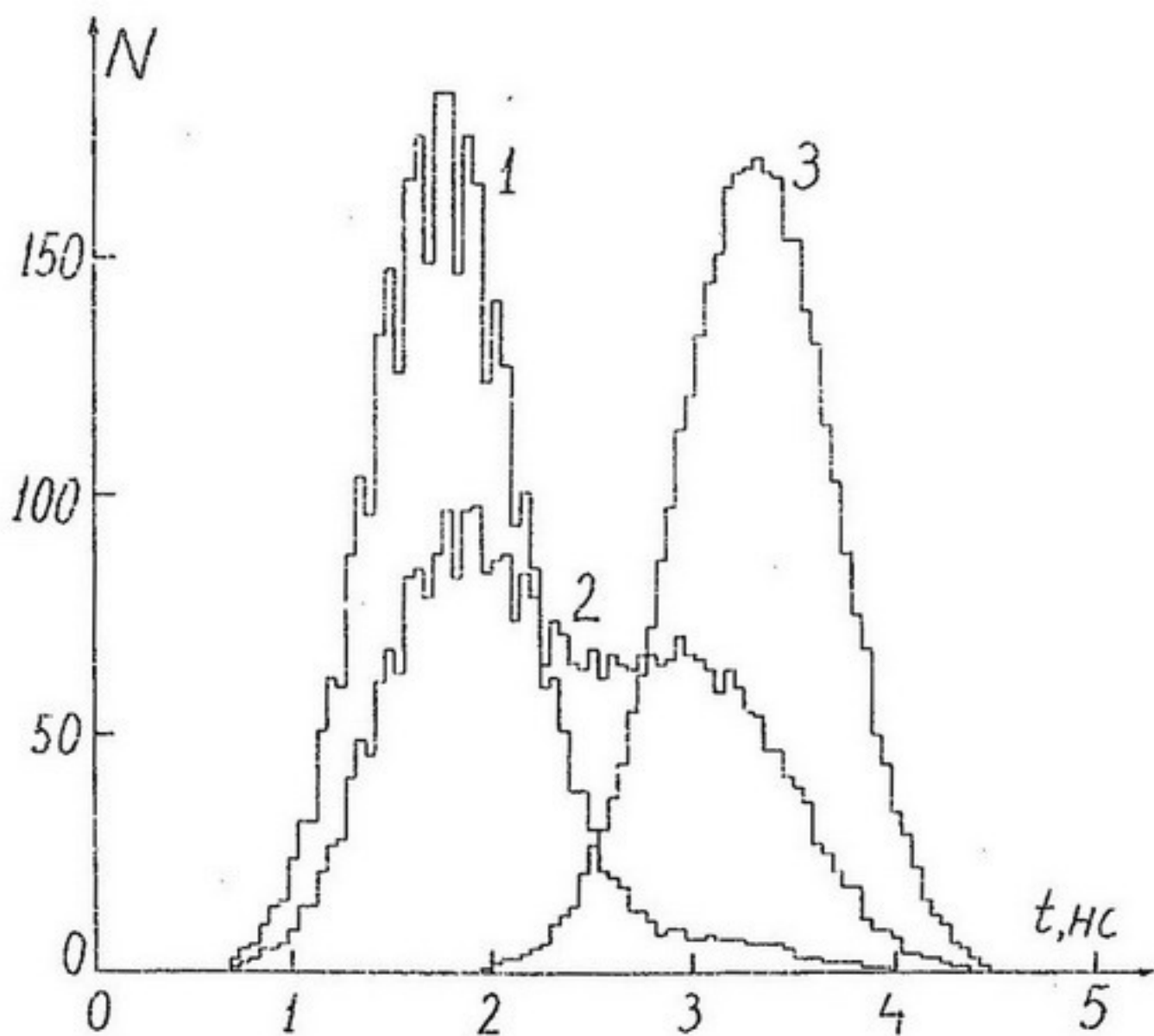


Рис. 6. Гистограммы временных импульсов, прошедших расстояние  $L = 100$  см:

1)  $N = 0,1$ ;

2)  $N = 1$ ;

3)  $N = 10$

3) результаты измерений не согласуются с баллистической гипотезой распространения света и соответствуют второму постулату специальной теории относительности.

Мы считаем своим долгом поблагодарить В.П.Козина, И.Н.Лебедева и Ю.В.Черкасского за помощь в подготовке и проведении экспериментов. Мы признательны А.И.Одинцову, Ю.П.Степановскому, А.П.Рекало, В.М.Медведеву, Ю.Н.Григорьеву, И.С.Гуку, Н.Н.Насонову, Н.Н.Наугольному, А.С.Тарасенко и А.М.Шендеровичу за полезные обсуждения. И.А.Гришаева и Н.И.Моченикова мы благодарим за доброжелательную поддержку работы.

### Литература

1. Франкфурт У.И., Френк А.М. Оптика движущихся тел. М., "Наука", 1972.
2. Fox J.G. Evidence Against Emission Theory. "Amer. Journ. of Phys." 33, 1, 1, 1965.
3. Васильев Б.В. Об экспериментальной проверке постулата изотропности скорости света. Препринт ОИЯИ № Р13-9411, 1975.
4. T.A. Filippas, Fox J.G. Velocity of Gamma Rays from a Moving Source. "Phys. Rev.", 135, B4, 1071, 1964.
5. Brown, B.C., Masek G.E., Maung T., Miller E.S., Ruderman H., Vernon W. Experiment Comparison of the Velocity of eV (Visible) and GeV Electromagnetic Radiation. "Phys. Rev. Lett.", 30, 16, 763, 1973.
6. Неменов Л.Л. Осцилляции интенсивности в пучках релятивистских позитронов и их применение для проверки специальной теории относительности. - "Ядерная физика", 1976, т. 24, № 2, с. 319.
7. Брюллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности. М., "Мир", 1972.
8. Биберман Л.М. К теории диффузии резонансного излучения. - "ЖЭТФ", 1947, т. 17, № 5, с. 416.
9. Fox J.G. Experimental Evidence for the Second Postulate of Special Relativity. "Amer. Journ. of Phys." 30, 297, 1962.



10. Григорьев Ю.Н., Гришаев И.А., Довбня А.Н., Зеленчер А.С., Ильин О.Г., Коба И.И., Козин В.П., Кононенко С.Г., Мочешников Н.И., Ракитянский А.А., Репринцев Л.В., Тарасенко А.С., Терехов Б.А., Ткаченко В.Д., Толстой А.Е., Файнзильберг С.Д., Шендерович А.М. Накопитель электронов с энергией 100 МэВ. - "Атомная энергия", 1967, т. 23, № 6, с. 531.
11. Эйнштейн А. Сущность теории относительности. М., Изд. иностр. лит., 1955.
12. Паули В. Теория относительности. М.-Л., ОГИЗ, 1947.
13. Гришаев И.А., Гук И.С., Козин В.П., Мазманишвили А.С., Мухненко Л.А., Мочешников Н.И., Тарасенко А.С. Каналы вывода ВУФ излучения на накопителе Н-100. "ПТЭ", 6, 26, 1976.
14. Эпштейн М.И. Измерения оптического излучения в электронике. М., "Энергия", 1975
15. Мочешников Н.И., Репринцев Л.В. Система и методы индикации пучка на накопителе ФТИ АН УССР. В кн.: "Труды Второго совещания по ускорителям заряженных частиц" М., "Наука", т.2, 79, 1972.
16. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., "Наука", 1970.
17. Neil R.V. The Stanford Two-Mile Accelerator. W.A.Berjain, INC, N.Y., N.Y., 1968.

Петр Иванович Гладких, Александр Сергеевич Мазманишвили,  
Леонид Владиславович Репринцев, Петр Иванович Филиппов

**БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ФОТОНАМИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Ответственный за выпуск А.С.Мазманишвили

Корректор Е.Г.Белоусова

---

Подписано к печати 1.7-77 г., Т-12534. Сдано в набор 16.8-77 г.  
Формат 60x84/16. 1,3 усл.п.л., 1,1 уч.-изд.л. Тираж 300.  
Заказ 680. Цена 13 коп. Индекс 3624.

---

Харьков-108, роталит XFTI АН УССР.