



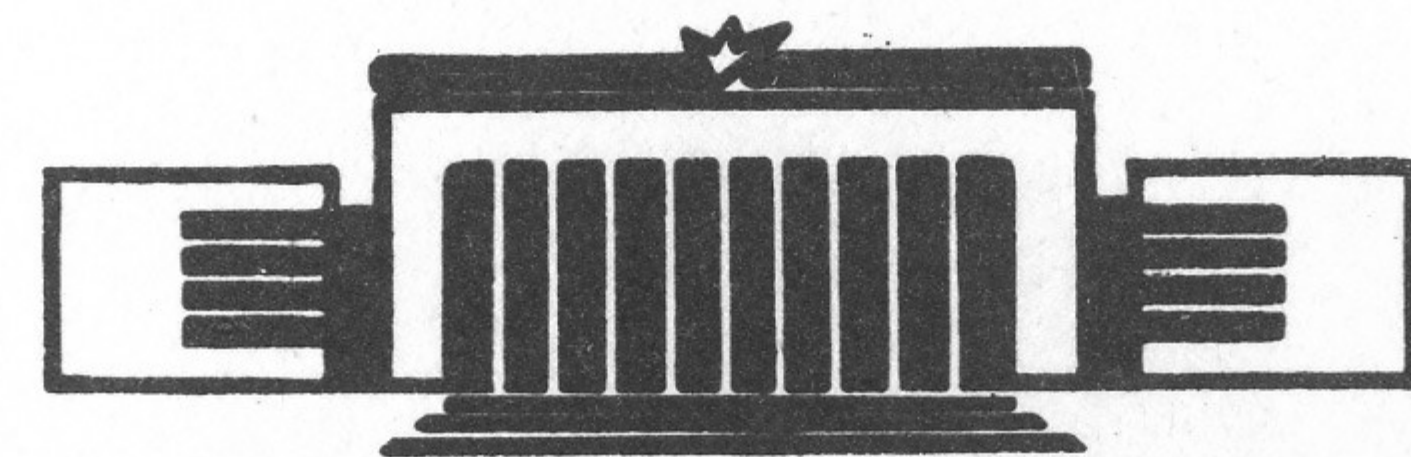
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

4

Я.С.Дербенев, А.А.Жоленц, В.А.Киселев,  
А.М.Кондратенко, Г.А.Корнюхин, С.И.Мишнев,  
С.А.Никитин, Е.Л.Салдин, А.Н.Скринский,  
А.Б.Темных, Г.М.Тумайкин, Ю.Н.Ульянов,  
В.М.Хорев, М.В.Юрков

ПРОЕКТ  
ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫХ  
ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКОВ В НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-4  
ПРИ ЭНЕРГИЯХ ДО  $2 \times 2$  ГэВ

ПРЕПРИНТ 83-93



НОВОСИБИРСК

ПРОЕКТ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ВСТРЕЧНЫХ  
ПУЧКОВ В НАКОПИТЕЛЕ ВЭШ-4 ПРИ ЭНЕРГИЯХ ДО  $2 \times 2$  ГэВ

Я.С.Дербенев, А.А.Жоленц, В.А.Киселев, А.М.Кондратенко,  
Г.А.Корнюхин, С.И.Мишнев, С.А.Никитин, Е.Л.Салдин,  
А.Н.Скринский, А.Б.Темных, Г.М.Тумайкин, Ю.Н.Ульянов,  
В.М.Хорев, М.В.Юрков

АННОТАЦИЯ

Разработан проект получения продольно поляризованных встречных электрон-позитронных пучков на накопителе ВЭШ-4 с использованием сверхпроводящего соленоида, который поворачивает спин на угол  $180^\circ$  вокруг вектора скорости ("сибирская змейка" I рода). Частицы поляризуются в бустерном накопителе ВЭШ-3, имеющем короткое время поляризации. Управление поляризацией пучков при перепуске из ВЭШ-3 в ВЭШ-4 осуществляется с помощью импульсного соленоида, размещенного в канале. Время существования продольной поляризации определяется квантовыми флуктуациями энергии и может составлять несколько часов на энергии до 2 ГэВ. Обсуждаются пути повышения светимости в этой области энергий.

ПРОЕКТ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКОВ В НАКОПИТЕЛЕ ВЭШ-4 ПРИ ЭНЕРГИЯХ ДО  $2 \times 2$  ГэВ

Я.С.Дербенев, А.А.Жоленц, В.А.Киселев, А.М.Кондратенко,  
Г.А.Корнюхин, С.И.Мишнев, С.А.Никитин, Е.Л.Салдин,  
А.Н.Скринский, А.Б.Темных, Г.М.Тумайкин, Ю.Н.Ульянов,  
В.М.Хорев, М.В.Юрков

I. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Возможным способом организации продольной поляризации в экспериментальном промежутке электрон-позитронного накопителя ВЭШ-4 при энергиях встречных пучков  $\leq 2 \times 2$  ГэВ является размещение в противоположном промежутке (техническом) соленоида, поворачивающего спин на угол  $\varphi = \pi$  (см.Рис.1). При этом устойчивое направление поляризации  $\vec{n}(\theta) = \vec{n}(\theta + 2\pi)$  [1] полностью лежит в плоскости орбиты и составляет с вектором скорости угол, равный  $\nu(\pi - \theta)$ , где азимут  $\theta = 0$  в месте расположения соленоида ( $\nu = E$  [МэВ] / 440, 65).

Кинематическая основа данной схемы была предложена в [2,3] и впоследствии названа "Сибирской змейкой". Она обладает тем замечательным свойством, что в ней независимо от энергии частиц частота прецессии спина вокруг  $\vec{n}$  всегда равна  $1/2$ , а на азимуте  $\theta = \pi$  (месте встречи) вектор  $\vec{n}$  ориентирован по скорости.

В работах [5,6] была показана возможность применения этой схемы в реальных условиях накопителя ВЭШ-4. Конкретный вариант предусматривает размещение в его техническом промежутке вблизи места впуска пучков сверхпроводящего соленоида с максимальным интегралом поля  $\sim 210$  кГс.м. Рядом располагаются специальные линзы для компенсации возмущения, вносимого соленоидом в орбитальное движение.

Возможность получения продольно поляризованных частиц в такой простой схеме обусловлена тем обстоятельством, что инжектором для ВЭШ-4 служит бустерный накопитель ВЭШ-3, имеющий короткое время радиационной поляризации на энергии перепуска (20 минут при  $E=2,1$  ГэВ). Перепуск поляризованных

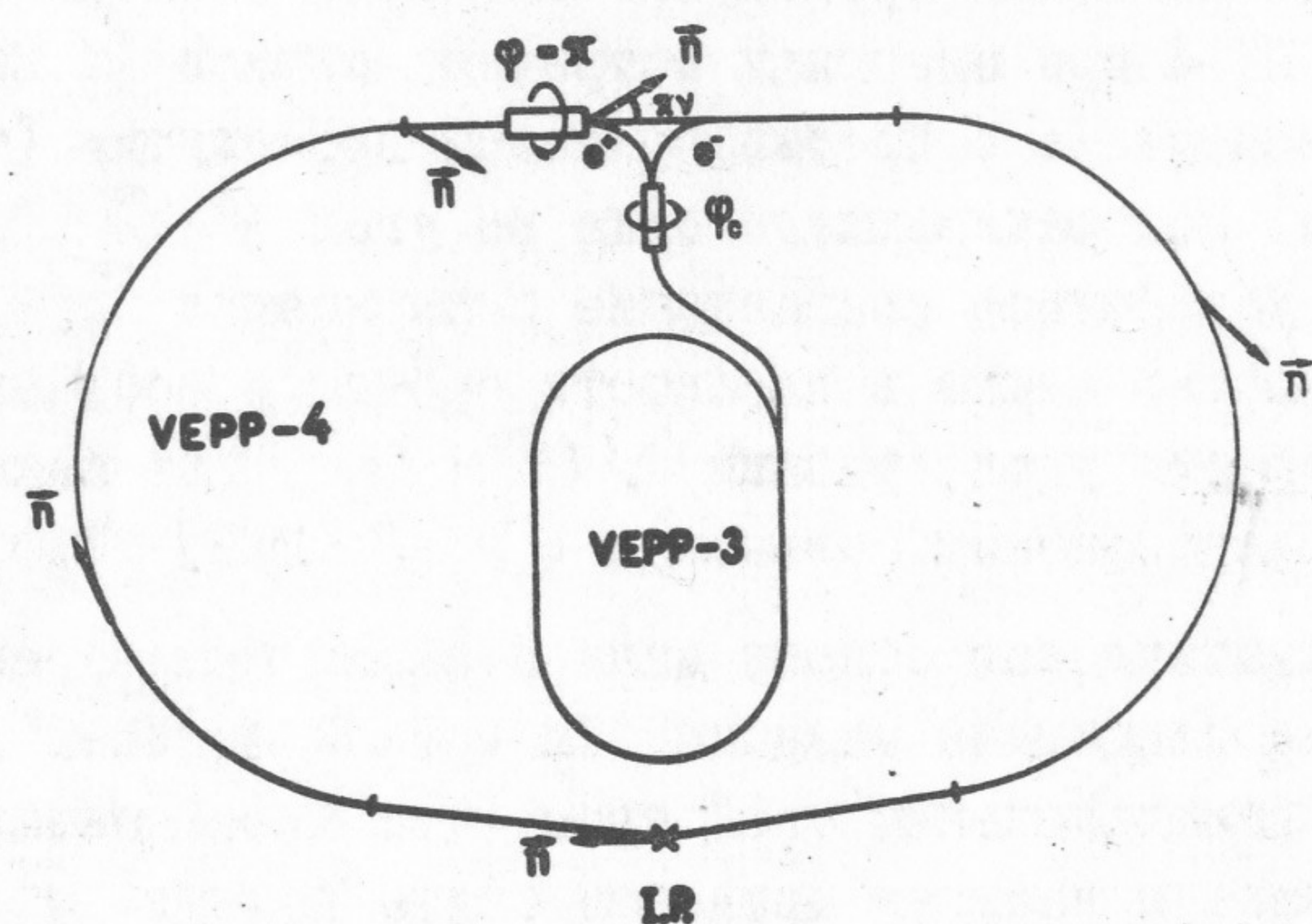


Рис. I. Кинематика спина в схеме получения продольной поляризации с использованием "сибирской змейки".

электронов (позитронов) из ВЭПП-3 в ВЭПП-4 будет происходить при включенном соленоиде. Для обеспечения высокой степени продольной поляризации необходимо иметь как можно большую величину проекции вектора спина инжектируемых частиц на вектор  $\vec{n}$  в месте впуска. С этой целью предусмотрено управление поляризацией пучков на выходе из канала инжекции с помощью размещенного в нем импульсного соленоида.

Время существования продольной поляризации в данной схеме полностью определяется деполаризующим влиянием квантовых флуктуаций энергии при излучении. Так как вектор поляризации лежит в плоскости орбиты перпендикулярно ведущему полю, перемешивание траекторий частиц в пучке в результате этих флуктуаций приводит к значительной спиновой диффузии, разрушающей начальную поляризацию. Время деполаризации быстро падает с энергией ( $\sim E^{-7}$ ), однако при энергии на ВЭПП-4  $\leq 2$  ГэВ это время  $\geq 1$  часа, что является достаточным для проведения экспериментов с продольно поляризованными пучками.

## 2. УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ В КАНАЛЕ ИНЖЕКЦИИ

Элементы канала инжекции не располагаются в одной плоскости, поэтому повороты спина в нем не коммутируют, и вектор поляризации на входе в ВЭПП-4 может принимать различные направления в зависимости от энергии пучков  $E$ .

В описываемой схеме начальная степень продольной поляризации равна  $\xi (\vec{s} \cdot \vec{n})$ , где  $(\vec{s} \cdot \vec{n})$  — проекция вектора спина инжектируемых частиц на вектор  $\vec{n}$  в месте впуска ( $|\vec{s}|=1$ ),  $\xi$  — степень поперечной поляризации пучка в ВЭПП-3 перед выпуском ( $\xi_{max}=0,92$ ). Вектор  $\vec{n}$ , как видно из рисунка I, в месте впуска лежит в медианной плоскости и составляет угол  $\varphi$  с вектором скорости частиц.

Управление поляризацией в канале с целью увеличить проекцию  $(\vec{s} \cdot \vec{n})$  будет осуществляться импульсным соленоидом длиной 6 м с полем до 25 кГс, который разместится перед последним элементом канала  $-90^\circ$  поворотным магнитом (см. Рис. I). При фиксированной энергии инжекции  $E$  выбором угла поворота спина в соленоиде  $\varphi_c$  в диапазоне от  $\pi/4$  до  $\pi/2$  удастся обеспечить величину проекции  $(\vec{s} \cdot \vec{n}) \approx 1$  как для электро-

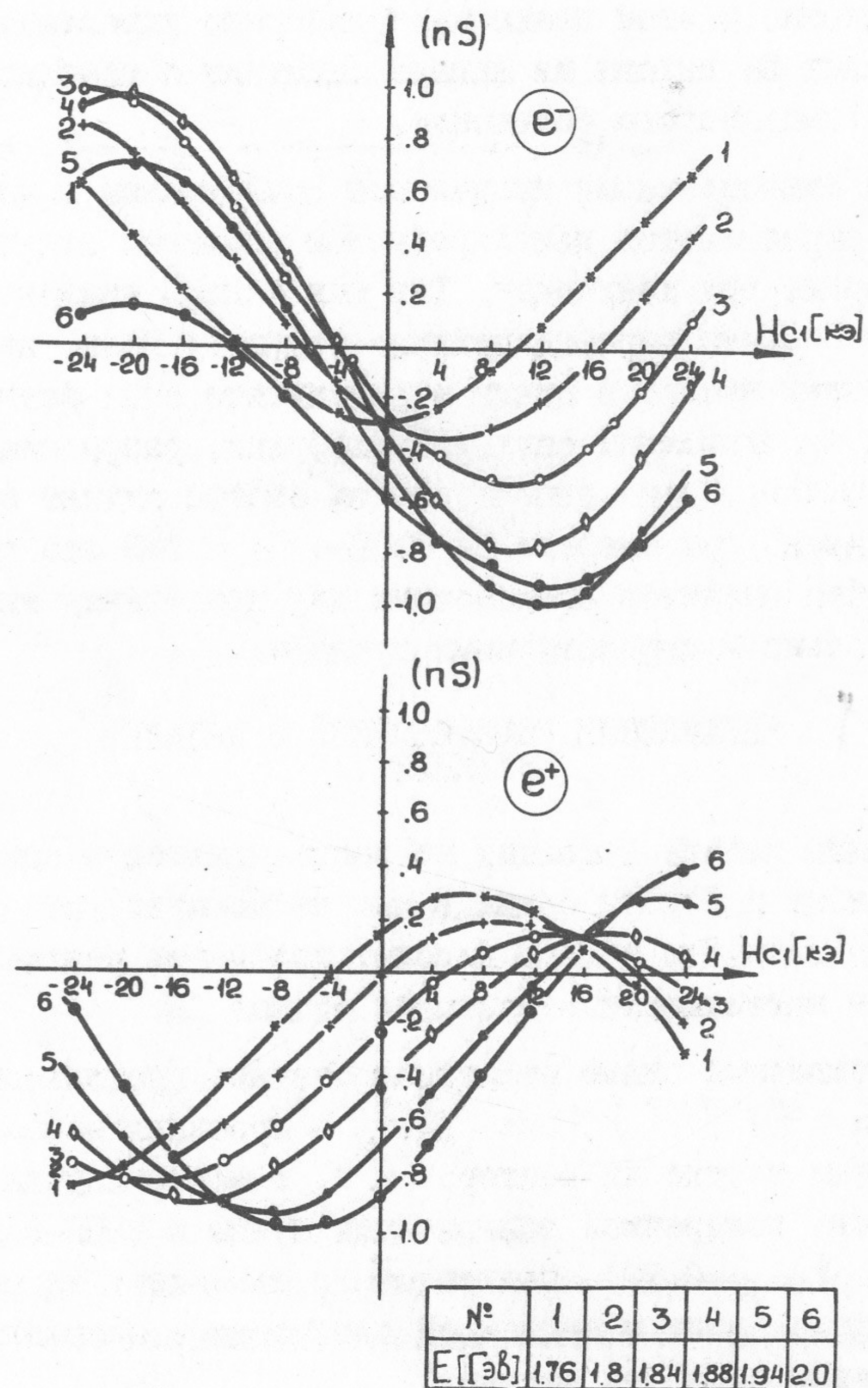


Рис.2. Проекция спина ( $\vec{S} \cdot \vec{n}$ ) инжектируемых частиц на ось  $\vec{n}$  как функция энергии и величины поля импульсного соленоида канала.

но, так и для позитронов. На рис.2 представлены результаты расчета проекции ( $\vec{S} \cdot \vec{n}$ ) при разных значениях поля соленоида  $H$  и энергии инжекции  $E$ . Как видно из рисунка, изменением знака поля  $H$  можно без существенных потерь обращать направление поляризации электронов и, значит, готовить любые комбинации спиральностей встречных пучков.

### 3. СОЛЕНОИД НА ВЭПП-4

Соленоид в ВЭПП-4, вращая спин на угол  $180^\circ$ , одновременно поворачивает плоскость поперечных колебаний ( $X$  - радиальных,  $Z$  - вертикальных) на угол  $90^\circ$  и тем самым сильно возмущает орбитальное движение. Тем не менее оказывается возможным компенсировать это возмущение, комбинируя соленоид или эквивалентную ему группу соленоидов с квадрупольными линзами, повернутыми на определенные углы [4,5,7]. В нашем случае за основу выбрана схема компенсации [7]. Разработана вставка в накопитель, состоящая из двух сверхпроводящих одинаковых соленоидов с суммарным углом поворота спина  $\pi$  и пяти квадрупольных линз, четыре из которых повернуты на угол  $\pi/4$  (см.Рис.3 и Табл.1).

Таблица I

Энергия	= 1,98 ГэВ
Эффективная длина соленоидов	= 2 x 145 см
Эффективное поле соленоидов	= 71,7 кГс
Градиент x длина (линза № 7)	= $-2,76 \frac{\text{кГс}}{\text{см}}$ x 36 см
Градиент x длина (линзы № 2 и № 9)	= $\pm 2,26 \frac{\text{кГс}}{\text{см}}$ x 24 см
Градиент x длина (линзы № 3 и № 8)	= $\pm 2,01 \frac{\text{кГс}}{\text{см}}$ x 24 см
Полная длина вставки с соленоидом и линзами	= 532 см

По матрице преобразования фазового пространства ( $X, X', Z, Z'$ ) участок вставки эквивалентен равному по длине пустому промежутку. Небольшая разница состоит в том, что при этом имеется дополнительный фазовый сдвиг на  $\pi$  между вертикальными и радиальными бетатронными колебаниями. Связь  $X$  и  $Z$  - колебаний локализована на участке вставки, поскольку

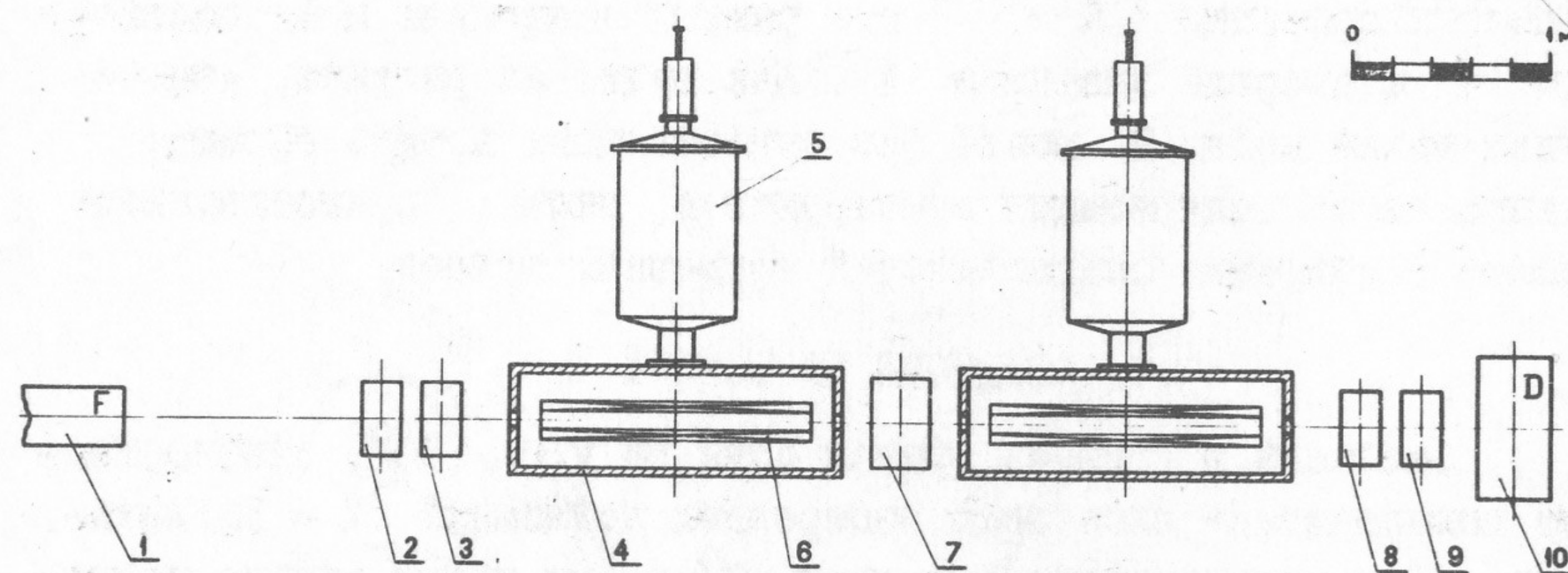


Рис.3. Схема вставки с соленоидом в техническом промежутке ВЭП-4:

- 1, 10 — элементы основной магнитной структуры,
- 2, 3, 8, 9 — скью-квадрупольные линзы,
- 4 — магнитный экран,
- 5 — гелиевый дьяр,
- 6 — сверхпроводящий соленоид,
- 7 — квадрупольная линза.

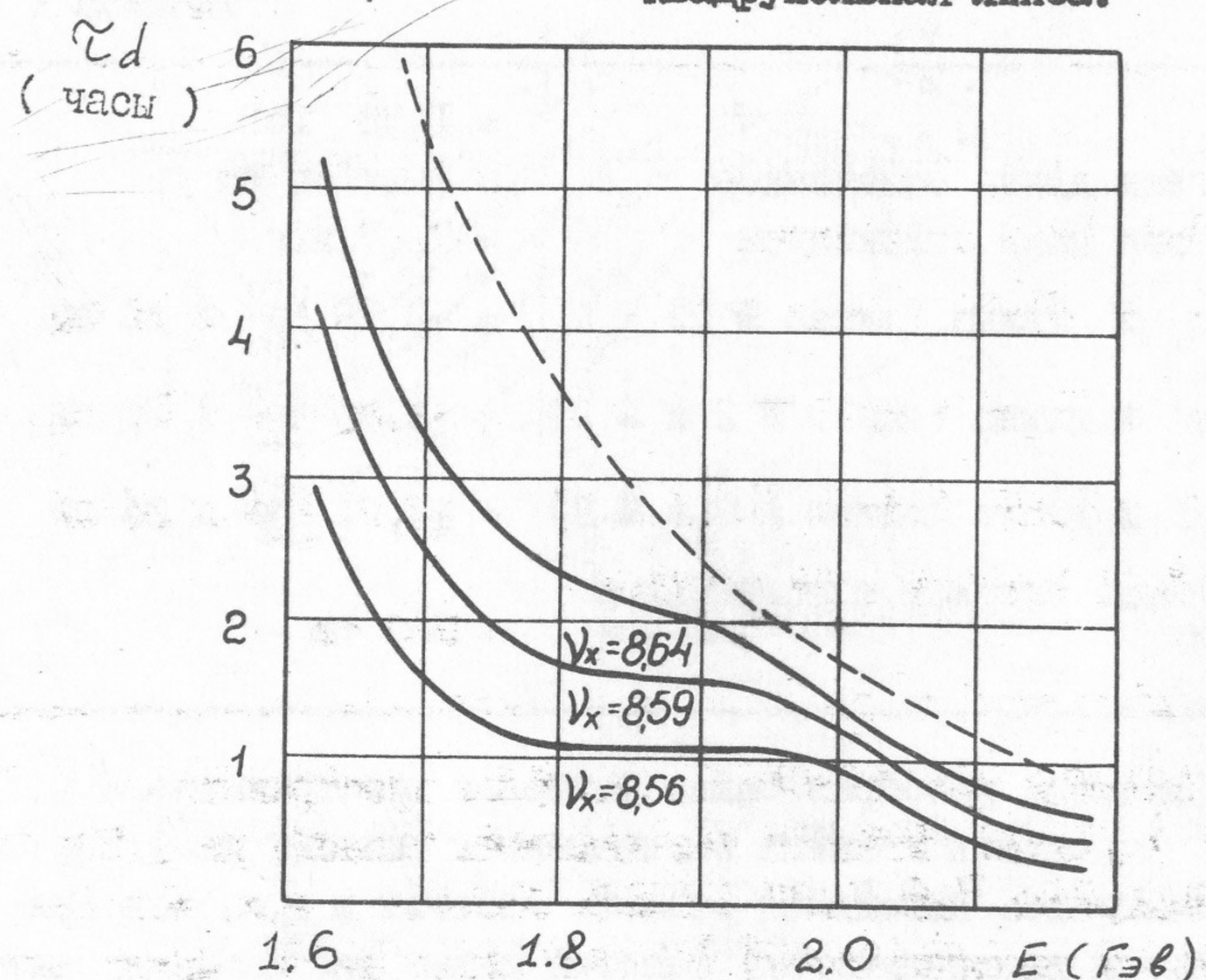


Рис.4. Расчетное время деполаризации.

радиальные бетатронные колебания, возбуждаемые квантовыми флуктуациями в кольце, переходят в вертикальные отклонения только внутри вставки. При этом нет возбуждения вертикального фазового объема за пределами указанного участка из-за отсутствия на нем синхротронного излучения.

#### 4. СКОРОСТЬ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ

Согласно [8] общее выражение для характерного времени деполаризации имеет вид

$$\tau_d = \tau_0 \langle |K|^3 \rangle \langle |K|^3 [1 - \frac{2}{9} (\vec{n} \cdot \vec{v})^2 + \frac{11}{18} |\vec{d}|^2] \rangle^{-1}$$

где  $K$  — безразмерная кривизна орбиты (в единицах обратного среднего радиуса машины),  $\vec{v}$  — скорость (скорость света = 1), угловые скобки означают усреднение по азимуту накопителя,  $\vec{d}$  — функция спин-орбитальной связи. Величина  $\tau_0$  равна времени радиационной поляризации в накопителе без соленоидов. Первые два слагаемые внутри скобок выражения для  $\tau_d$  учитывают прямое деполаризирующее воздействие синхротронного излучения на спин (излучение с переворотом спина). Последнее слагаемое связано с деполаризирующим влиянием квантовых флуктуаций энергии при наличии спин-орбитальной связи. Функция спин-орбитальной связи  $\vec{d}(\theta)$  [8, 9] характеризует отклик в спиновом движении от возмущения энергии частицы на азимуте  $\theta$ . В данной схеме вклад спин-орбитальной связи в скорость спиновой диффузии является доминирующим.

[5,6]

Результаты расчета времени деполаризации как функции энергии приведены на Рис.4. Пунктирной линией показана зависимость  $\tau_d(E)$ , учитывающая изменение замкнутой орбиты частицы за счет квантовых флуктуаций энергии. Полная зависимость  $\tau_d(E)$  с учетом изменений и бетатронного движения в результате флуктуации энергии при разных значениях частоты  $\nu_x$  радиальных колебаний представлена сплошными линиями.

Из рисунка можно видеть, например, что на энергии  $\psi'$  — резонанса (1,84 ГэВ) при отстройке частоты  $\nu_x$  на 0,1 от полуполого спинового резонанса (в рабочей области бетатронных частот ВЭП-4) величина  $\tau_d$  составляет  $\sim 2$  часа.

## 5. СВЕТИМОСТЬ

Вышеописанный способ позволит получать на ВЭПП-4 продольно поляризованные встречные пучки и проводить с ними физические эксперименты при энергиях накопителя  $\lesssim 2$  ГэВ, например, в области  $\psi$ -резонансов или выше пороговой энергии рождения  $\tau$ -лептона (1,78 ГэВ).

В настоящее время рассматриваются возможности повышения более чем на порядок светимости установки при этих энергиях (имеющаяся светимость  $\sim 3 \cdot 10^{28} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ ):

- 1) перестройка оптики экспериментального промежутка для достижения значения  $\beta_2^* \approx 5$  см (вместо  $\beta_2^* = 45$  см);
- 2) использование виттлера с целью некогерентного увеличения фазового объема пучков;
- 3) организация многоструктурного режима работы (до 9-ти структур в каждом пучке).

## Л и т е р а т у р а

1. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко, А.Н.Скринский, ЖЭТФ 60, 1216 (1971), ДАН СССР, 192, 1255 (1970).
2. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко. ДАН СССР, 223, 830 (1975).
3. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко. Труды X Международной конференции по ускорителям. Серпухов, 1977, т.2, стр.70-75.
4. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко. Препринт ИЯФ 78-74, Новосибирск (1978).
5. С.А.Никитин, Е.Л.Салдин. Препринт ИЯФ 81-19, Новосибирск (1981).
6. С.А.Никитин, Е.Л.Салдин, М.В.Юрков. Труды Международного симпозиума по поляризованным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1982, стр.291-301.
7. А.А.Жоленц, В.Н.Литвиненко. Препринт ИЯФ 81-80, Новосибирск (1981).
8. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко. Препринт ИЯФ 72-68, Новосибирск (1972); ЖЭТФ, 64, 1918 (1973).
9. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко. ЖЭТФ, 62, 430 (1972).

Я.С.Дербенев, А.А.Жоленц, В.А.Киселев, А.М.Кондратенко,  
Г.А.Корнюхин, С.И.Мишнев, С.А.Никитин, Е.Л.Салдин,  
А.Н.Скринский, А.Б.Темных, Г.М.Тумайкин, Ю.Н.Ульянов,  
В.М.Хорев, М.В.Юрков

ПРОЕКТ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ВСТРЕЧНЫХ  
ПУЧКОВ В НАКОПИТЕЛЕ ВЭП-4 ПРИ ЭНЕРГИЯХ ДО  $2 \times 2$  ГэВ

Препринт  
№ 83-93

Работа поступила 21 июля 1983г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов

Подписано к печати 17.08.83г. МН 03305

Формат бумаги 60x90 1/16 Усл. 0,6 печ.л., 0,5 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 93

Ротапринт ИЯФ СР АН СССР, г. Новосибирск, 90