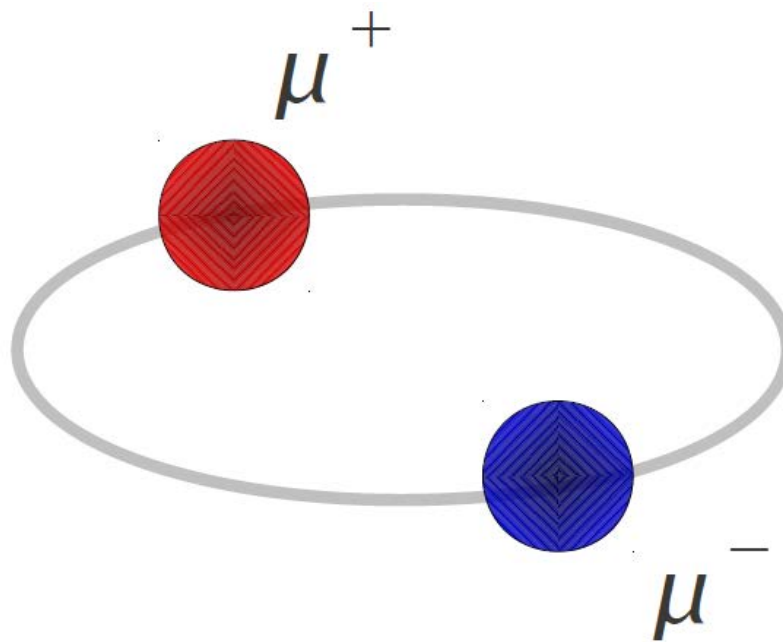


e^+e^- коллайдер на низкую энергию для исследования димюония и других экспериментов

А. Богомяков, В. Киселев, Е. Левичев, Ю. Пупков, С. Синяткин



Цель

Создание за небольшой срок (~2-3 года) недорогого и компактного e^+e^- коллайдера, интересного с экспериментальной и с «ускорительной» точки зрения.

Научная программа (доклад В. Дружинина) включает наблюдение (впервые) связанного состояния ($\mu^+\mu^-$), измерение формфактора пиона на пороге, рождение C-четных резонансов и т.д.

Спецификации

Высокая средняя светимость $\geq 5 \times 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

- Высокая пиковая светимость (большие токи, малая β_γ)
- Эксперимент на энергии инъекции
- Время жизни $> 1500 \text{ с}$

Возможность отлета ($\mu^+ \mu^-$) $> 1 \text{ мм}$ ($\sim 8 \div 10 \sigma_x$)

- Нет необходимости монохроматизации

Инжекция из существующего ИК

- Производительность $\approx 5 \times 10^9 \text{ e}^+/\text{с}$
- Диапазон по энергии $\approx 350 \div 460$ (500?) МэВ

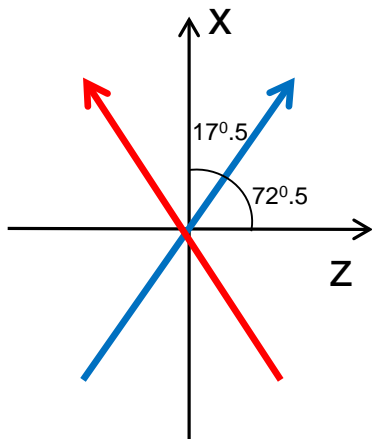
Вписаться в существующую инфраструктуру

Сложности и проблемы (1)

Малая энергия ($\mu^+\mu^- 2 \times 105.7$ МэВ, $\pi^+\pi^- 2 \times 139.6$ МэВ)

- Большой ток сгустка \rightarrow сильное внутрисгустковое рассеяние, маленькое тушековское время жизни
- Малое время радиационного затухания
- Невозможность эксперимента на энергии инжекции

Встреча под большим углом



$$E_{b\mu\mu} = 351.4 \text{ МэВ}, E_{b\pi\pi} = 464.1 \text{ МэВ}$$

Top-up injection

$$1^3 S_1 (\mu^+\mu^-) \Delta x \approx 1.7 \text{ мм}$$

$$\text{Требование } \sigma_x \leq 70 \text{ }\mu\text{м}$$

Светимость из-за угла падает $\sim \text{tg}(72.5)^{-1} \approx 0.3$,
но из-за увеличения энергии растет $\sim \gamma^2$.

Параметр пространственного заряда $\xi_{x,y} \approx 0$

Сложности и проблемы (2)

Горизонтальный эмиттанс вносит вклад в энергетическое разрешение и мешает монохроматизации:

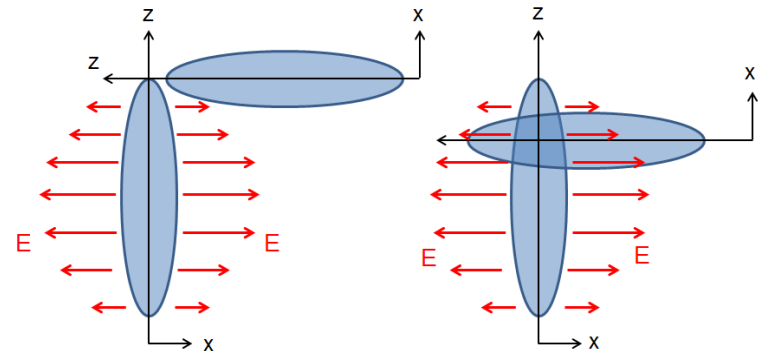
$$\sigma(M) = \sqrt{\langle M^2 \rangle - \langle M \rangle^2} = \sqrt{2}E_0 \sqrt{\sigma_\delta^2 \cos^2(\theta) + \sigma_{x'}^2 \sin^2(\theta)}$$

Большая длина отлета позволяет подавить фон без монохроматизации.

«Продольный» эффект встречи:
электрическим полем сгустка встречный пучок разбивается на два. Д.Шатилов:

(а) Увеличить длину сгустка (до ~40 мм), α , синхротронную частоту

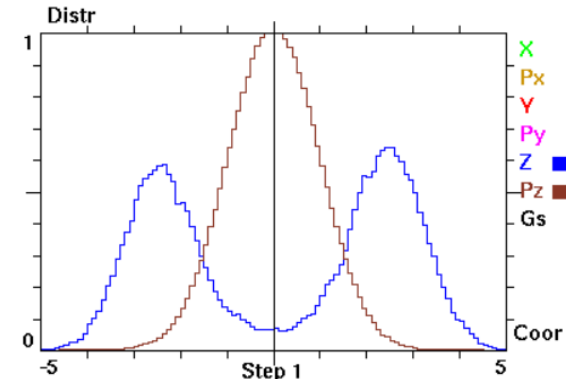
(б) $\alpha < 0$



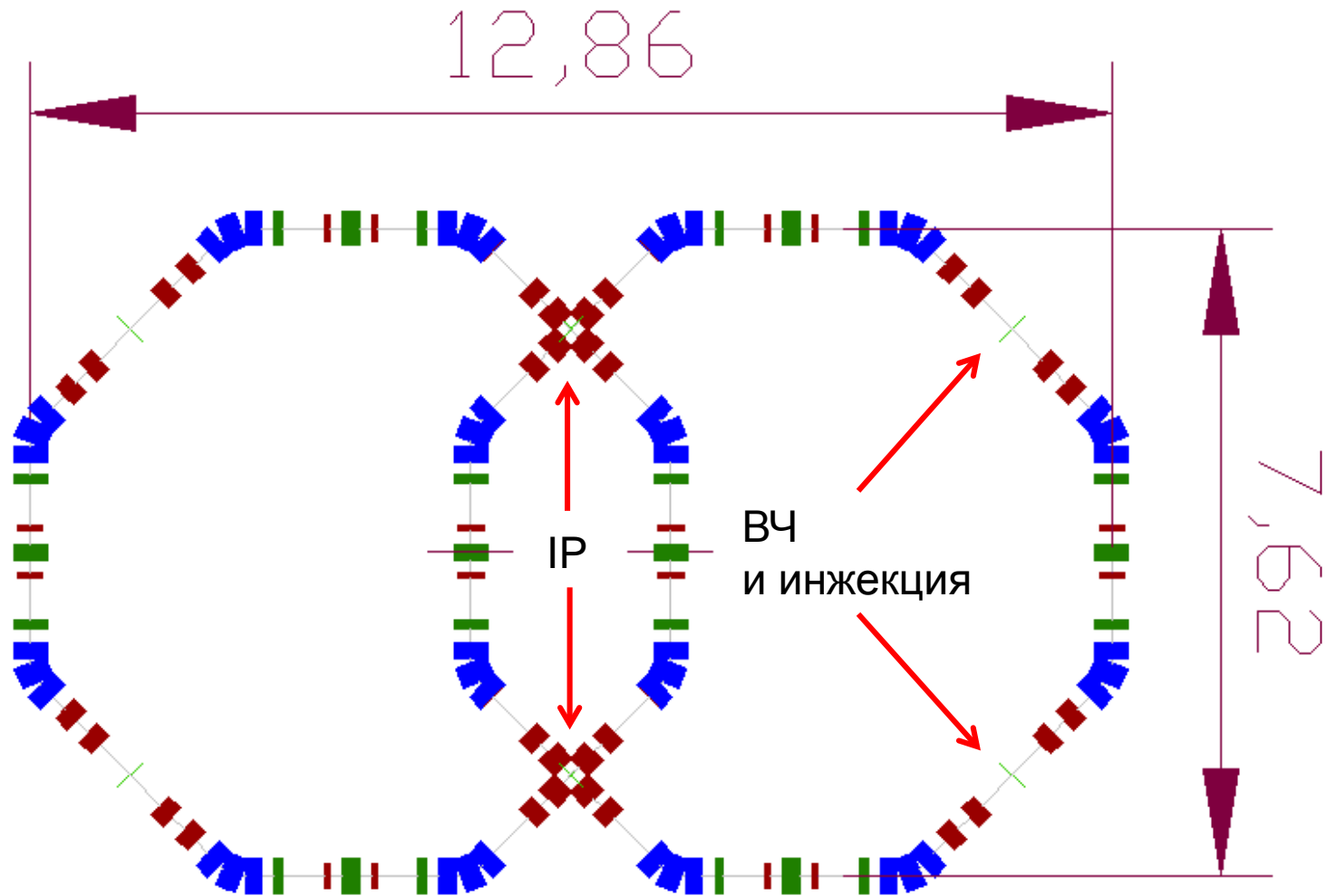
LONGITUDINAL BEAM-BEAM EFFECTS FOR AN ULTRA-HIGH LUMINOSITY REGIME
 V.V.Danilov, P.M.Ivanov, E.A.Perevedentsev, E.A.Simonov and A.N.Skrinsky
 Institute of Nuclear Physics, 630090, Novosibirsk, USSR

VI. CONCLUSIONS

The effect of longitudinal electric field of the opposing bunch was originally studied for on-axis particles. For the ϕ -factory design parameters this effect results in serious reduction of longitudinal focusing thus necessitating the RF overvoltage well above 400 kV to override the longitudinal instability onset and to oppose the incoherent synchrotron tune shift.



Пример



Периметр = 24.8 м

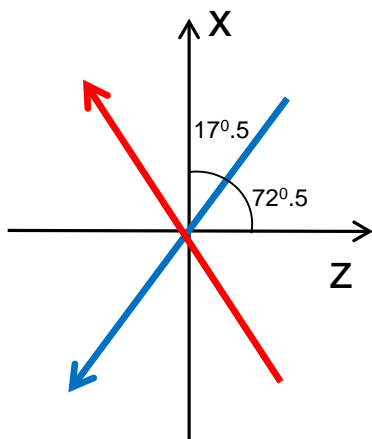
Параметры для примера $E = 390$ МэВ

Периметр (м)	24.8	Просится ↑
Частота обращения (МГц)	12.1	
Период обращения (нс)	82.7	
ВЧ частота (МГц)	121	
Гармоника ВЧ	10	
Коэффициент уплотнения орбит	$5.85 \cdot 10^{-3}$	
Число сгустков	1	
Ток сгустка (мА)	150	
Бетатронные частоты (h/v)	5.84/5.76	Эффекты встречи малы
ВЧ акцептанс (%)	±2	ОК
Коэф.бетатронной связи	1%	
Декременты $J_x/J_y/J_E$	0.89/1/2.11	
Бета-функции в IP h/v (мм)	50/2	Можно пробовать $\beta_y \downarrow$
Энергия пучка (МэВ)	390	
Времена затухания $\tau_x/\tau_y/\tau_E$ (мс)	26/24/12	
Потери энергии за оборот (кэВ)	2.5	
Число частиц	$8E+10$	На ДАФНЕ $9E+10$
ВЧ напряжение, kV	70	
Синхротронная частота $\times 10^3$	2.8	
Гор.эмиттанс (нм) (без/с IBS)	39/57	
Энергет.разброс ($\times E-04$) (без/с)	3.6/5.7	ОК
Бет.гор.размер в IP с IBS ($\mu\text{м}$)	53	ОК
Вер.размер в IP с IBS ($\mu\text{м}$)	1.1	
Продольный размер (мм) (без/с)	13.2/21	↑ 40 мм
Вр.жизни по Тушеку (с) (с IBS)	1500	↑ 2000-2500 с
Параметр встречи $\xi_{y,x}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$	ОК
Светим.с hour glass ($\times 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$)	30	

η -мезон и др.

η : 547.8 МэВ, при $17^{0.5}$ $E_{b\eta} = 287.2$ МэВ

- Инвертируется направление инжекции в одном из колец
- Инжектируем пучок 350 МэВ и опускаем на 60 МэВ
- Светимость падает с энергией, но растет с углом
- $\xi_x \approx 0$, $\xi_y \leq 0.01$



Продольный эффект встречи подавлен.
Вклад углового разброса в энергетическое разрешение подавлен, возможна монохроматизация с вертикальной дисперсией в месте встречи.

Можно проводить эксперименты до $E_b = 465$ (≈ 500 МэВ).

Конфигурация

- Двухкольцевой коллайдер с двумя идентичными местами встречи
- Угол встречи $72^{\circ}.5$, энергия пучка 350-460 МэВ, эксперименты с $\mu^+\mu^-$ и $\pi^+\pi^-$
- Угол встречи $17^{\circ}.5$, энергия пучка 280-460 (500?) МэВ, эксперименты с η и др.
- Полный ток до 1.5 А
- Периметр кольца ≈ 35 -40 м
- Инжекция из существующего ИК

Прикидка параметров

E, Mev	351.36	464.14	287.22
M, MeV	211.314	279.141	547.853
Π, m	24.81	24.81	24.81
θ, deg	72.5	72.5	17.5
f0, Hz	1.20835×10^7	1.20835×10^7	1.20835×10^7
I, A	0.154863	0.154863	0.154863
N	$8. \times 10^{10}$	$8. \times 10^{10}$	$8. \times 10^{10}$
Nb	1.	1.	1.
σ _ε	0.000491904	0.000649796	0.000464314
$\sigma x' = \sqrt{\frac{\epsilon x}{\beta x}}$	0.000563347	0.000407599	0.000651259
ε _x , m rad	4.7604×10^{-8}	8.30686×10^{-8}	6.36207×10^{-8}
ε _y , m rad	4.7604×10^{-10}	8.30686×10^{-10}	6.36207×10^{-10}
β _x , m	0.15	0.5	0.15
β _y , m	0.002	0.002	0.002
ψ _y , m	0.	0.	0.
$\sigma x = \sqrt{\epsilon x \beta x}$	0.0000845021	0.0002038	0.0000976888
$\sigma y = \sqrt{\epsilon y \beta y}$	9.75746×10^{-7}	1.28894×10^{-6}	1.12801×10^{-6}
σ _s	0.04	0.04	0.04
L1, cm ⁻² s ⁻¹	4.9713×10^{30}	3.76253×10^{30}	4.3004×10^{31}
ξ _x	4.86323×10^{-7}	1.22717×10^{-6}	0.0000601932
ξ _y	0.000843073	0.000483138	0.00897362

E, Mev	502.13
M, MeV	957.78
Π, m	24.81
θ, deg	17.5
f0, Hz	1.20835×10^7
I, A	0.154863
N	$8. \times 10^{10}$
Nb	1.
σ _ε	0.000702982
$\sigma x' = \sqrt{\frac{\epsilon x}{\beta x}}$	0.000402541
ε _x , m rad	9.72235×10^{-8}
ε _y , m rad	9.72235×10^{-10}
β _x , m	0.6
β _y , m	0.002
ψ _y , m	0.
$\sigma x = \sqrt{\epsilon x \beta x}$	0.000241525
$\sigma y = \sqrt{\epsilon y \beta y}$	1.39444×10^{-6}
σ _s	0.04
L1, cm ⁻² s ⁻¹	3.38697×10^{31}
ξ _x	0.000137681
ξ _y	0.00415158

Работа с большим током

	DAFNE(KLOE)	μтрон
Энергия (МэВ)	510	390
Периметр (м)	100	~25
Частота ВЧ (МГц)	368	120
Напряжение ВЧ (кВ)	250	70
Кратность	120	10
Потери на обороте (кэВ)	9	2.5
Время затухания h (мс)	36	26
Эмиттанс h (нм)	340	57
Длина сгустка (см)	1-3	2
Частиц в сгустке $\times 10^{10}$	9	8
Полный ток (А)	2.4/1.4	1.5

При энергии 300-500 МэВ DAFNE служит примером работы с большими токами. Изучение опыта позволяет надеяться получить требуемые параметры.

$$\alpha < 0$$

Источники СИ – для получения коротких сгустков.

Коллайдеры:

DAΦNE EXPERIENCE WITH NEGATIVE MOMENTUM COMPACTION

M. Zobov, D. Alesini, M.E. Biagini, A. Drago, A. Gallo, C. Milardi, P. Raimondi,
B. Spataro, A. Stella, LNF-INFN, Frascati, Italy

Abstract

There are several potential advantages for a collider operation with a lattice with negative momentum compaction factor (alfa, α_c). Since the lattice of the

experiments [7, 8, and 9] and must be checked for the DAΦNE impedance.

- The single bunch head-tail instability with negative momentum compaction takes place with positive

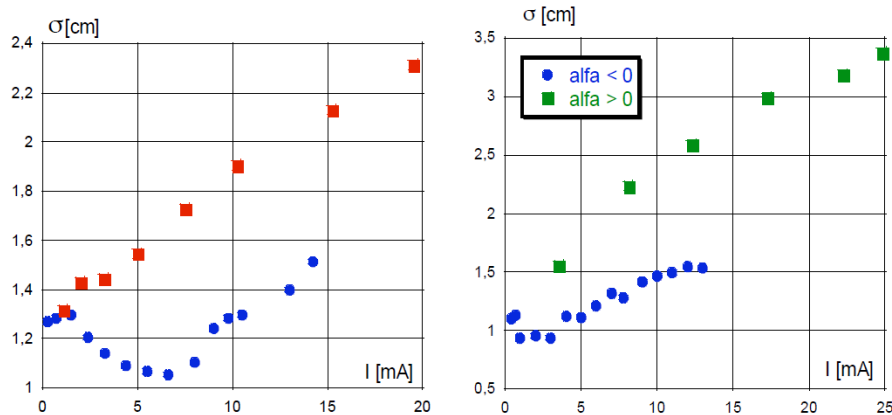
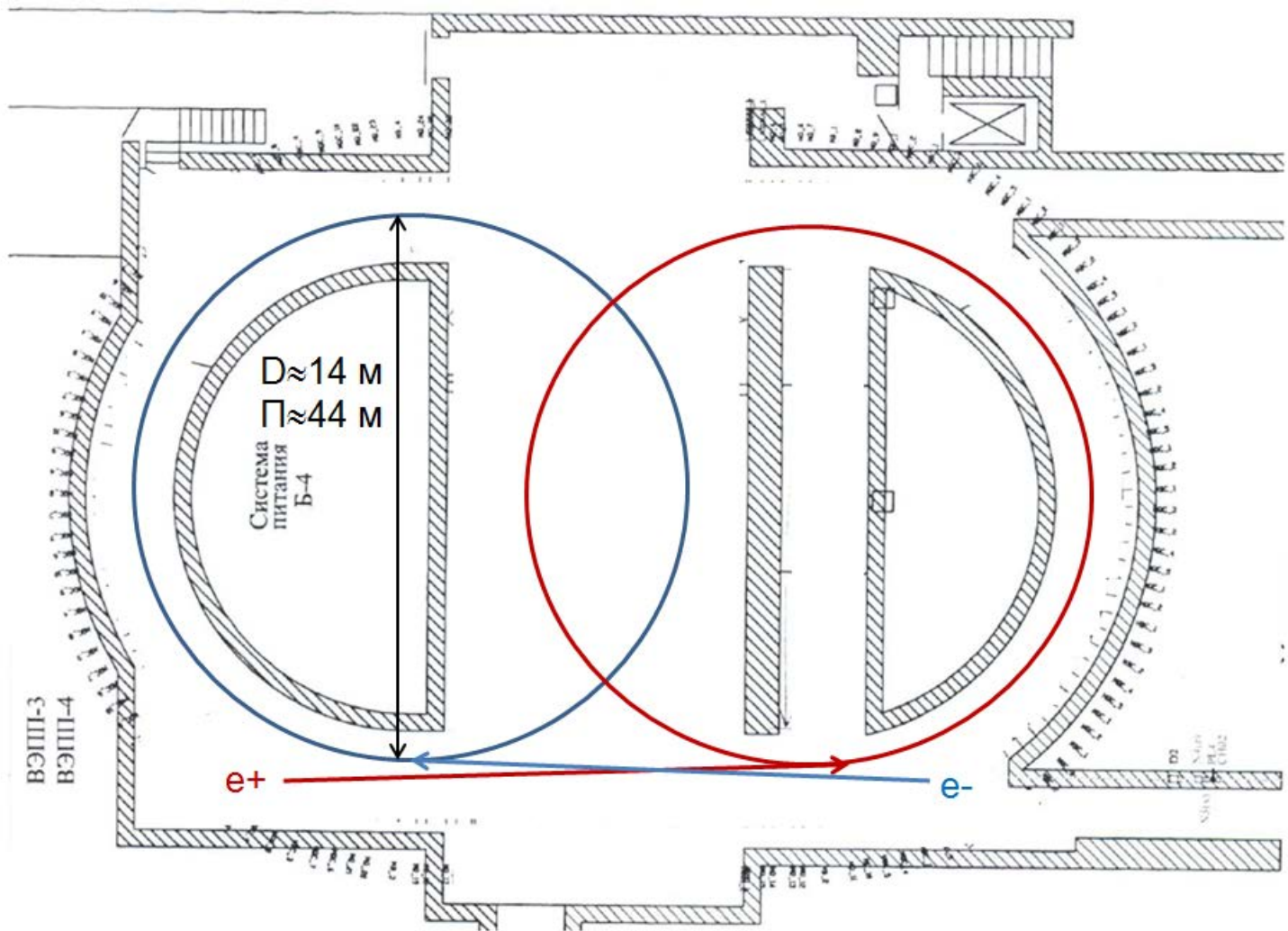


Figure 2: Bunch length as a function of bunch current in positron (left) and electron (right) rings (squares: positive alfa; circles: negative alfa).

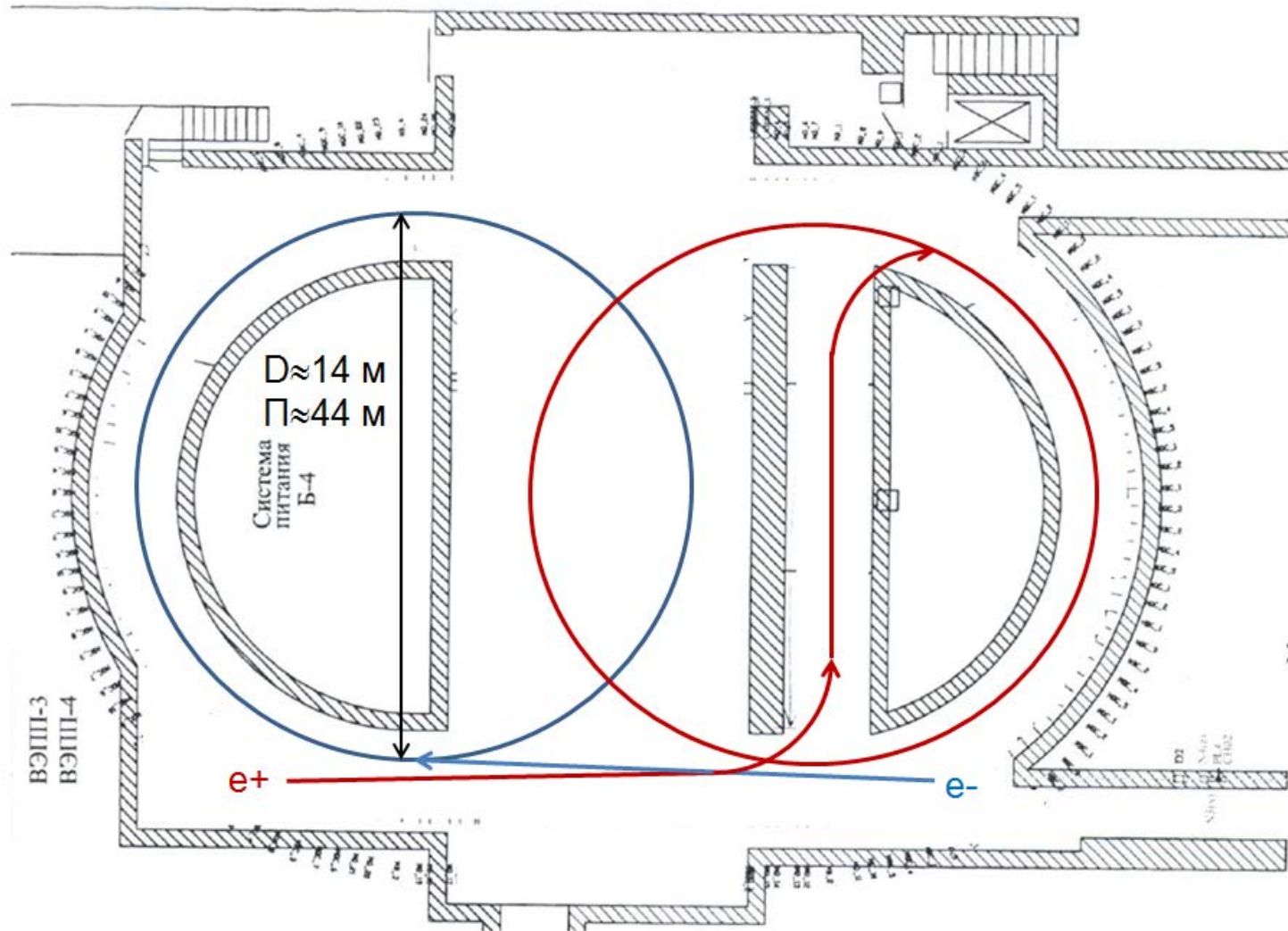
SUMMARY

- The DAΦNE optics model has proved to be reliable in providing collider operation with the momentum compaction factors in the range from +0.034 [10] to -0.036.
- With negative alfa bunches in both rings shorten as predicted by numerical simulations. It has been possible to store high bunch currents with large negative chromaticities.
- No hard limit has been seen in multibunch operation. About 1 A stable currents have been stored in both rings.
- At beam currents up to 300 mA/beam a good specific luminosity has been obtained in beam-beam collisions.

Размещение на ВЭПП-3 (1)



Размещение на ВЭПП-3 (2)



Физика и техника ускорителей

1. Встреча с большим углом и малой бетой (1-2 мм) и изучение эффектов встречи.
 2. Изучение нелинейной динамики при встрече с большим углом и малой бетой.
 3. Оптимизация ДА и МА, уменьшаемых структурой с малым эмиттансом.
 4. Работа с большими токами (~ 1.5 А).
 5. Работа с большим количеством сгустков.
 6. Работа с отрицательной α .
 7. Изучение сильного внутрисгусткового рассеяния и борьба с ним.
 8. Ускорительные технологии: прецизионные магниты, вакуумные камеры с геттерным покрытием, современные обратные связи, точные пикапы и т.п.
- Пункты 1, 3, 4, 5, 6, 8 необходимы для реализации программы создания Супер чарм-тау фабрики.
 - Пункты 3, 4, 5, 6, 7, 8 необходимы для реализации источника СИ с малым эмиттансом.

Время и деньги

- Бустерный синхротрон с энергией 3 ГэВ и длиной 160 м.
- Контракт был подписан в мае 2010 года.
- Через 14 месяцев гирдер с первыми магнитами, вакуумной камерой и BPM представлен заказчику.
- Через 26 месяцев после подписания контракта весь бустер был изготовлен и отправлен заказчику.
- Затраты производства 161 тысяч нч. Затраты НКО 285 ч-м. Участвовало 26 конструкторов. Затраты научных лабораторий 1150 ч-м.

Оценка затрат на μ -трон ~300 тысяч нч, материалы и т.п. – 5 млн.долл. (без лазерной системы для спектроскопии).

Оценка времени – 3 года.

Вопросы и планы

- Интересна ли физическая и техническая программы?
- Реализуемы ли они?
- Соотношение «цена-качество»?
- К маю (?) подготовить документ, отвечающий на вопросы, описывающий физическую программу, детектирующие системы и коллайдер.