

## РЕКОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫМИ ПУЧКАМИ ВЭПП-2

В. Л. АУСЛЕНДЕР, Г. И. БУДКЕР, И. Б. ВАССЕРМАН, Н. С. ДИКАНСКИЙ,  
М. М. ҚАРЛИНЕР, М. Д. МАЛЕВ, С. И. МИШНЕВ, В. А. СИДОРОВ,  
А. Н. СКРИНСКИЙ, Г. М. ТУМАЙҚИҢ, А. Г. ХАБАХПАШЕВ, Ю. М. ШАТУНОВ,  
И. А. ШЕХТМАН

*Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск*

*Докладик А. Н. Скринский*

О сооружении и работах на электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2 на энергию  $2 \times 700$  Мэв сообщалось на предыдущих конференциях [1, 2].

Накопительная дорожка представляет собой слабофокусирующий рейстрек с четырьмя одинаковыми прямолинейными промежутками. Радиус равновесной орбиты 150 см, длина прямолинейного промежутка 60 см, показатель спада магнитного поля 0,6. Два промежутка используются для инжекции электронов и позитронов, в третьем расположен высокочастотный резонатор, промежуток, противоположный резонаторному, предназначен для проведения экспериментов

Инжектором служит специальный синхротрон Б-3М [3] с однообратным выпуском электронного пучка. Эффективное получение позитронов достигается применением конвертора и двух «параболических» линз [4].

В 1967 году был проведен эксперимент по изучению  $\rho$ -мезона [5]. Были получены результаты по массе и ширине  $\rho$ -мезонного резонанса. Так как средняя скорость регистрации полезных событий была довольно низкой — около 3-х электрон-позитронных рассеяний в сутки, набор статистики продолжался около полугода. Такая скорость счета была в первую очередь связана с плохой приспособленностью промежутка встречи для установки искровых камер, а большая длина сгустка позволяла использовать не более  $1/3$  области взаимодействия.

После экспериментов на  $\rho$ -резоне с целью увеличения светимости было решено провести реконструкцию накопительного кольца.

Для увеличения телесного угла регистрируемых событий была переделана коммутация обмоток, создающих магнитное поле, в промежутке встречи и для компенсации 1-ой гармоники — в противоположном, где размещена ускоряющая система. Это позволило приблизить искровые камеры к области взаимодействия и увеличить их площадь. В результате телесный угол регистрации увеличился от  $2 \times 0,6$  до  $2 \times 1,1$  стерadians. С целью уменьшения фона, который, как ожидалось, должен был возрасти с увеличением телесного угла, а также улучшения соотношения между временем счета и накопления была реконструирована вакуумная система.

Укорочение длины сгустков было достигнуто за счет создания новой высокочастотной системы, работающей на третьей гармонике частоты обращения и обеспечивающей амплитуду напряжения на резонаторе до 200 кв. Длина сгустка стала около 20 см по сравнению с 80 см при работе на первой гармонике со старым резонатором.

Об особенностях новых высокочастотной и вакуумной систем будет сказано ниже.

Отметим еще ряд других мероприятий, проведенных при реконструкции.

В промежутке между стенками внутренней и наружной камер было заложено 6 пар витков (рис. 1), позволивших регулировать частоту бетатронных колебаний, квадратичную и кубичную нелинейности. Обратные витки этой коррекции расположены вблизи ядра магнитопровода.

До реконструкции контроль за светимостью велся только по рассеянию на малые углы. В настоящее время для мониторинга используется двойное тормозное излучение. Для его регистрации в магнитопроводе и шинах были сделаны специальные окна, а также была уменьшена толщина стенки наружной вакуумной камеры (рис. 2). Результирующая толщина окна не превышает 0,2 радиационных единицы.

Значительная работа была проведена по увеличению интенсивности инжектора синхротрона Б-3М. В настоящее время количество ускоренных за импульс электронов составляет  $2 \cdot 10^{11}$ .

## Вакуум

В первом варианте вакуумной системы внутренняя камера накопителя откачивалась четырьмя сорбционными насосами и паромасляными насосами Н5СМ. В условиях мощного синхротронного излучения такая система не обеспечивала нужной скорости откачки.

Для улучшения вакуума были проведены следующие мероприятия [6].

1. Установлен распределенный магнитоэридный насос, расположенный внутри вакуумной камеры непосредственно вблизи источника гажения и работающий в собственном магнитном поле накопителя.

2. С целью уменьшения десорбции на внешний радиус введен приемник синхротронного излучения.

3. Произведена замена медной камеры на камеру из нержавеющей стали и улучшена система прогрева. Улучшена откачка наружной камеры и приняты меры для уменьшения перетекания из наружной камеры во внутреннюю.

Распределенный насос включает в себя 70 стандартных секций, каждая из которых имеет производительность 150 л/сек при напряженности магнитного поля 12 килоэрстед и анодном напряжении 4 кв. Секция распределенного насоса состоит из двух титановых пластин-катодов, анода из нержавеющей стали и двух керамических изоляторов. Секции объединены в 8 групп — по две в квадранте, каждая группа имеет свой высоковольтный вакуумный ввод.

Время жизни на малом токе при  $E=500$  Мэв составляет в настоящее время  $\sim 30000$  сек, что соответствует в пересчете на атмосферный состав остаточного газа вакууму  $\sim 3 \cdot 10^{-9}$  торр. Исследования состава остаточного газа омега-троном показали, что основной вклад вносит аргон, парциальное давление которого составляет  $\sim 6 \cdot 10^{-10}$  торр. В связи с этим пришлось отказаться от безмасляной откачки внутренней камеры, так как скорости магнитоэридных насосов для удаления аргона оказались недостаточны. Пришлось оставить два диффузионных насоса.

Приемник излучения представляет собой танталовую ленту толщиной 50 мк и шириной 2 см (рис. 1). Один конец ленты заземлен, другой выведен наружу через изолятор. Это дает возможность прогревать его током, а при необходимости использовать для прогрева камеры.

После нескольких дней обезгаживания десорбция уменьшилась примерно в 5—6 раз и после этого сохраняется примерно на одном уровне. В спектре десорбированного газа  $\sim 90\%$  составляет водород, присутствуют также молекулы с  $M=28$ . Если при этом судить о среднем вакууме в камере по току распределенных магнитоэридных насосов, то вакуум при токе пучка 100 ма ухудшается примерно в 7 раз, но из-за малого атомного номера водорода время жизни падает только в 2 раза. Наличие большого количества водорода, по-видимому, обусловлено разложением паров масла как на ленте, так и на стенках камеры из-за рассеянного излучения. Магнитоэридные насосы имеют низкую скорость откачки по водороду, последний откачивается сорбционными насосами.

Ниже приводится таблица, в которой показаны результаты модернизации вакуумной системы.

Таблица 1

Время жизни при энергии 500 Мэв после обезгаживания камеры электронным пучком.

До реконструкции		После реконструкции	
I=1 ма	I=100 ма	I=1 ма	I=100 ма
4 часа	1 час	8 часов	4 часа

### Высокочастотная система. Накопление электронов и позитронов

Конструкция резонатора ВЭПП-2 приведена на рис. 3 [7]. Внутри корпуса резонатора 4 размещена трубка с дисками на концах. Она образует внутренний проводник коаксиальной линии с емкостями дисков на концах. Собственная частота соответствующей резонансной моды равна третьей гармонике частоты обращения. Электрическое поле в зазорах направлено одинаково относительно движения частицы.

Емкость параллельно соединенных дисков и индуктивность короткозамкнутого отрезка коаксиальной линии, создаваемой штангой 3 и трубой 6, образуют моду с частотой, равной первой гармонике частоты обращения. Электрическое поле на зазорах направлено в разные стороны, эффективное ускоряющее напряжение составляет 25% от напряжения на каждом из зазоров.

Так как ускоряющая система на первой гармонике является пролетной трубкой, равновесные фазы электронов и позитронов смещены на  $180^\circ$ .

Накопление позитронов производится на 1-ой гармонике частоты обращения. Резонатор 3-й гармоники при этом расстраивается так, чтобы его собственная частота была значительно ниже третьей гармоники частоты обращения. Величина расстройки выбирается такой, чтобы напряжение третьей гармоники, наведенное на резонансной системе накопленными частицами, было значительно меньше ускоряющего напряжения 1-й гармоники. Этим обеспечивается получение одного сгустка.

По окончании накопления позитронов включается возбуждение резонатора 3-й гармоники и резонатор настраивается. При этом автоматически обеспечивается фазировка 1-й и 3-й гармоник. При перезахвате все позитроны попадают в одну область устойчивости.

Накопление электронов ведется на 3-й гармонике. При этом необходимо обеспечить получение одного сгустка в нужной области устойчивости, чтобы иметь область взаимодействия в районе резонатора

и противоположном промежутке. Так как длина выпущенного пучка из инжектора превышает  $1/3$  длины орбиты накопителя, в электронном канале для укорочения сгустка установлены пластины, на которые подается импульс, синхронный с импульсом дефлектора. Как при накоплении позитронов, так и при накоплении электронов выпуск из ускорителя синхронизован с фазой ускоряющего напряжения в накопительном кольце. Оптическая система ЭОП-диссектор [8] позволяет вести контроль за правильностью накопления электронов и позитронов.

При конструировании резонатора учитывались требования к спектру высших собственных частот с целью обеспечения затухания когерентных синхротронных и бетатронных колебаний. С этой целью была изготовлена модель резонатора в масштабе 1:1, на которой были произведены измерения до частоты 1700 мгц.

Как сообщалось в [9], при накоплении позитронов возникла радиальная бетатронная неустойчивость. Для ее подавления использовалась система обратной связи. После реконструкции между пластинами разведения частот бетатронных колебаний электронов и позитронов были поставлены развязывающие сопротивления. В настоящее время эта неустойчивость не проявляется.

Максимально-накопленные электронные токи достигают при накоплении на 1-й гармонике 4а и 700 ма при накоплении на 3-й гармонике и ограничены фазовой неустойчивостью.

Средняя скорость накопления позитронов в настоящее время составляет около 1 ма в минуту. Начиная с токов 10—15 ма время затухания резко уменьшается (когерентное ускоренное затухание) [9]. Плотность накопленных позитронов становится достаточной, чтобы существенно уменьшить время жизни из-за рассеяния внутри сгустка (Ada-эффект). Для увеличения времени жизни при накоплении позитронов вводится искусственное увеличение радиального размера.

При накоплении электронов орбиты электронного и позитронного пучков геометрически разводятся в аксиальном направлении [10]. Для разведения частот бетатронных колебаний напряжение подводится к пластине на внутреннем радиусе. Эти меры уменьшают взаимодействие пучков.

### Проведение экспериментов

Время накопления занимает 1,5 часа. Начальные токи при этом  $40 \times 60$  ма<sup>2</sup>. Новая система обеспечивает продолжительность счета около 4-х часов, светимость при этом уменьшается в 3—4 раза по сравнению с начальной. Конечные токи в 3 раза меньше начальных.

Накопление больших токов, по-видимому, нерационально из-за увеличения размеров пучков и ухудшения отношения эффекта к фону.

На рис. 4 приведены данные по эффективности столкновений в зависимости от тока. По вертикальной оси отложено отношение  $\frac{Q}{\Gamma}$ , где  $\Gamma$  — количество событий двойного тормозного излучения, нормированное на одну секунду,  $Q = I_{e^+} \cdot I_{e^-}$  — произведение токов позитронов и электронов.

Как следует из графика, при токе 50 ма вертикальный размер из-за эффектов встречи увеличивается более чем в 2 раза. Для проведения эксперимента выбраны следующие частоты бетатронных колебаний:

$$\nu_1 = 0,6960; \nu_2 = 0,8607.$$

В течение мая—июня 1969 года был проведен эксперимент в области  $\phi$ -мезонного резонанса при энергии  $2 \times 510$  Мэв. Система регистрации позволяет наблюдать все три основные ветви распада  $\phi$ -мезона ( $K^+K^-$ ,  $K_S K_L$  и  $\pi^+\pi^-\pi^0$ ).

До настоящего времени проведена обработка только двух типов событий: упругого электрон-позитронного рассеяния и образования пары заряженных  $K$ -мезонов. Измерения проводились при 9 значениях энергии частиц в диапазоне от 508 до 514 Мэв. Магнитное поле накопителя было при этом стабилизировано с помощью ЯМР с точностью  $\sim 0,01\%$ . Результаты предварительной обработки основной серии измерений приведены на рис. 5.

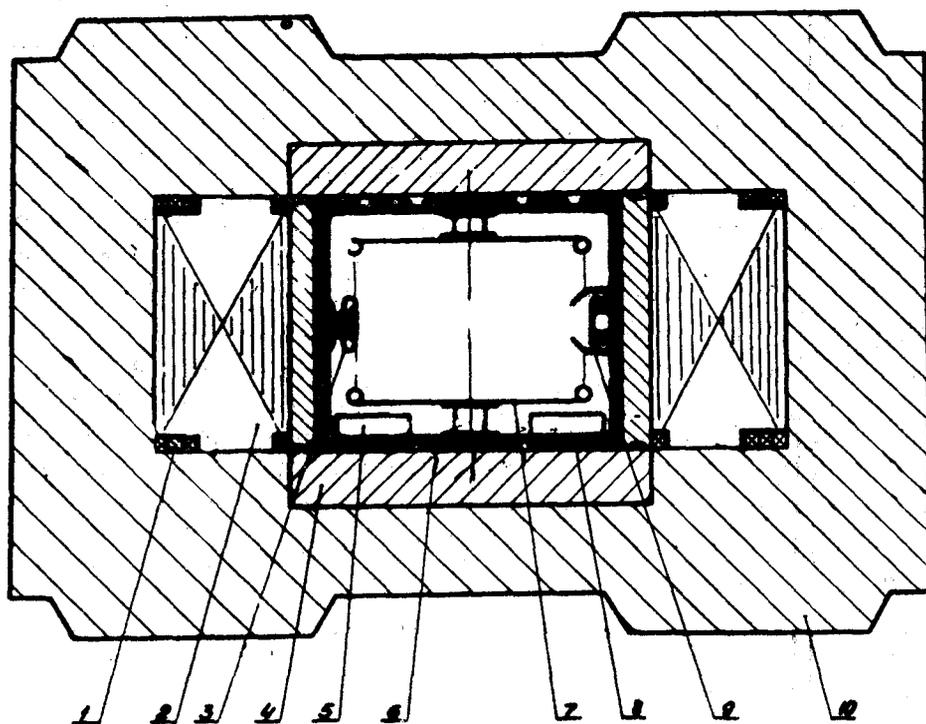


Рис. 1. Поперечный разрез накопителя.

1. Обратные витки  $\nu$ -коррекции.
2. Обмотка основного поля.
3. Пластина разведения частот бетатронных колебаний.
4. Полус.
5. Магнитоотрядный насос.
6. Витки  $\nu$ -коррекции.
7. Пластины аксиального разведения орбит.
8. Внутренняя камера.
9. Приемник излучения.
10. Ядро магнита.

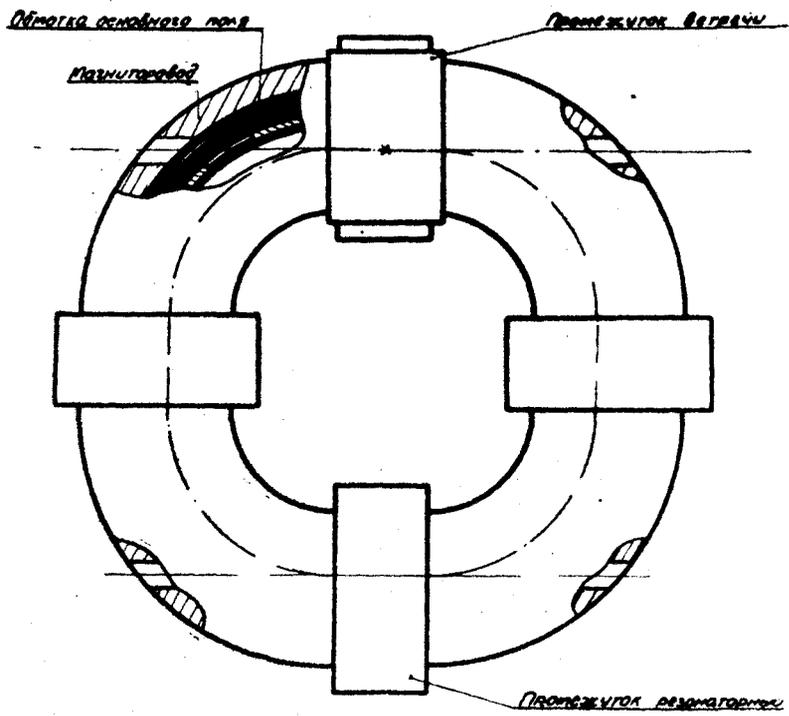


Рис. 2. Вид на окна для двойного тормозного излучения

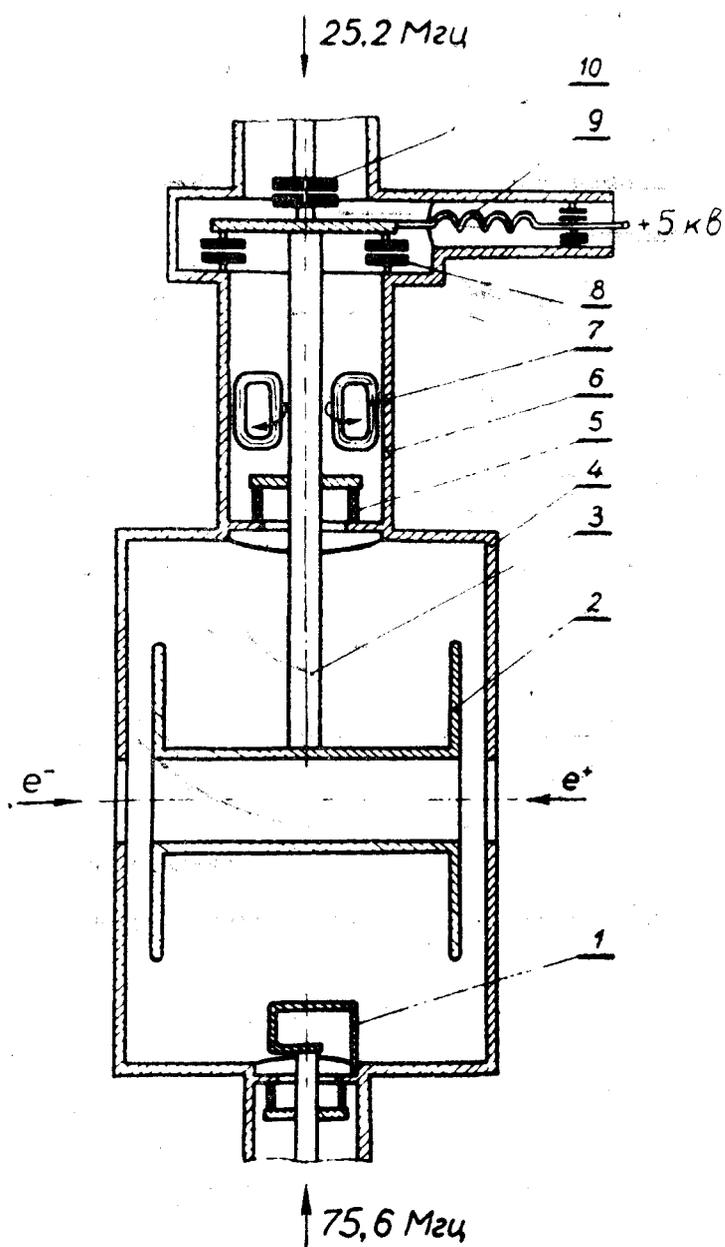


Рис. 3. Схематический разрез резонатора.

1. Петля возбуждения 3-й гармоники.
2. Труба с дисками.
3. Штанга.
4. Корпус резонатора.
5. Керамический изолятор.
6. Наружная труба шунтирующей индуктивности.
7. Рамки настройки первой гармоники.
- 8, 10. Разделительные емкости.
9. Дроссель.

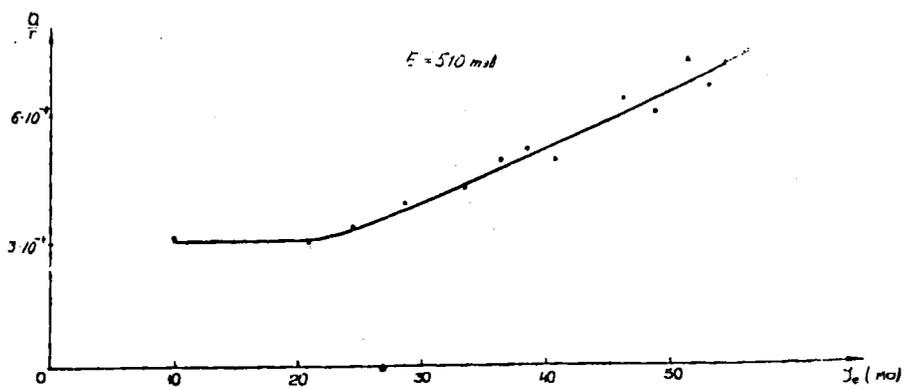


Рис. 4. Эффективность столкновений в зависимости от тока электронов.

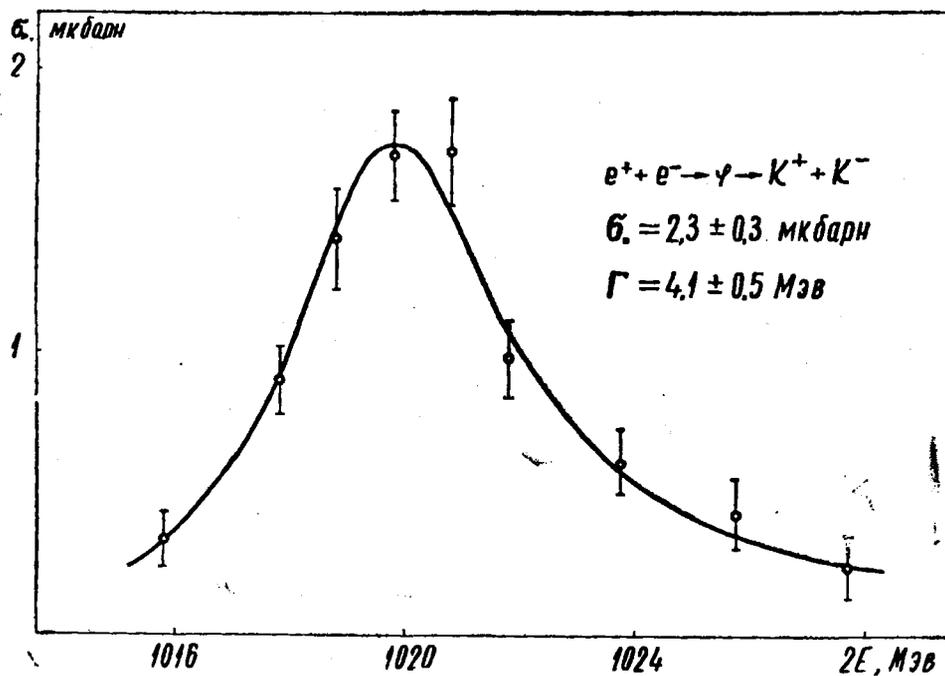


Рис. 5. Зависимость эффективного сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \varphi \rightarrow K^+K^-$  от энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Ауслендер и др. Встречные позитрон-электронные пучки. Международная конференция по ускорителям. Дубна, 1963, 274.
2. Г. И. Будкер. Развитие ускорителей в Новосибирске. Доклад на Международной конференции. Фраскати, 1965.
3. Г. И. Будкер и др. Запуск синхротрона Б-3М—инжектора для позитрон-электронного накопителя. Международная конференция по ускорителям. Фраскати, 1965.
4. В. Л. Ауслендер и др. Доклад на Международном симпозиуме по электронным накопителям. Сакле, 1966.  
В. Л. Ауслендер и др. Исследование  $\rho$ -мезонного резонанса на встречных электрон-позитронных пучках. Ядерная физика, т. 9 в. 1, 1969, 14.
6. В. В. Анашин и др. Система сверхвакуумной откачки накопителя ВЭПП-2. Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. Москва, 1968.
7. В. Г. Вещеревич и др. Ускоряющий резонатор накопителя ВЭПП-2. Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. Москва 1968.
8. Э. И. Зинин. Оптические методы контроля за пучком. Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. Москва, 1968.
9. В. Л. Ауслендер и др. Изучение самовозбуждения и ускоренного затухания когерентных поперечных колебаний накопителя ВЭПП-2. Атомная энергия т. 22, в. 3, 1967. 198.
10. А. А. Авдиенко и др. Система управления накопленными пучками в накопителе ВЭПП-2. ПТЭ № 1. 1968, 214 (депонированная статья).

## ДИСКУССИЯ

- Хозе:** Какова программа последующих экспериментов на установке ВЭПП-2? Предполагается ли изучение  $\omega$ -мезона и  $\rho$ - $\omega$  интерференции?
- Скринский:** Ближайшая программа экспериментов на установке ВЭПП-2 сейчас обсуждается и окончательный выбор еще не сделан. Определенно мы планируем эксперименты по рождению  $\pi$  и  $K$ -мезонов до энергии  $2 \times 700$  Мэв и изучение  $\rho$ - $\phi$  и, возможно,  $\rho$ - $\omega$  интерференции.
- Belbeoch:** What is the linear tune shift  $\Delta\nu$  corresponding to the luminosity you mentioned?
- Скринский:** Расчетной светимости соответствует сдвиг частоты  $\Delta\nu \approx 0.03$ .