

02.02.2018

MP

Г 77

11492

М.И. Сергеев

категоризация

Троицкое, 77

63220-77.

Академия наук СССР
Государственный комитет
по использованию атомной энергии СССР
Институт физики высоких энергий

X, МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО УСКОРИТЕЛЯМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, 10-3. Протвино, 1977

Аннотации докладов

Протвино - 1977

1147
11492

М-24

СОДЕРЖАНИЕ

Сессия I. Физика высоких энергий и крупнейшие действующие ускорители	5
Сессия II. Крупнейшие действующие ускорители	7
Сессия III. Разрабатываемые ускорительно-накопительные комплексы на сверхвысокие энергии	16
Сессия IV. Высокоинтенсивные ускорители на средние энергии	21
Сессия V. Ускорители тяжелых ионов. Коллективные методы ускорения	33
Сессия VI. Встречные пучки	44
Сессия VII. Охлаждение пучков	52
Сессия VIII. Динамика частиц в ускорителях и накопителях	58
Сессия IX. Вывод и формирование пучков частиц для физических экспериментов	71
Сессия X. Сверхпроводящие системы	85
Сессия XI. Динамика частиц в ускорителях и накопителях	93
Сессия XII. Система управления и диагностики	107
Сессия XIII. Перспективы использования ускорителей	120

СВЕРЖНО
1986 г.

63220-74

Сессия
21/11/77

УНИВЕРСИТЕТ СОИАН СССР
Ин-т Публ. Науч.-техн.
Библиотека

Session I.	High Energy Physics and Biggest Accelerators in Operation	5
Session II.	Biggeat Accelerators in Operation	7
Session III.	Superhigh Energy Accelerating and Storage Complexes under Development	18
Session IV.	High Intensity Accelerators for Middle Energies	21
Session V.	Heavy Ion Accelerators, Methods of Collective Acceleration	33
Session VI.	Colliding Beams	44
Session VII.	Beam Cooling	52
Session VIII.	Beam Dynamics in Accelerators and Storage Rings	58
Session IX.	Particle Beam Extraction and Formation for Physical Experiments	71
Session X.	Superconducting Systems	85
Session XI.	Beam Dynamics in Accelerators and Storage Rings	93
Session XII.	Control and Diagnostics Systems	107
Session XIII.	Prospects for Accelerator Utilization	120

Сессия I.

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
И КРУПНЕЙШИЕ ДЕЙСТВУЮЩИЕ УСКОРИТЕЛИ

Session I.

HIGH ENERGY PHYSICS AND BIGGEST ACCELERATORS
IN OPERATION

THE FERMILAB ACCELERATOR:
STATUS AND DEVELOPMENT PLANS

(Invited Paper)

F.R.Huson
Fermi National Accelerator Laboratory
Batavia, Illinois, U.S.A.

The Fermilab accelerator has been in operation for 5 years. The machine has achieved an energy of 500 GeV and an intensity of 2.5×10^{13} protons per pulse. Beam is delivered routinely to 7 targets simultaneously. Future projects at the Laboratory include installation of negative ion injection, construction of an electron-cooling ring, construction of a reverse injection line for the main ring in preparation for pp and $\bar{p}p$ colliding beams, and construction of a superconducting energy doubler. This facility will provide Fermilab with 1-TeV energy on fixed targets and the possibility of up to 2 TeV in the center of mass from $\bar{p}p$ collisions. This facility has been named the Tevatron.

УСКОРИТЕЛЬ ФНАЛ — СОСТОЯНИЕ И ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ

(Приглашенный доклад)

Ф.Р.Хьюзон
ФНАЛ, Батавия, США

Ускоритель ФНАЛ работает уже 5 лет. На машине достигнута энергия ускоренного пучка 500 ГэВ и интенсивность $2,5 \cdot 10^{13}$ протонов/цикл. Осуществлен регулярный вывод пучка одновременно на семь мишеней. Программа развития Лаборатории предусматривает монтаж новой системы инжекции отрицательных ионов, создание кольца с электронным охлаждением, сооружение встречного канала инжекции для получения встречных $p\bar{p}$ - и $\bar{p}p$ -пучков, а также сооружение сверхпроводящего удвоителя энергии. Эта программа обеспечит получение во ФНАЛ энергии взаимодействия 1 ТэВ на неподвижных мишенях и вплоть до 2 ТэВ в системе центра масс при $\bar{p}p$ -столкновениях. Комплекс с описанными возможностями назван Тэватроном.

Сессия II.

КРУПНЕЙШИЕ ДЕЙСТВУЮЩИЕ УСКОРИТЕЛИ

Session II.

BIGGEST ACCELERATORS IN OPERATION

СОСТОЯНИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИФВЭ И ПЛАНЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

Ю.М.Адо, А.Г.Афонин, А.А.Журавлев, В.И.Котов, К.П.Мызников,
Э.А.Мяэ, А.А.Наумов, М.Ф.Овчинников, В.А.Тепляков, Е.Ф.Троянов,
А.В.Самойлов, Ю.С.Ходырев

Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Сообщается об основных направлениях развития ускорительного комплекса ИФВЭ. Обсуждаются особенности работы ускорителя при интенсивности ускоренного пучка до $5 \cdot 10^{12}$ протонов/цикл; приводятся данные о системах вывода и транспортировке пучка, включая нейтринный канал.

STATUS AND FUTURE DEVELOPMENT OF IHEP 76 GEV ACCELERATOR

Yu.M.Ado, A.G.Afonin, A.A.Zhuravlev, V.I.Kotov, K.P.Myznikov,
E.A.Myaе, A.A.Naumov, M.F.Ovchinnikov, V.A.Teplyakov, E.F.Troyanov,
A.V.Samoilov, Yu.S.Khodyrev

Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR

The main trends in the future development of the IHEP accelerator complex are reported. The operation parameters of the

proton synchrotron at the beam intensity of 5×10^{12} ppp are discussed. The information on the beam ejection and transport systems, neutrino beam channel included, is presented.

PRESENT AND FUTURE DEVELOPMENT
ON THE SLAC THREE-KILOMETER ACCELERATOR

(Invited Paper)

G.A.Loew
SLAC, Stanford, USA

This paper reviews the innovations which have recently been made or are being planned on the SLAC three-kilometer accelerator. Following the beam from its origin to the experimental areas, the paper first describes two sources of polarized electrons and various improvements brought about in the conventional injection system. It then covers the SLED or SLAC Energy Development Program which in combination with new higher power klystrons will boost the electron energy into the 30-40 GeV range. The high peak currents (~ 200 mA) which will accompany SLED operation and their beam loading and beam breakup implications are discussed. The beam Switchyard improvements which are necessary to transmit and deliver the higher energy beams are also described. Following these, the paper summarizes some of the innovations which are being implemented in Instrumentation and Control. These include new transducers such as supersensitive beam position monitors, and new computers and microprocessors, the function of which is to upgrade the flexibility of operation of the accelerator and increase the number of simultaneous "interlaced" beams that can be delivered. The paper ends in a discussion of the changes being planned for the generation and delivery of e^{\pm} beams to the PEP ring.

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ
СТАНФОРДСКОГО 3-КИЛОМЕТРОВОГО ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ

(Приглашенный доклад)

Г.А.Лоев
СЛАК, Станфорд, США

Дается обзор выполненных в последнее время или запланированных нововведений на Станфордском 3-километровом ускорителе.

Обзор начинается описанием двух источников поляризованных электронов и различных усовершенствований, введенных в системе инжекции. Далее рассматривается программа по удвоению энергии в ускорителе СЛАК, которая вместе с новыми, более мощными клистродами, позволит повысить верхний энергетический предел ускоренных электронов до уровня 30-40 ГэВ. Наряду с повышением энергии программа предусматривает увеличение интенсивности пучка до 200 МА в импульсе. Обсуждаются связанные с этим проблемы нагрузки ускоряющей системы пучком и обеспечения электрической прочности. Описаны также усовершенствования в системе распределения пучка, необходимые для транспортировки и управления более высокоэнергетичного пучка. Сделан обзор некоторых нововведений в области диагностики и управления. Они включают в себя новые датчики, например такие, как сверхчувствительные мониторы положения пучка, а также новые компьютеры и микропроцессоры, предназначенные для повышения гибкости управления ускорителем и увеличения числа одновременно проводимых экспериментов. В заключение обсуждаются запланированные изменения на ускорителе, связанные с получением пучков электронов и позитронов для кольца ПЕП.

KEK STATUS AND FUTURE PLANS
(Invited Paper)

T.Nishikawa and T.Kamei
National Laboratory for High Energy Physics
Oho-machi, Japan

The construction and the test of KEK accelerator have been favorably progressed on scheduled. In 1974 the preinjector, the linac and the booster accelerated protons to their designed energy. In March 1976 the main ring succeeded to accelerate beams to 10 GeV that was over the designed energy 8 GeV. In the last December the maximum energy was raised up to 11.8 GeV. The extensive machine survey has been done for a year. Then the beam current of the linac is over 150 mA and the booster intensity reaches 5.7×10^{11} ppp, and 5.4×10^{11} ppp is obtained at 8 GeV with nine booster pulse injection to the main ring.

The fast extraction to the bubble chamber and the internal target operation are simultaneously performed during the same main ring pulse. The scheduled experimental program will start

from this May. The booster beam-dump line is being constructed and the extracted booster beams will be used for pulsed neutron experiments and others.

The present KEK project is a milestone of the Japanese high-energy physics program which in future will be extended to a higher energy range. The future plan under considerations among the scientists in the field of high-energy physics and accelerator technologies is the so-called "TRISTAN" or a "Transposal Ring Intersecting Storage Accelerators in Nippon". The circumference of the transposal rings in a same tunnel is about 2 km, i.e. 6 times of the present main ring. It will be capable to perform various types of high-energy physics experiments, both of colliding-beam types and stationary-target ones by choosing different sets of transposal rings.

Another project just supported its R & D' money is a synchrotron radiation facility composed of a 2.5 GeV electron linac and a storage ring dedicated to researches in various fields such as material, biological, medical and industrial sciences. The construction is expected to start from the next fiscal year or April 1978. The linac injector will also be employed as an electron or positron injector for the "TRISTAN Electron Ring".

КЕК - СОСТОЯНИЕ И ПЛАНЫ НА БУДУЩЕЕ (Приглашенный доклад)

Т. Нишикава, Т. Камен
НУКЕП, Япония

Сооружение и запуск ускорителя КЕК осуществляется успешно и в соответствии с намеченными сроками. В 1974 г. были получены протоны с проектной энергией в форинжекторе, линейном ускорителе и бустере. В марте 1976 г. осуществлено ускорение протонов в главном кольце до энергии 10 ГэВ при проектной энергии 8 ГэВ. В декабре 1976 г. максимальная энергия ускоренного пучка была увеличена до 11,8 ГэВ. За год была проведена большая программа по исследованию ускорителя. В настоящее время ток линейного ускорителя превышает 150 мА, в бустере достигнута интенсивность $5,7 \times 10^{11}$ протонов/импульс, при инжекции 9 импульсов бустера в главном кольце достигнута интенсивность $5,4 \times 10^{11}$ протонов/импульс при энергии 8 ГэВ.

Осуществлен быстрый вывод частиц пучка на пузырьковую камеру при параллельной работе с внутренней мишенью. Выполнение намеченной экспериментальной программы начинается в мае этого года. Сооружается канал для выведенного из бустера пучка, который будет использоваться для нейтронных экспериментов с короткой растяжкой и для других целей.

Настоящий проект КЕК является важной вехой в японской программе по физике высоких энергий, которая в дальнейшем намечает освоение более высоких энергетических диапазонов. Среди специалистов по физике высоких энергий обсуждаются планы работы по программе ТРИСТАН - программе сооружения перестраиваемых кольцевых ускорителей-накопителей со встречными пучками. Длина окружности этих колец составляет около 2 км, т.е. в 6 раз больше окружности существующего главного кольца. Комплекс обеспечит проведение различных экспериментов по физике высоких энергий как со встречными пучками, так и со стационарными мишенями путем выбора различных режимов работы колец.

Обеспечен финансированием еще один проект комплекса, состоящего из электронного синхротрона, линейного ускорителя электронов на 2,5 ГэВ и накопительного кольца, предназначенного для проведения исследований в различных областях: материаловедении, биологии, медицине, а также для других промышленных использований. Ожидается, что сооружение комплекса начнется со следующего финансового года, т.е. с апреля 1978 г. Линейный ускоритель будет также использоваться в качестве инжектора электронов или позитронов в электронное кольцо ТРИСТАН.

EVALUATION OF PRESENT AND FUTURE BEAM PERFORMANCE OF THE CERN PS ACCELERATOR COMPLEX

P. Lefèvre
The PS Performance Committee, CERN, Geneva,
Switzerland

Performance figures reached both in beam intensity and densities in the three phase planes are given for the CPS (comprising Linac, PS Booster and PS) which serves as an injector to the SPS and the ISR in addition to supplying protons for its own 25 GeV physics programme.

The achievement of these performances, with the added requirements of pulse to pulse modulation, needed extensive studies and developments in the areas of beam loading compensation, longitudinal and transverse bunch stabilisation, reduction of beam blow-up by stop band compensation and operation with a dynamic working point, and improvement of beam matching.

In addition, Linac beam optimisation, injection into the PSB, different modes of recombination of the PSB beam, transfer and injection into the PS, continuous transfer ejection for the SPS are analysed from the beam quality point of view. The performance reached in the production of high energy deuterons and α particles are indicated. Studies for future beam users, such as production of low energy protons for cooling experiments and very dense beams for \bar{p} production are described.

Ways to increase the intensity for the SPS, either by multibatch filling (cycling the PS several times for one SPS cycle) or by higher intensity of single pulse filling are compared with respect to the requirements in intensity and beam dimensions.

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСТОЯЩИХ И БУДУЩИХ ПУЧКОВ В УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ЦЕРН НА ЭНЕРГИЮ 28 ГЭВ

П. Лефевр
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Приведены значения интенсивности пучка и фазовой плотности в трех плоскостях фазового пространства, полученные в ускорительном комплексе ЦЕРН на энергию 28 ГэВ, включающем линейный ускоритель, бустер и протонный синхротрон (ПС). Комплекс используется в качестве инжектора в накопительные кольца и в протонный синхротрон на энергию 400 ГэВ (СПС), а также обеспечивает пучок для физических исследований в диапазоне энергий до 25 ГэВ.

Для достижения указанных характеристик пучка с повышенными требованиями на их стабильность от цикла к циклу потребовалось выполнить широкую программу исследований и усовершенствований для решения различных проблем, таких, как компенсация нагрузки пучком, продольная и поперечная стабилизация банчей, уменьшение раздувания размеров пучка путем коррекции различных

резонансных полос и динамического управления положением рабочей точки в течение цикла, а также улучшение захвата пучка.

Проведен анализ влияния на качество выходного пучка СПС таких операций, как оптимизация пучка линейного ускорителя, режим инжекции в бустер, различные модификации выходных пучков бустера, перевод и инжекция пучка в ПС, медленный вывод и перевод пучка из ПС в СПС. Отмечены достигнутые интенсивности дейтронов и α -частиц высоких энергий. Описаны проведенные исследования новых возможностей использования пучка в будущем, таких, как получение протонов с низкой энергией для экспериментов по охлаждению и получение очень плотных пучков для производства антипротонов.

Сравнение различных способов повышения интенсивности в СПС - многократное заполнение (т.е. использование нескольких циклов протонного синхротрона в течение одного цикла СПС) или повышение интенсивности импульса ПС при однократной инжекции в СПС - проводится с точки зрения выдвигаемых требований на интенсивность и размеры пучка СПС.

DESY 1977 - A MULTI-PURPOSE PARTICLE ACCELERATOR

H. Kumpfert
DESY, Hamburg, FRG

Desy was originally designed as a 7.5 GeV-Electron Synchrotron for the generation of high energy electron and photon beams for elementary particle physics.

After more than 13 years of successful operation, DESY continues to serve high energy physics with electron, positron and photon beams. In addition, it serves as an injector for the DORIS and PETRA electron-positron storage rings, and as a synchrotron light source for several laboratories. Furthermore test beams are supplied, mainly for testing high energy physics apparatus. Finally, protons are available for accelerator physics experiments.

A description of the combined operation of DESY, its injectors, and its customers is presented in this paper.

Г. Кумпферт
ДЕЗИ, Гамбург, ФРГ

Первоначально электронный синхротрон ДЕЗИ на энергию 7,5 ГэВ предназначался для получения пучков электронов и фотонов высоких энергий для исследований в области физики элементарных частиц.

После более 13-ти лет успешной работы ДЕЗИ продолжает обеспечивать исследования в области физики высоких энергий электронными, позитронными и фотонными пучками. Помимо этого ДЕЗИ используется в качестве инжектора в накопительные электрон-позитронные кольца ДОРИС и ПЕТРА, а также является источником синхротронного излучения для нескольких лабораторий. Далее ДЕЗИ составляет различные тестовые пучки, главным образом для испытания и наладки экспериментальной аппаратуры. И, наконец, ДЕЗИ обеспечивает протоны для физических исследований по ускорительной тематике.

Описываются комбинированные режимы работы синхротрона ДЕЗИ, его инжекторов и потребителей.

RECENT DEVELOPMENTS ON NIMROD

I.S.K. Gardner
Rutherford Laboratory, Chilton, Didcot, Oxfordshire,
England

A description is given of recent developments on the 7 GeV proton synchrotron, Nimrod. These include: an improved system of magnet field correction; a full aperture current transformer to measure the accepted charge at injection; a system developed to measure the intensity, position and profile of the proton beam at various points in the external beam transport lines using secondary emission chambers; multiple fast spill for a rapid cycling bubble chamber and a fast spill of low energy beam for the study of a neutron spallation target.

И.С.К.Гарднер
Лаборатория им. Резерфорда, Чилтон, Англия

Приведено описание последних разработок на протонном синхротроне НИМРОД с энергией 7 ГэВ. Они включают: усовершенствованную систему коррекции магнитного поля; полноапертурный трансформатор тока для измерения накопленного заряда при инжекции; разработанную на базе камер вторичной эмиссии систему для измерения интенсивности, положения и профиля выведенного протонного пучка в различных точках канала; многократный быстрый вывод для быстроциклической пузырьковой камеры и быстрый вывод низкоэнергетического пучка для изучения нейтронных мишеней.

FUTURE DEVELOPMENTS OF SUPERHIGH ENERGY PROTON ACCELERATORS
(Invited Paper)

V.A.Berezhnoy, A.A.Vasiliev

State Committee for Utilization of Atomic Energy, Moscow, USSR

The paper describes some trends in technology of super-high energy proton accelerators, which allowed to improve greatly energy, intensity, reliability, and other parameters. These trends involve cascade type of accelerator construction, strong focusing, colliding beams, cybernetic control, superconducting magnets, recharge injection of H^- ions, electron and stochastic cooling, etc.

Major accelerator parameters are estimated with due regard to the requirements for the high energy physical experiments.

ISABELLE - A 200 + 200 GeV COLLIDING BEAM FACILITY

(Invited Paper)

E.D. Courant

Brookhaven National Laboratory, Upton, New York
and

State University of New York, Stony Brook, New York, USA

Plans are under way for the construction of a pair of intersecting storage rings providing for colliding beams of protons of energy at least 200 GeV. The rings (circumference 2.62 km) will contain superconducting magnetics constructed with braided Nb-Ti filamentary wire, with a peak field of 4.0 Tesla corresponding to an energy of 200 GeV. A current of 10 amperes of protons will be injected at 29 GeV from the existing AGS accelerator at Brookhaven, using the energy stacking technique similar to that employed at CERN ISR; subsequently the stored beam will be accelerated gradually in the storage rings. Six intersection areas will

Сессия III. РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
НА СВЕРХВЫСОКИЕ ЭНЕРГИИ

Session III. SUPERHIGH ENERGY ACCELERATING AND STORAGE COMPLEXES
UNDER DEVELOPMENT

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПРОТОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ НА СВЕРХВЫСОКИЕ ЭНЕРГИИ

(Приглашенный доклад)

В.А.Березной, А.А.Васильев

Государственный комитет по использованию атомной энергии, СССР

Рассмотрены некоторые направления развития протонных ускорителей на сверхвысокие энергии, позволившие существенно улучшить такие параметры, как энергия, интенсивность, надежность и другие. Эти направления связаны с использованием каскадного принципа построения ускорительных комплексов, принципом жесткой фокусировки, использованием сталкивающихся пучков, применением кибернетических методов управления, использованием сверхпроводящих магнитов, перезарядной инжекцией отрицательных ионов водорода, электронным и стохастическим охлаждением и другими факторами. Сделана попытка экстраполяции некоторых важнейших параметров ускорительных комплексов с учетом требований, предъявляемых физическими экспериментами в области физики высоких энергий.

be provided for experiments. They are designed to provide flexibility in beam characteristics for different experiments. The maximum luminosity at full energy is expected to be $1.0 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$, at 29 GeV it will be approximately $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$. Recent work with prototype magnets indicates that fields of 5.0 Tesla can be produced. This has led to an alternative design of somewhat larger rings (circumference 3.77 km) that should be capable of providing colliding beams at 400 + 400 GeV.

ИЗАБЕЛЛА - УСТАНОВКА СО ВСТРЕЧНЫМИ ПУЧКАМИ 200 x 200 ГэВ

(Приглашенный доклад)

Е. Д. Курант

Брукгейвенская Национальная Лаборатория, Аптон, Нью-Йорк

и

Государственный Университет, Нью-Йорк, Стони-Брук, США

Планируется сооружение двух пересекающихся накопительных колец с целью получения встречных пучков протонов с энергией не меньше 200 ГэВ. Кольца (с периметром орбиты 2,62 км) будут содержать сверхпроводящие магниты, сконструированные на основе оплеток из жил Nb-Ti, с максимальным полем 4 Т, соответствующем энергии 200 ГэВ. Ток протонов 10 А будет инжектироваться при энергии 29 ГэВ из существующего в Брукгейвене синхротрона

с переменным градиентом с использованием техники накопления пучков, разработанной в накопительных кольцах ЦЕРН; последовательно накапливаемый пучок будет постепенно ускоряться в накопительных кольцах. Для экспериментов будет создано шесть участков пересечения пучков. Они конструируются таким образом, чтобы обеспечить гибкость параметров пучка при различных экспериментах. Максимальная светимость при полной энергии ожидается порядка $1 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$ а при энергии 29 ГэВ - примерно $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$. Недавняя работа, проведенная на модели магнита, показывает, что можно получить поле 5 Т. Это приводит к выводу о возможности сооружения несколько более длинных колец (с длиной орбиты 3,77 км), которые смогли бы обеспечить сталкивающиеся пучки при энергии 400 x 400 ГэВ.

DESIGN OF A 400-400 GeV Version of ISABELLE A. van Steenbergen Brookhaven National Laboratory, Upton, New York USA

An extrapolation of the ISABELLE 200-200 GeV proton-proton storage rings to higher energy has been studied and here the conceptual design is presented for a 400-400 GeV version. The basic storage ring structure has been so modified that the circumference of the rings could be substantially increased without an increase of the transition energy. Because of the now well established microwave longitudinal bunched beam instability this is essential in maintaining a viable longitudinal impedance limit for the overall structure. The principal parameters for the 400 GeV structure are given and compared with the basic 200 GeV design. Performance limitations, where they may differ from the 200 GeV design are indicated. Each 400 GeV ring uses superconducting magnets essentially identical to those employed in the 200 GeV design, but energized to 50 kG peak field. The justification for this is given together with other technical features differing from the basic design. It is concluded that for a cost increase of 40% over the basic p-p storage ring design twice the center-of-mass energy could be provided for the ISABELLE proton-proton colliding beam facility.

ПРОЕКТ ВАРИАНТА УСТАНОВКИ ИЗАБЕЛЛА НА ЭНЕРГИЮ 400 x 400 ГэВ

А. ван Стинберген

БНЛ, Аптон, Нью-Йорк, США

Проведено исследование возможностей продвижения в область более высоких энергий на протонных накопительных кольцах ИЗАБЕЛЛА и представлены основные концепции варианта проекта на энергию 400 x 400 ГэВ. Структура основного накопительного кольца усовершенствована таким образом, чтобы протяженность колец могла быть значительно увеличена без увеличения энергии перехода. Из-за хорошо изученных эффектов продольной неустойчивости струшированного пучка необходимо обеспечить достаточно низкое значение продольного импеданса всей структуры. Приведены основ-

ные параметры 400-ГэВ структуры и сравнение их с соответствующими параметрами 200-ГэВ структуры. Приводятся полученные ограничения для случаев, когда они могут отличаться от значений 200-ГэВ проекта. В каждом 400-ГэВ кольце используются такие же сверхпроводящие магниты, что и в 200-ГэВ проекте, но работающие при максимальных значениях поля до 50 кГс. Приведено обоснование возможности реализации таких режимов работы, а также других технических отличий от основного проекта.

В заключение отмечается, что в протонном накопительном комплексе ИЗАБЕЛЛА может быть обеспечено удвоение энергии в системе центра масс при увеличении затрат на 40%.

О ВОЗМОЖНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ОБЛУЧАЕМОЙ ПРОТОНАМИ МИШЕНИ

В.И.Балбеков, С.С.Герштейн, В.А.Майшеев
К.П.Музников, А.М.Фролов

Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР
Б.Б.Говорков

Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Рассматривается возможность получения интенсивных электронных и позитронных пучков с энергией в десятки ГэВ с помощью мишени, облучаемой протонами с энергией ТэВ-ного диапазона. Обсуждаются перспективы использования этого метода для инжекции электронов в накопительное кольцо и последующих $e-p$ столкновений.

ON POSSIBILITY TO STACK INTENSE ELECTRON BEAM
WITH THE HELP OF TARGET, BOMBARDED BY PROTONS

V.I.Balbekov, S.S.Gerstein, V.A.Maishev, K.P.Muznikov, A.M.Frolov
Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR
B.B.Govorkov
P.N.Lebedev Physical Institute, Moscow, USSR

A possibility to obtain intense electron and positron beams with the energy of several tens of GeV with the help of the target, bombarded by protons with the energy of some TeV is considered. The ways to exploit this method in the future to inject electrons into the storage ring with further ep -collisions are discussed.

Сессия IV.

ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫЕ УСКОРИТЕЛИ
НА СРЕДНИЕ ЭНЕРГИИ

Session IV.

HIGH INTENSITY ACCELERATORS
FOR MIDDLE ENERGIES

TRIUMF: STATUS AND DEVELOPMENT PLANS
(Invited Paper)
G.H.Mackenzie
TRIUMF, Vancouver, B.C., Canada

The TRIUMF H^- cyclotron has operated with 80% availability during the past year. Presently two proton beams are extracted simultaneously with energies which may be varied independently from 183 to 520 MeV, while the ratio of their intensities may be adjusted from unity to 1/5000. Beam intensities up to 10 μA are being scheduled for regular operation and 50 μA have been achieved during tests. Reproducibility is such that with existing diagnostics and computer-assisted tuning the cyclotron can be turned on and a previously established running mode reproduced in 4 h. A Lamb-shift polarized source delivers 30 nA of protons on target with $\pm 78\%$ polarization, and monokinetic fast neutrons, 40-70% polarized, are available from a LiD_2 target.

During 1977 a high current beam dump and thermal neutron facility will be installed to allow the planned operation at 100 μA . On other beam lines an isotope production facility and

a medium resolution spectrometer are almost complete. A second low current beam line, to permit more efficient exploitation of the polarized beam, and a second meson production target feeding a high resolution, high luminosity, high energy pion channel, will be installed in the following year.

The nature of negative ions will continue to be exploited for diagnostic purposes and to extend the energy range for the extracted beam down to 70 MeV. The addition of a third harmonic component to the RF will increase the macroscopic duty factor from 11% to 20% and assist operation at higher extracted currents or enable operation with separated turns and an energy spread reduced from 1.5 to 0.1 MeV.

ТРИУМФ - СОСТОЯНИЕ И ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ
(Приглашенный доклад)

Г.Х.Маккензи
ТРИУМФ, Ванкувер, Канада

В течение последнего года коэффициент использования рабочего времени циклотрона ТРИУМФ, предназначенного для ускорения ионов H^- , составил 80%. В настоящее время осуществлен одновременный вывод двух протонных пучков, энергия которых может варьироваться независимо в диапазоне от 183 до 520 МэВ, а отношение интенсивностей пучков может изменяться от 1 до 1/5000. Запланирована регулярная работа при интенсивности пучков до 10 мкА, во время отдельных испытаний была достигнута интенсивность 50 мкА. Использование существующей диагностики и настройки циклотрона с помощью ЭМ позволяет получить любой заданный режим работы в течение 4 ч после включения машины. Лэмбовский источник обеспечивает до 30 нА протонов на мишени при 78%-ной поляризации и выход быстрых монохроматических нейтронов из мишени LiD_2 , поляризованных на 40-70%.

Для обеспечения возможности работы с запланированным током пучка 100 мкА в течение 1977 года будет установлена приемная мишень для интенсивного пучка и оборудование для работы с тепловы-

ми нейтронами. На других каналах пучка почти закончена установка оборудования для производства изотопов, а также спектрометров со средним разрешением.

Для более эффективного использования поляризованных пучков в следующем году будут созданы второй канал для пучка с малым током и вторая мишень для получения мезонов, предназначенных для использования в пионном канале с высоким разрешением и светимостью.

Предполагается дальнейшее использование отрицательных ионов для диагностических целей и для уменьшения нижней границы энергетического диапазона выведенного пучка до 70 МэВ. Введение третьей гармоники в системе ВЧ-питания увеличит общий показатель скважности с 11 до 20%, что позволит работать с более интенсивными выведенными пучками или осуществить режим работы с разделенными оборотами, при котором энергетический разброс должен уменьшиться с 1,5 до 0,1 МэВ.

SIN STATUS REPORT

H.A. Willax

Swiss Institute for Nuclear Research, Villigen, Switzerland

The two-stage isochronous cyclotron of SIN, designed for intense CW-beams of 590 MeV protons to be used for meson production, was commissioned in 1974. By now, the machine is in extensive use, providing beams to experimentalists for, on an average, 100 hours per week with a reliability of close to 90%.

As a consequence of several steps of improvement - mainly directed to the quality and stability of the injector cyclotron beam - the ring can be operated in a "separated orbit mode", where extraction efficiencies between 99.6 and 99.9% can be achieved routinely. At present, in normal operation the beam intensities lie between 50 and 80 μA , the peak being 112 μA .

For experiments on muon decay a beam chopping system provides a 200 or 400 kHz macro-structure with about equal on-off-time, the intensity suppression in the off cycle being better than 10^{-6} . Also polarized protons have been accelerated to full energy for experimental use. For about 1/4 of the total scheduled beam time the injector operates on its own as a variable energy

cyclotron, providing α -particles, p and d (also polarized) for classical nuclear research.

The 72 MeV p beam of the injector is used for routine production of ^{123}I on half of shift per week.

Work also progresses on a few smaller projects which should lead to gradual further improvement of the performance of our accelerator system. The study of a second injector, especially designed for beam currents up to 1 mA, has reached the point where engineering can be started.

СИН - СОСТОЯНИЕ ДЕЛ

Г.А.Виллакс

Институт ядерных исследований, Виллиген, Швейцария

Проект двухступенчатого изохронного циклотрона СИН, предназначенного для обеспечения интенсивных протонных пучков с энергией 590 МэВ с целью получения мезонов, был утвержден в 1974 году. В настоящий момент машина находится в интенсивной эксплуатации, обеспечивая пучками экспериментальные исследования в среднем около 100 часов в неделю при коэффициенте использования $\sim 90\%$.

В результате ряда проведенных усовершенствований, направленных главным образом на повышение стабильности и качества пучка инжекторного циклотрона, обеспечена возможность работы кольца в режиме разделенных орбит, при котором эффективность вывода пучка составляет $99,6 \pm 99,9\%$. В настоящее время при регулярной работе интенсивность пучка находится в диапазоне от 50 до 80 мкА при максимальном значении интенсивности 112 мкА .

Для экспериментов по мюонному распаду система "нарезания пучка" обеспечивает 200- или 400-кГц макроструктуру пучка со скважностью $\sim 0,5$ и с подавлением интенсивности в незаполненной части цикла до уровня лучше, чем 10^{-6} . Для экспериментальных целей обеспечено также ускорение до полной энергии поляризованных протонов. Около четверти всего планового времени инжектор работает в качестве самостоятельного ускорителя-циклотрона с регулируемой энергией, обеспечивая α -частицы, протоны и дейтроны (также и поляризованные) для классических ядерных исследований.

Протонный пучок инжектора с энергией 72 МэВ регулярно используется для получения J^{123} . Достигнут прогресс в работах по нескольким небольшим проектам, которые должны привести к дальнейшему постепенному улучшению возможностей нашего ускорительного комплекса. Разработка второго инжектора с током до 1 мА достигла этапа инженерного проектирования.

СИЛЬНОТОЧНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ -

- МЕЗОННАЯ ФАБРИКА ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АН СССР

В.Г.Андреев, Г.Н.Бадких, В.Г.Кульман, Б.П.Мурин, А.П.Федотов
Радиотехнический институт АН СССР, Москва

В.Д.Бурлаков, С.К.Вели, В.М.Лобашев, В.Л.Серов, А.Н.Тавхелидзе
Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

В.А.Глухих, О.А.Гусев, И.Ф.Малышев, Н.А.Моносзон, В.П.Надгорный
Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры,
Ленинград

А.Н.Гальханцян, Е.Д.Макеев, Л.Л.Пальмский,
Н.С.Пашков, Ф.З.Ширяев

Государственный союзный проектный институт, Москва, СССР

Содержится описание современного состояния сооружаемого в Институте ядерных исследований АН СССР сильноточного линейного ускорителя мезонной фабрики. Инжектор ускорителя, ускорительные системы начальной и основной части, фокусирующие элементы и ряд других узлов находятся в процессе заводского изготовления. Приведены результаты предварительных испытаний высокостабильного фундамента ускорителя. Проведены исследования полномасштабных макетов систем высокочастотного питания, ускоряющих структур и некоторых других систем. Новый тип ускоряющей структуры основной части ускорителя, созданной в Радиотехническом институте АН СССР, успешно прошел испытания в режиме повышенной мощности (длительность импульса 260 нс, частота повторения 100 Гц, градиент ускоряющего поля 2,5 МВ/м). Испытания подтвердили преимущества этой структуры для сильноточных линейных ускорителей по сравнению со структурами, применявшимися ранее.

HIGH CURRENT LINAC - MESON FACTORY OF THE INSTITUTE
FOR NUCLEAR RESEARCH OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR

V.G.Andreev, G.I.Batskich, V.G.Kulman, B.P.Murin, A.P.Fedotov
Radiotechnical Institute of the Academy of Science of the USSR,
Moscow

V.A.Glukhikh, O.A.Gusev, I.F.Malyshv, N.A.Monoszon, V.P.Nadgorniy
Scientific Research Institute of Electrophysical Apparatus,
Leningrad, USSR

V.D.Burlakov, S.K.Yessin, V.M.Lobashev, V.L.Serov, A.N.Tavkhelidze
Institute for Nuclear Research of the Academy of Sciences
of the USSR, Moscow

A.N.Gyulhandanjan, E.L.Makeev, L.L.Palmsky, I.S.Pashkov, F.Z.Shiryaev
State Designing Institute of the State Committee for
Utilization of Atomic Energy, Moscow, USSR

The present status of high-intensity linac-type meson factory being built at the Institute for Nuclear Research is described. The injector, accelerating structures of the initial and main parts of the accelerator, focusing elements and some other parts are in the stage of manufacturing. The preliminary results of the tests of the accelerator high-stable foundation are presented. The full scale prototypes of RF-power systems and the accelerating structures have been studied. Successful test of a new type of the accelerating structure for the main part of the accelerator developed at the Radiotechnical Institute of the Academy of Sciences of the USSR has been carried out at a power level exceeding the nominal one (260 μ s pulse duration, 100 Hz repetition frequency, 2.5 MeV/m accelerating field gradient). This test showed the advantages of the structure for high current linacs over earlier ones.

РАБОТЫ ПО СИЛЬНОТОЧНЫМ ПРОТОННЫМ ПУЧКАМ В НОВОСИБИРСКЕ
(ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПЕНСАЦИЯ, ПЕРЕЗАРЯДНАЯ ИНЖЕКЦИЯ, ИСТОЧНИКИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ)

(Приглашенный доклад)

Ю.И.Бельченко, Г.И.Будкер, Г.Е.Деревянкин, Г.И.Димов,
В.Г.Дудников, Г.В.Росляков, В.Е.Чуприянов, В.Г.Шамовский
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Приводятся результаты экспериментов по накоплению перезарядным методом интенсивных протонных пучков в ускорительном кольце. За счет компенсации пространственного заряда протонов электронами удалось получить протонный пучок в кольце с током, превышающим предел по пространственному заряду более чем в 5 раз.

Рассматриваются перспективы повышения протонных токов в бустерах за счет компенсации пространственного заряда электронами и отрицательными ионами иода.

Кратко обсуждаются основные результаты и возможности перезарядного метода.

Приводятся основные результаты по развитию высокоточных источников отрицательных ионов водорода для ускорителей, в особенности для бустеров протонных синхротронов и мощных линейных ускорителей (мезонных фабрик).

HIGH CURRENT PROTON BEAMS AT NOVOSIBIRSK
(ELECTRON COMPENSATION, CHARGE EXCHANGE INJECTION,
NEGATIVE ION SOURCES)
(Invited Paper)

Yu.I.Bel'chenko, G.I.Budker, G.E.Derevyankin, G.I.Dimov,
V.G.Dudnikov, G.V.Roslyakov, V.E.Chupriyanov, V.G.Shamovsky
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

In this paper the results of experiments on the intense proton beam storing in accelerators using the method of charge exchange injection are presented. Due to compensation of the proton space charge by electrons we obtained the proton beam in

the storage ring with a current more than 5 times higher with respect to the space charge limit.

Prospects for the proton currents in boosters to be increased due to compensation of the space charge by electrons and the iodine negative ions are also considered.

Main results and possibilities of the charge exchange injection are briefly discussed in the paper.

Main results of the development of high current sources of hydrogen negative ions designed for accelerators and, in particular, for the proton synchrotron boosters and powerful linear accelerators (meson factories) are given.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИНХРОЦИКЛОТРОНА НА ЭНЕРГИЮ ПРОТОНОВ I ГЭВ В ГАТЧИНЕ

Н.К.Абросимов, С.П.Дмитриев, В.А.Елисеев, А.В.Куликов,
Ю.Т.Миронов, Г.Ф.Михеев, Г.А.Рябов, Н.Н.Чернов
Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
Академии Наук СССР

Обсуждаются итоги работы по усовершенствованию синхротрона ЛИЯФ с момента его пуска в эксплуатацию в 1970 году.

На синхротроне установлен новый вариатор частоты и проведена оптимизация его частотной и амплитудной программ. Введены в эксплуатацию система временной растяжки пучка с использованием СИ-электрода и система однооборотного сброса протонного пучка на внутреннюю нейтронообразующую мишень. Создан ряд новых пучков: τ -мезонный канал высокой энергии, комбинированный τ - μ -мезонный канал низкой энергии, пучок поляризованных протонов, медицинский протонный тракт, используемый для лечения онкологических больных, импульсный нейтронный пучок для спектрометра по времени пролета, а также тракт для исследования короткоживущих нейтронодефицитных изотопов. Проведено усовершенствование радиационной защиты синхротрона и физических установок. Осуществляется программа автоматизации ускорителя и трактов пучков.

В настоящее время синхротрон ЛИЯФ работает ~5000 часов в год.

STATUS REPORT ON I GEV SYNCHROCYCLOTRON IN GATCHINA

N.K.Abrossimov, S.P.Dmitriev, V.A.Elisseev, A.V.Kulikov,
Yu.T.Mironov, G.F.Mickeev, G.A.Riabov, N.N.Chernov
Leningrad Nuclear Physics Institute, USSR

The progress on Gatchina synchrocyclotron since 1970 when the experimental programme was started is described.

The new technique and systems have been installed: a new rotating condenser, a system for matching the frequency and RF-voltage during the accelerating cycle, a long burst operation system and one-turn beam deflector for the internal neutron-production target.

The new beams have been developed: high energy pion beam channel, low energy combined pion-muon beam channel, polarized proton beam, special proton beam for medical applications, flash neutron beam for a time-of-flight neutron spectrometer and proton beam for study of short-living neutron deficit isotopes. The radiation shielding of the experimental area was improved. The computer control system for accelerator and the beam transport elements is under development. The synchrocyclotron is in operation about 5000 hours per year.

THE PIGMI PROGRAM AT LASL

E.A. Knapp and D.A. Swenson
University of California
Los Alamos Scientific Laboratory
Los Alamos, New Mexico, USA

A program aimed at the development of smaller, less expensive and more reliable proton linacs, for Pion Generators for Medical Applications (PIGMI), will be described. Major innovations in this program include: higher frequency structures (450 and 1350 MHz), higher accelerating gradients (5-8 MV/m), lower injection energy (few hundred kV), waveguide manifold rf distribution, and alternating phase focusing for the first few meters, followed by permanent-magnet quadrupole focusing for the remainder of the linac. Current status and eventual goals of the experimental program will be described.

Е. А. Кнапп, Д. А. Свенсон
ЛАСЛ, Лос-Аламос, США

Описана программа разработки малогабаритного, дешевого и надежного линейного ускорителя для ПИГМИ — псионного генератора для медицинских исследований. Основные нововведения, предусматриваемые программой: более высокочастотная ускоряющая структура (450 и 1350 МГц), повышенный градиент ускоряющего поля (5–8 МВ/м), более низкая энергия инжекции (несколько сот кВ), волноводная разводка ВЧ-мощности, переменного-фазовая фокусировка в начальной части машины и квадрупольная фокусировка на постоянных магнитах в остальной части ускорителя. Описываются текущее состояние и конечные цели экспериментальной программы.

ACCELERATING AND FOCUSING STRUCTURES FOR PIGMI

D.A. Swenson, E.D. Bush, R.F. Holsinger,
J.J. Manca, N. Saito and J.E. Stovall
Los Alamos Scientific Laboratory, USA

A number of extensions to proton linac technology are being pursued under the PIGMI (Pion Generator for Medical Irradiations) Program at LASL. In particular, this paper will concentrate on recent developments in three areas relevant to the acceleration and focusing of proton beams, namely, the alternating phase focused (APF) linac structure, the disk and washer linac structure, and small, high-gradient, permanent magnet quadrupole lenses. An APF linac structure is being developed for the acceleration and focusing role in the PIGMI application from the injection energy of 250 keV to a few MeV where a transition to a permanent magnet quadrupole focused linac structure is made. The basic geometries and the calculated field distributions in single and multicell sections of the structure will be described. The disk and washer linac structure, pioneered by V.G. Andreev of the Radio Technical Institute, is under consideration for the high velocity ($\beta > 0.5$) application in the PIGMI Program. Calcula-

tions of the field distributions in certain modes of the single cell and multicell geometries will be presented, together with some measured mode spectra. The preliminary designs of small, high-gradient, permanent magnet quadrupole lenses will be presented. The measured and calculated multipole harmonics will be compared. Techniques for tailoring the gradients to the desired values will be discussed.

УСКОРЯЮЩАЯ И ФОКУСИРУЮЩАЯ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПИГМИ

Д. А. Свенсон, Е. Д. Буш, Р. Ф. Холзингер,
Дж. Дж. Манка, Н. Сайто, Дж. Е. Стоувалл
ЛАСЛ, Лос-Аламос, США

Ряд усовершенствований в технологии линейных ускорителей предлагается использовать при разработке программы ПИГМИ (псионного генератора для медицинских исследований) в ЛАСЛ. В частности, уделяется внимание последним достижениям в трех областях, связанных с ускорением и фокусировкой протонных пучков, а именно: структуре с переменного-фазовой фокусировкой, ускоряющей структуре с проводящими шайбами и диафрагмами и квадрупольными линзами на постоянных магнитах. Структуру с переменного-фазовой фокусировкой предполагается использовать для ускорения и фокусировки пучка от энергии инжекции 250 кэВ до нескольких МэВ, после чего осуществляется переход на структуру с квадрупольной фокусировкой на постоянных магнитах. Описаны основная геометрия и расчетное распределение полей в простой и многоячеечной секциях. Рассмотрена возможность использования предложенной В. Г. Андреевым (РТИ АН СССР) ускоряющей структуры с проводящими шайбами и диафрагмами в ПИГМИ вплоть до высоких энергий ($\beta > 0,5$). Представлены расчеты распределения поля для некоторых вариантов простых ячеек, а также многоячеечная геометрия вместе с измеренным спектром собственных частот. Описана предварительная конструкция малогабаритных высокоградиентных квадрупольных линз на постоянных магнитах. Сравниваются расчетные и измеренные значения мультипольных гармоник. Обсуждается технология получения заданных значений градиентов.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ СВЕТИМОСТИ УСКОРЕННОГО ПУЧКА
В СИНХРОТРОНЕ

Е.М.Мороз, К.Н.Шорин

Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

В электронном синхротроне ФИАН на 600 МэВ исследовано влияние на вертикальный размер пучка нерезонансной связи вертикальных и радиальных колебаний, вызываемой наклоном dz_0/dr_0 меридианной поверхности ускорителя в условиях раскачки радиальных колебаний квантовыми флуктуациями излучения.

В экспериментах подтверждено вертикальное сжатие пучка при импульсном уменьшении показателя поля n ускорителя, а также изменение вертикального размера пучка, вызываемое различными вариантами распределения по азимуту Θ фактора dz_0/dr_0 .

В эксплуатационном режиме ускорителя осуществлено уменьшение в 2-3 раза вертикального размера пучка, сопровождаемое соответствующим увеличением его светимости.

EXPERIMENTS ON INCREASING SYNCHROTRON BEAM LUMINOSITY

E.M.Moroz, K.N.Shorin

P.N.Lebedev Physical Institute,
Academy of Sciences of the USSR, Moscow

On the 600-MeV electron synchrotron of the Lebedev Physical Institute, there has been investigated the effect of non-resonant coupling of radial and vertical oscillations on the vertical dimension of the beam in the presence of radial antidamping due to quantum fluctuations of synchrotron radiation. The coupling was produced by the median surface slope dz_0/dr_0 .

Vertical compression of the beam at pulsed decrease of the field index n as well as variation of the vertical dimension of the beam under various azimuthal distributions Θ of the slope dz_0/dr_0 have been confirmed experimentally.

A two- or three-fold decrease of the vertical dimension, with a corresponding increase of the beam luminosity, has been achieved in a normal mode of operation of the accelerator.

Сессия V.

УСКОРИТЕЛИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ.
КОЛЛЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УСКОРЕНИЯ

Session V.

HEAVY ION ACCELERATORS. METHODS
OF COLLECTIVE ACCELERATION

RELATIVISTIC HEAVY ION ACCELERATORS

(Invited Paper)

H.A. Grunder, Ch.W. Leemann and F.B. Selph
Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, USA

There is a growing interest in the scientific community in the use of accelerators to produce relativistic heavy ion beams for a number of purposes. Used as projectiles to probe nuclear matter, it now appears that the short interaction times of relativistic ions, which allows reaction products to separate before nuclear forces have time to operate, is a great advantage in that understanding of the final states becomes much less complicated. Use can also be made of heavy ion beams as simulated cosmic rays for astrophysical research and in planning space probes.

The medical use of heavy ions for studies of radiation biology, for radiation therapy, and for diagnostic radiology has opened up a whole new field for the use of medium-mass ions of ~ 500 MeV/amu.

Use of high energy, high mass particles as a means for delivering sufficient energy to a pellet containing a DT mixture to trigger a thermonuclear reaction, to be used for fusion power generation, has become a subject of intense study.

At present the only relativistic heavy ion accelerator is the Bevalac at LBL. It has been devoted entirely to this use since 1974. The operating experience and capabilities of this machine are reviewed, as well as present and planned experimental programs.

Design of accelerators for relativistic heavy ions is discussed. A number of considerations special to heavy ion acceleration, will cause a machine if optimally designed for heavy ion acceleration, to differ significantly from a proton machine. A possible set of parameters is presented for an accelerator to produce intense beams of mass 200 ions, at energies up to 10 GeV/amu.

УСКОРИТЕЛИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ДО РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭНЕРГИЙ

(Приглашенный доклад)

Г.А.Грундер, Ч.В.Леemann, Ф.Б.Селф
ЛБЛ, Беркли, США

Наблюдается возрастающий интерес научной общественности к ускорителям пучков релятивистских тяжелых ионов, которые могут быть использованы для разнообразных целей. Использование тяжелых ионов в качестве снарядов при изучении ядерной материи дает большие преимущества, так как благодаря малым временам взаимодействия релятивистских ионов появляется возможность разделить продукты реакции до того, как в дело вступают ядерные силы, так что понимание конечных состояний становится гораздо менее сложным. Пучки тяжелых ионов могут использоваться для моделирования космических лучей при астрофизических исследованиях и планомерном изучении космического пространства.

Для ионов с промежуточными массами и энергиями ~500 МэВ/нуклон открывается целая новая область применения их в медицине для изучения радиационной биологии, лучевой терапии и диагностической радиологии.

Объектом интенсивного изучения является возможность использования в термоядерном реакторе высокоэнергичных частиц с большой массой для выделения энергии в дейтериево-тритиевой мишени, достаточной для начала термоядерной реакции.

В настоящее время единственным релятивистским ускорителем тяжелых ионов является Бевалак в ЛБЛ. Он полностью используется для этой цели с 1974 года. Обобщается опыт работы этой машины, рассматриваются её возможности и дается обзор запланированной экспериментальной программы.

СИНХРОТРОН ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С ПЕРЕМЕННЫМ ЗАРЯДОМ

И.А.Щукейло

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В.Фурьева, Ленинград, СССР

Развит новый подход к решению проблемы ускорения тяжелых ионов в синхротроне. Он основан на предположении, что заряд иона может изменяться в процессе циклического движения.

Показано, что на кольцевой сильнофокусирующей магнитной дорожке приемлемой ширины удерживаются ионы, обладающие значительным разбросом зарядов ($\Delta q/q \approx \pm 0,1$). Перезарядная инъекция на внутренней мишени позволяет обойти ограничения, вытекающие из теоремы Лиувилля, так что фазовая плотность и импульсная интенсивность пучка повышаются в десятки или даже в сотни раз.

Представляется возможным синхронно ускорять ионы, отличающиеся зарядом, и по мере ускорения повышать средний заряд пучка путем постепенной обдирки орбитальных электронов. Конечный импульс ионов в синхротроне заданного периметра увеличивается пропорционально их заряду.

При ускорении ионов с переменным зарядом ослабляются требования к давлению остаточного газа в вакуумной камере и к ускоряющему напряжению.

Описанный режим больше всего подходит для ускорения самых тяжелых ионов, например, урана.

I.A.Shukeilo

D.V.Efremov Scientific Research Institute
of Electrophysical Apparatus, Leningrad, USSR

A new approach in solving the problem of heavy ion acceleration in a synchrotron is developed. It is assumed that the ion charge varies when being accelerated. It is shown that the ions of considerable charge difference ($\Delta q/q \approx \pm 0.1$) are confined by the strong-focusing magnet of the accepted radial aperture. The charge exchange injection at the internal target makes it possible to avoid all the restrictions imposed by the Liouville theorem, so that the phase density and the pulsed intensity of the beam get a tenfold or even hundredfold increase.

A synchronous acceleration of different charge states and the average beam charge increase by gradual stripping of the orbital electrons, when accelerating, is proved.

The upper momentum of ions in a synchrotron with the given perimeter increases proportionally to their charges.

The residual gas pressure in the vacuum chamber and the accelerating voltage requirements are not as strict when variable charge ions are accelerated.

The scheme presented is the most suitable for the acceleration of the heaviest ions, for example, uranium ones.

ПРОТОННО-ИОННЫЙ СИНХРОТРОН Б-5

В.Г.Абдульманов, И.И.Авербух, В.Л.Ауслендер,
Г.Б.Глаголев, Ю.В.Маклаков, В.Н.Лазарев, Р.М.Лапик,
А.А.Лившиц, А.Д.Панфилов, О.Я.Савченко, Б.Л.Факторович,
А.А.Тувик, В.И.Юрченко
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описана конструкция протонно-ионного синхротрона Б-5, предназначенного для ускорения протонов с энергией до 200 МэВ и многозарядных ионов с энергией до 50 МэВ на нуклон при частоте повторения 50 Гц. Приведены результаты наладки отдельных систем синхротрона: инжектора, системы питания основного магнита, системы впуска, высокочастотной ускоряющей системы.

V.G.Abdulmanov, I.I.Averbukh, V.L.Auslender, G.B.Glagolev,
Yu.V.Maklakov, V.N.Lazarev, P.M.Lapik, A.A.Livshits, A.D.Panfilov,
O.Ya.Savchenko, A.A.Tuvik, B.L.Faktorovich, V.I.Yurchenko
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

A design of the proton-ion synchrotron B-5 for proton acceleration up to 200 MeV and the multicharged ions up to 50 MeV per nucleon at 50 Hz repetition rate is described. The results of adjusting some systems of the synchrotron-injector, power supply, basic magnet, injection system, RF system are presented.

ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ С ДВОЙНЫМ ПРОХОЖДЕНИЕМ ПУЧКА

Л.З.Барабаш, Д.Г.Кожкарев, Ю.Я.Лапицкий, А.Г.Стадников
Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, СССР

Г.И.Бацких, В.Г.Кульман, В.В.Кушин, Б.П.Мурин,
В.М.Пироженко

Радиотехнический институт АН СССР, Москва

Рассмотрена возможность ускорения ионов урана до энергии 20-25 МэВ на нуклон с помощью линейного ускорителя, в котором ионы дважды ускоряются в одной и той же ускоряющей системе с промежуточной перезарядкой.

Такой линейный ускоритель обеспечивает получение ионов урана с зарядом 80-82 и поэтому может быть эффективным инжектором в ионный синхротрон.

LINEAR ACCELERATOR WITH DOUBLE PASSING

L.Z.Barabash, D.G.Koshkarev, U.J.Lapitsky, A.G.Stadnikov
Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, USSR
G.I.Batskich, V.G.Kulman, V.V.Kushin, B.P.Murin, V.M.Pirojenko
Radiotechnical Institute, Moscow, USSR

Acceleration of uranium ions up to energy 20-25 MeV per nucleon in a linear accelerator, using an intermediate charge-changing and double passing through the same accelerating system has been investigated. Such a linear accelerator produces the uranium ions with equilibrium charge between 80-82 and may be effectively used as an injector for ion synchrotron.

D. Keefe

Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California,
USA

The proposed use of high-energy heavy-ion beams to create inertially-confined thermonuclear plasmas for power generation poses a number of new problems not encountered for research accelerators. The emittance must be preserved at a rather small value, $\epsilon\beta\gamma \sim 10^{-5}$ radian-meters, and the beam-current requirements are much greater than usual. In particular the final current must be several kiloamperes and the pulse duration of the order of ten nanoseconds. Induction linac technology, previously used only for electrons, can be an important tool in creating such beams. Most of the kinetic energy can be supplied to the ions by pulsed induction cavities, but there are problems in providing a suitable low-energy injector, which will also be discussed.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ
ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Д. Кеф

ЛБЛ, Беркли, Калифорния, США

Предложение об использовании высокоэнергичных пучков тяжелых ионов для создания инерциально-ограниченной термоядерной плазмы в термоядерных реакторах выдвигает ряд новых проблем, не встречающихся в технологии исследовательских ускорителей. Необходимо обеспечить величину эмиттанса пучка $\epsilon\beta\gamma \approx 10^{-5}$ радиан-метр при существенно более жестких требованиях на остальные параметры пучка. В частности, ток ускоренных частиц должен составлять несколько килоампер при длительности импульса тока порядка десяти наносекунд. Эффективным средством для создания таких пучков могут быть индукционные линейные ускорители, использовавшиеся ранее только для ускорения электронов. Основную часть кинетической энергии ионы могут получить от импульсных индукционных резонаторов; существует, очевидно, проблемы создания соответствующих низкоэнергичных инжекторов.

Г.А. Нагорский

Ереванский физический институт, СССР

В лазерных ускорителях амплитуда ускоряющего поля в среде порядка 100 МэВ/см. Темп ускорения частиц в таком поле в десятки раз превосходит потери в среде. Комбинируя поля нескольких импульсов, можно получить устойчивый режим ускорения и подавление отрицательных эффектов многократного рассеяния частиц. Высокий темп ускорения значительно сокращает размеры и стоимость лазерных машин по сравнению с вакуумированными ускорителями на ту же энергию. Например, лазерный ускоритель электронов на энергию порядка 10 ГэВ имеет размер около одного метра при светимости двух встречных пучков порядка $10^{31} + 10^{34}$, в зависимости от состава рабочей среды. В работе рассматриваются следующие вопросы:

1. Одночастичная динамика и влияние многократного рассеяния.
2. Ограничения на амплитуду поля из-за лавинной и многофотонной ионизации.
3. Эффекты токовой нагрузки.
4. Светимость в методе встречных пучков.
5. Неупругие столкновения и ограничение на энергию ускоренных частиц.
6. Влияние дисперсии рабочей среды.
7. Инжекция частиц.

LASER ACCELERATION OF PARTICLES IN A MEDIUM

G.A. Nagorsky

Yerevan Physical Institute, USSR

In the laser accelerators the amplitude of the accelerating field in a medium is of the order of 100 MeV/cm. The rate of particle acceleration in such a field is ten times as large as the energy losses in a medium. Using the fields of several pulses one can obtain a stable acceleration mode and suppress the negative effects of particle multiscattering. A higher acceleration rate reduces considerably the dimensions

and the price of a laser machine, as compared with conventional vacuumed accelerators of the same energy. E.g., 10 GeV electron laser accelerator is nearly one meter long with the luminosity of the colliding beams about $10^{31} + 10^{34}$ depending on the composition of the medium. The following problems were considered:

1. One-particle dynamics and multiscattering influence.
2. Limitations on the field amplitude due to an avalanche and multiphoton ionization.
3. Current loading effects.
4. Luminosity in colliding beam method.
5. Inelastic collisions and energy limitations.
6. Influence of medium dispersion.
7. Particle injection.

УСКОРЕНИЕ ИОНОВ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМ ПОЛЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

А.Н.Лебедев, К.Н.Пазин

Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Рассматриваются варианты коллективного ускорения ионов прямыми сильноточными пучками электронов, основанные на использовании квазистатического электрического поля. Необходимая для резонансного ускорения бегущая составляющая поля может быть создана продольной пространственной модуляцией пучка за счет граничных условий и медленной временной модуляцией электронного тока. Рассмотрена также автомодуляция электронного пучка в однородной системе, возбуждаемая самими ионами и вызывающая появление когерентных ускоряющих сил. Обсуждается связь этого механизма с когерентным ускорением, предложенным В.И.Векслером.

ION ACCELERATION BY QUASISTATIC FIELD OF ELECTRON BEAM

A.N.Lebedev, K.N.Pasin

P.N.Lebedev Physical Institute, Academy of Sciences of the USSR,
Moscow

Certain possibilities of ion collective acceleration by quasistatic fields of straight intense electron beams are

considered. The travelling field component necessary for a resonant acceleration is to be provided by spatial modulation of the beam caused by proper boundary conditions combined with a slow time modulation of the electron current.

The self-modulation of the electron beam is also considered which is caused by the ions themselves and leads to generation of coherent accelerating forces. The relation of this mechanism to V.Veksler's coherent acceleration is discussed.

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОУСКОРЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ФЕРРИТОВОЙ УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЕ

В.В.Закутин, Н.Н.Насонов, А.А.Ракитянский, А.М.Шендерович
Физико-технический институт АН УССР, Харьков

Приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования процессов самоускорения сильноточного электронного пучка при его взаимодействии с ферритом. Исследована электродинамическая задача об ударном возбуждении пучком ускоряющих полей для двух случаев: 1) феррит намагничен до насыщения; 2) ненасыщенный феррит. Развита нелинейная магнитостатическая теория возбуждения пучком ускоряющих полей в гиротропном феррите. Результаты теоретического исследования показывают возможность получения ускоряющих полей в сотни киловольт на сантиметр.

Проведено исследование развития продольной неустойчивости пучка при его взаимодействии с намагниченным до насыщения ферритом.

Экспериментальное исследование самоускорения пучка проведено при начальной энергии частиц 120 кэВ, токе пучка 400 А, длительности заднего фронта импульса тока 5 нс. Максимальный прирост энергии частиц пучка, полученный в эксперименте, составил 400 кэВ (общая длина набора ферритовых колец ~80 см); длительность импульса тока ускоренного пучка была равна 10 нс. Результаты эксперимента согласуются с расчетом.

INVESTIGATION OF THE INTENSE ELECTRON BEAM SELF-ACCELERATION IN THE FERRITE ACCELERATING STRUCTURE

V.V.Zakutin, N.N.Nasonov, A.A.Rakityansky, A.M.Shenderovich
Physical-Technical Institute, Kharkov, USSR

This paper presents the results of both the theoretical investigation and experimental studies of the intense electron beam self-acceleration process under the condition of its interaction with ferrite.

The electrodynamic problem of the shock excitation of accelerating fields by a beam was considered for two cases.

- 1) the ferrite is magnetized till saturated,
- 2) the ferrite is not saturated.

The results of the theoretical investigation make it clear that accelerating fields with the field intensity of hundred kilovolts per centimetre are achievable.

The beam length-wise instability was traced under the condition of its interaction with a completely saturated ferrite.

The beam self-acceleration experiment was carried out at the initial energy of 120 KeV, the beam current of 400 A, the current pulse fall time of 5 ns.

The maximum particle beam energy gain in this experiment is equal to 400 KeV (the total length of a set of ferrite rings - 80 cm), the current pulse duration of an accelerated beam is equal to ~ 10 ns.

The experimental results have confirmed the theoretical calculation.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОН-ИОННЫХ ПУЧКОВ

А.В.Бархударян, П.Р.Зенкевич, Н.И.Назарова
Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, СССР

При накоплении ионов в компрессоре коллективного ускорителя электроны фокусируются внешним магнитным полем. С учетом этой

фокусировки исследованы уравнения для самосогласованных потенциалов эргодических электрон-ионных пучков с круглым поперечным сечением. Найдена область существования решений для пучков с микроканоническим распределением и для пучков с распределением Больцмана в фазовом пространстве. Показано, что эта область ограничена линией, описывающей самофокусирующиеся (Беннетовские) пучки. Вблизи этой линии из-за нагрева пучков возможно возникновение диффузионной неустойчивости, время развития которой падает при уменьшении градиента внешнего поля.

STUDY OF STATIONARY STATES OF ULTRARELATIVISTIC ELECTRON-ION BEAMS

A.V.Barkhudarian, P.R.Zenkevich, N.I.Nazarova
Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, USSR

During ion accumulation in the compressor the electrons are usually focused by the external magnetic field. With account of the effect of external focusing, the equations for self-consistent potentials of the ergodic electron-ion beams have been investigated. The region of possible solutions for two types of distributions (i.e. microcanonical and Boltzmann) in the phase space has been found. As is shown, this region is limited by the line corresponding to self-focusing (Bennett) beams. Due to an increase of beam temperature the diffusion instability may occur, whose growth time is reduced with the diminution of the external field gradient.

Сессия VI. ВСТРЕЧНЫЕ ПУЧКИ

Session VI. COLLIDING BEAMS

СОСТОЯНИЕ РАБОТ НА УСТАНОВКЕ
СО ВСТРЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫМИ ПУЧКАМИ ВЭПП-4
(Приглашенный доклад)

И.Я. Протопопов
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Приведено описание комплекса ВЭПП-4 со встречными электрон-позитронными пучками на энергию 2×7 ГэВ.

Комплекс включает в себя собственно кольцо ВЭПП-4, электрон-позитронный накопитель ВЭПП-3, используемый в бустерном режиме с энергией выпускаемого пучка 1,8 ГэВ и ускоряющую высокочастотную систему с генератором типа "Гирококон". Источником электронов и позитронов является импульсный линейный ускоритель на энергию 50 МэВ с последующим ускорением в синхротроне Б-4 до 450 МэВ.

Для отладки системы инъекции и изучения магнитной системы накопительного кольца начаты эксперименты с электронным пучком, получаемым по старой схеме. Приводятся результаты этого этапа работы.

STATUS REPORT ON VEPP-4 ELECTRON-POSITRON STORAGE RING

(Invited Paper)

I.Ya. Protopopov
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

The electron-positron colliding beam facility VEPP-4 for energy range up to 2×7 GeV is described.

The facility includes a storage ring VEPP-4, an electron-positron storage ring VEPP-3 used as a booster with extracted beam energy 1.8 GeV and also of the accelerating RF system with a generator of the "Gyrocon" type. A pulsed 50 MeV linear accelerator is intended to be a source of electrons and positrons with further acceleration up to 450 MeV in a synchrotron B-4.

To test the injection system and to study the storage ring magnetic system experiments with the electron beam obtained with an existing scheme are started. The test results are presented.

ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ВЭПП-2М
С ВЫСОКОЙ СВЕТИМОСТЬЮ

Г.М. Тумайкин
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описывается жестко-фокусирующее накопительное кольцо ВЭПП-2М, предназначенное для проведения экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками с максимальной энергией 2×670 МэВ. С 1974 года на ВЭПП-2М ведутся эксперименты в области энергий от 200 до 670 МэВ по измерению электромагнитных факторов π - и K -мезонов, поиску редких мод распада векторных мезонов и т.д. Ряд прецизионных измерений выполнен с использованием поляризованных встречных пучков электронов и позитронов. Достигнутая светимость изменяется от $2 \cdot 10^{28} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при энергии 200 МэВ до $1,5 \cdot 10^{30}$ при максимальной энергии.

G.M. Tumaikin

Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

The strong-focusing storage ring VEPP-2M designed for the experiments with colliding electron-positron beams at a maximum energy 2×670 MeV is described. Since 1974 on VEPP-2M the experiments have been done in the energy limits from 200 to 670 MeV concerning the measurement of electromagnetic form-factors of π and K mesons, the search for the rare modes of decay of the vector mesons, etc. A number of precise measurements were carried out, using the polarized colliding beams of electrons and positrons. The obtained luminosity varies from $2 \cdot 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ for 200 MeV to 1.5×10^{30} for the maximum energy.

PETRA - A STATUS REPORT

(Invited Paper)

G.A. Voss

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, FRG

Authorization for the construction of the 19 GeV electron-positron storage ring PETRA was given in October 1975. Tunnel construction started in spring 1976 and was completed one year later. Series production of the magnets, accelerating cavities, vacuum chambers etc. began at the beginning of 1976. The first tunnel section (one PETRA octant) is now fully installed. The injection system was completed and injection tests into the first ring section are carried out. Five major experimental set-ups have been approved for the first round of experiments scheduled to start in 1979. Since it is now believed that polarization of the particle beams is a distinct possibility, measurements of beam polarization are being prepared.

(Приглашенный доклад)

Г.А. Восс

ДЕЗИ, Гамбург, ФРГ

Разрешение на сооружение электрон-позитронного накопительного кольца ПЕТРА на энергию 19 ГэВ было получено в октябре 1975 г. Строительство туннеля было начато весной 1976 г. и завершено год спустя. Серийное производство магнитов кольца, ускоряющих станций, вакуумных камер и другого оборудования началось с 1976 г. Первая секция кольца (один октант установки ПЕТРА) к настоящему моменту полностью смонтирована. Закончена система инжекции и проводятся пробные инжекции в первую секцию кольца; одобрены пять основных экспериментальных установок для первого цикла экспериментов, который намечено начать в 1979 году. В связи с тем, что в настоящее время возможности получения поляризованных пучков представляются вполне реальными, ведутся приготовления к измерениям поляризации пучков.

DORIS - A STATUS REPORT

K. Wille

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, FRG

DORIS operates now 6500 hours per year. Nearly 75% of its operating time is available for experiments with luminosities averaging about $1.5 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and peak values of $3.5 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at an energy of 2.6 GeV.

Several machine studies led to an increase of the integrated luminosity of a factor 5 with maximum values of 1620 nb^{-1} per week and beam lifetimes of 5-10 h.

In order to avoid single-beam instabilities due to high beam currents at energies above 2 GeV only each 4-th bucket is filled which causes a higher specific luminosity. Beside this, the enlargement of the acceptance and detailed studies of the injection parameters gave reproducible beam conditions and short filling times (≤ 15 min). In addition a good sextupole arrangement for chromaticity-compensation was developed and installed at DORIS. The ferrites in the vacuum chambers near the cavities used for higher mode damping had increased the vacuum pressure at currents above 200 mA. They are now replaced by a new construction.

The luminosity of DORIS is limited by betatron-synchrotron resonances which are produced by the beam-beam interaction with crossing angle. This effect is now well understood.

ДОРИС - СОСТОЯНИЕ ДЕЛ

К. Вилле

ДЕЗИ, Гамбург, ФРГ

Установка ДОРИС работает 6500 ч в год. Приблизительно 75 % рабочего времени используется для экспериментальных исследований со средними значениями светимости около $1,5 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и максимальными значениями $3,5 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при энергии 2,6 ГэВ.

Ряд исследований, проведенных на машине, позволил увеличить среднюю интегральную светимость в 5 раз и время жизни пучка до 5-10 часов.

Чтобы избежать однопучковых нестабильностей, вызванных большими токами пучка при энергиях выше 2 ГэВ, производится заполнение только каждой четвертой сепаратрисы, что приводит к повышению светимости. Увеличение аксептанса и детальное изучение условий инжекции позволило обеспечить воспроизведение параметров пучка и короткое время заполнения (≤ 15 мин). Кроме того, разработана и установлена в ДОРИС секступольная линза для коррекции хроматичности. Использувавшийся для демпфирования высших гармоник феррит, помещенный в вакуумной камере вблизи резонаторов, вызывал ухудшение вакуума при токах пучка свыше 200 МА. В настоящее время эта конструкция изменена.

Светимость в ДОРИС ограничивается бетатрон-синхротронными резонансами, вызываемыми взаимодействием двух пучков, пересекающихся под некоторым углом. В настоящее время этот эффект хорошо изучен.

PETRA - INJECTION - SYSTEM

A. Febel, G. Hemmie, G. Mülhaupt, K. Wille

DESY, Hamburg, FRG

The PETRA injection system uses the two existing Linacs as sources and preaccelerators for electrons and positrons and the storage ring DORIS for intermediate accumulation and storage of positrons.

The synchrotron DESY serves as an injector for DORIS and as a post accelerator to 7 GeV, which is the PETRA injection energy.

Many modifications were carried out f.i. new ejection systems in DORIS and DESY were installed, DORIS was brought into a single ring mode, new transport systems were built, injection elements as kickers and pulse septa for PETRA were fabricated etc.

First tests on the completed system have been carried out and bunches of positrons have been injected into the first completed ring section of PETRA.

СИСТЕМА ИНЖЕКЦИИ УСТАНОВКИ ПЕТРА

А.Фебел, Г.Хемми, Г.Мюльхаупт, К.Вилле

ДЕЗИ, Гамбург, ФРГ

Система инжекции установки ПЕТРА включает в себя два существующих линейных ускорителя, которые используются как источники и предускорители для электронов и позитронов, и накопительное кольцо ДОРИС для промежуточного накопления позитронов.

Синхротрон ДЕЗИ используется в качестве инжектора для ДОРИС и для последующего ускорения до энергии 7 ГэВ, которая является энергией инжекции для установки ПЕТРА.

Смонтированы новые системы вывода установки ДОРИС, которая преобразована в простую кольцевую модификацию; для установки ПЕТРА созданы новые системы транспортировки и ряд элементов системы инжекции, например, кикеры, импульсные септумы и т.д.

Проведены первые испытания новой системы, и в первую завершенную кольцевую секцию установки ПЕТРА инжектированы сгустки позитронов.

CESR - AN ELECTRON POSITRON COLLIDING BEAM FACILITY AT CORNELL

J. Kirchgessner

Cornell University, Ithaca, USA

A proposal to modify the Cornell 12 GeV electron Synchrotron facility to produce colliding beams of electrons and positrons was submitted to the National Science Foundation in May 1975. Subsequently, approval for design and prototype work was given and funding for the project is being requested by the N.S.F. Our goal is to complete this facility modification by October 1979. The status of the design and prototype work will be described.

УСТАНОВКА СО ВСТРЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫМИ ПУЧКАМИ
В КОРНЕЛЛЕ

Дж. Кирхгесснер

Корнельский Университет, Итака, США

Предложение по перестройке Корнельского электронного синхротрона на энергию 12 ГэВ с целью получения встречных электрон-позитронных пучков было передано Национальному Совету по науке в мае 1975 года. Далее были утверждены работы по проекту и созданию макетов, и в настоящее время Национальный Совет по науке запросил средства для реализации проекта. Нашей целью является завершение переделки ускорителя к октябрю 1979 года. В работе описывается состояние дел по проекту и макетированию.

NEW SCHEME FOR THE DESIGN
AND OPERATION OF PROTON-PROTON STORAGE ACCELERATORS

J. Claus, J. Herrera, J. Humphrey, M. Marx, M. Month
Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA

A new system is presented for storage accelerating rings which allows many options for operation. During injection, acceleration, and collision, the beams are maintained in the form of azimuthally long bunches. Current is built up in a low-energy, small circumference accumulator ring. Injection into the storage accelerators is carried out with the bunches phased so that they do not collide. With additional harmonics, the rf buckets can be carefully matched to the incoming long bunches. Operation of the storage rings consists of: 1) accelerating the formed bunches to any desired energy, and 2) bringing the bunches into collision by relative phasing of the rf in the two rings. This system provides considerable simplification in the design and operation of high energy p-p facilities. For example, it reduces the beam stacking time, relaxes the impedance tolerances relating to longitudinal stability, reduces the aperture utilization, and avoids radiation background problems associated with beam manipulations. A prototype design is considered, using as a basis the parameters of the ISABELLE facility. Performance characteristics and operational procedures are presented. The many advantages related to the machine and experimental aspects

are discussed. In particular, cycling the energy during collisions is an interesting option. Lastly, the significance of extending such a facility to higher energy p-p collisions is outlined.

НОВАЯ СХЕМА И РЕЖИМЫ РАБОТЫ
ПРОТОН-ПРОТОННЫХ НАКОПИТЕЛЬНО-УСКОРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Дж. Клаус, Дж. Херрера, Дж. Хамфри, М. Маркс, М. Монс
БНЛ, Аптон, Нью-Йорк, США

Представлена новая система ускоряющих накопительных колец, обеспечивающая много дополнительных возможностей управления режимами работы. Во время инъекции, ускорения и столкновения пучки поддерживаются в виде азимутально-протяженных сгустков. Инжектируемый ток предварительно формируется в небольшом низкоэнергетическом накопительном кольце. Инжекция тока в накопительные ускорители осуществляется сгустками, сфазированными таким образом, что они не сталкиваются. Используя дополнительные гармоники ВЧ-поля, можно тщательно согласовать сепаратрисы с инжектируемыми длинными сгустками. Работа накопительных колец состоит из 1) ускорения сформированных сгустков до заданной энергии и 2) обеспечения столкновений сгустков путем управления относительной фазировкой ВЧ-напряжений в двух кольцах. Эта система обеспечивает значительное упрощение конструкции и облегчает управление в исследованиях pp-столкновений при высоких энергиях. Например, в этой схеме уменьшается время накопления пучков, ослабляется допуск на импеданс связи, определяющий продольную нестабильность, уменьшается используемая апертура и снимаются проблемы радиационного фона, возникающие при манипуляциях с пучками. Рассматривается прототип конструкции, обеспечивающий основные параметры установки ИЗАБЕЛЛА.

Представлены полученные характеристики и режимы управления. Обсуждаются преимущества такой системы в ускорительном и экспериментальном аспектах. В частности, интересной дополнительной возможностью является модуляция энергии в процессе столкновений. И наконец, отмечается важность распространения подобных возможностей в области исследований pp-столкновений при более высоких энергиях.

Сессия VII.

ОХЛАЖДЕНИЕ ПУЧКОВ

Session VII.

BEAM COOLING

СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОННОМУ ОХЛАЖДЕНИЮ

(Приглашенный доклад)

Г.И.Будкер, Н.С.Диканский, В.И.Куделайнен,
И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков,
А.Н.Скринский, Б.Н.Сухина

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описана серия экспериментов по электронному охлаждению, посвященная выяснению механизма быстрого затухания продольной компоненты силы трения от модуляции энергии и углов электронного пучка. Исследовались зависимости декрементов колебаний продольной компоненты силы трения от модуляции энергии и углов электронного пучка. Измерено максимальное значение продольной силы трения и разброс по импульсам в охлажденном протонном пучке. Получены зависимости выхода атомов водорода от модуляции энергии и углов электронного пучка.

STATUS REPORT ON ELECTRON COOLING EXPERIMENTS

(Invited Paper)

G.I.Budker, N.S.Dikansky, V.I.Kudelainen, I.N.Meshkov,
V.V.Parhomchuk, D.V.Pestrikov, A.N.Skrinsky, B.N.Suhina
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

A series of electron cooling experiments described in the present report was devoted to a study of the mechanism of the

proton beam fast damping which has been observed in the previous experiments. Dependences of oscillation decrements and the longitudinal component of the friction force on modulation of the electron beam energy and angles were studied. The longitudinal friction force maximum value and momentum spread for the cooled proton beam were measured. Dependences of the hydrogen atom yield on modulation of the electron beam energy and angles were obtained.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА
НА ЭЛЕКТРОННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Н.С.Диканский, В.И.Кононов, В.И.Куделайнен,
И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков,
Б.Н.Сухина

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Приведены результаты экспериментов, посвященных выяснению роли эффектов пространственного заряда на скорость затухания и величину продольной компоненты силы трения. Обсуждаются результаты измерения зависимости скорости выхода атомов водорода от тока электронов.

INFLUENCE OF SPACE CHARGE PHENOMENA ON ELECTRON COOLING

N.S.Dikansky, V.I.Kononov, V.I.Kudelainen, I.N.Meshkov,
V.V.Parhomchuk, D.V.Pestrikov, B.N.Suhina
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

The report presents the results of the experiments which have been carried out to study the influence of the space charge phenomena on the cooling rate and the longitudinal component value of the friction force. Measurement results of the hydrogen atom yield rate dependence on electron current are discussed.

ЭФФЕКТЫ ЗАМАГНИЧЕННОСТИ В ЭЛЕКТРОННОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Я.С.Дербенёв, А.Н.Скринский

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Рассматривается охлаждение пучка тяжелых частиц в сопутствующем электронном потоке, "замороженном" продольным магнитным полем. Распределение электронов по скоростям считается резко сплюснутым в продольном направлении ($\Delta_{e\parallel} \ll \Delta_{e\perp}$). В этих условиях в области $\Delta_i < \Delta_{e\perp}$ (Δ_i - разброс скоростей ионов), благодаря дальнедействующему характеру кулоновских сил и замагниченности поперечного движения электронов, эффективная температура электронов определяется только продольным разбросом их скоростей. При этом, в сравнении с ситуацией $\Delta_{e\parallel} \approx \Delta_{e\perp}$, резко вырастает скорость охлаждения и температура ионов может понижаться до продольной температуры электронов.

EFFECTS OF ACCOMPANYING MAGNETIC FIELD IN ELECTRON COOLING

Ya.S.Derbenev, A.N.Skrinsky

Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

In the work presented here the cooling of a heavy particle beam in an accompanying electron flux "frozen" by the longitudinal magnetic field is considered. The distribution of electrons over the velocities is assumed to be sharply flattened in the longitudinal direction ($\Delta_{e\parallel} \ll \Delta_{e\perp}$). Under these conditions in the region $\Delta_i < \Delta_{e\perp}$ (Δ_i is the ion velocity spread) the effective temperature of the electrons is determined by the longitudinal spread of their velocities because of the long range character of Coulomb forces and because of the transverse motion of electrons being magnetized. In this case, the cooling velocity increases rapidly (compared to the case of $\Delta_{e\parallel} \approx \Delta_{e\perp}$) and the ion temperature may be decreased down to the level of the longitudinal temperature of electrons.

RECENT RESULTS WITH STOCHASTIC COOLING AT THE CERN ISR

(Invited Paper)

G. Carron, L. Faltin, W. Schnell and L. Thorndahl
CERN, Geneva, Switzerland

Recent experimental results with stochastic cooling of vertical betatron oscillations and momentum spread, as well as with stochastic acceleration using systems in the frequency ranges 50-180 MHz and 1-2 GHz, are presented. The installation of an improved system for momentum spread cooling in the 50-180 MHz range should permit stochastic acceleration of particles by ~ 200 MeV/h. Simultaneous accumulation of beam in a reduced $\Delta p/p$ in the outer part of the chamber is obtained with signals from a horizontal difference pick-up. The 1-2 GHz betatron cooling system was improved by increasing the kicker power to 10 W, supplied by a travelling-wave tube amplifier. Cooling rates of 30%/h were achieved on a low-intensity 26 GeV beam. Theory indicates the possibility of using this system for stochastic acceleration too; ~ 5 MeV/h should be possible with the present setup, and experiments show approximate agreement with this value. By increasing the coupling with the beam, improvements by a factor 10 should still be possible for both betatron cooling and stochastic acceleration.

ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО СТОХАСТИЧЕСКОМУ ОХЛАЖДЕНИЮ НА НАКОПИТЕЛЬНЫХ КОЛЫЦАХ ЦЕРН

(Приглашенный доклад)

Г.Каррон, Л.Фалтин, В.Шнель, Л.Торндад
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Представлены последние экспериментальные результаты по стохастическому охлаждению вертикальных бетатронных колебаний и импульсного разброса, а также результаты по стохастическому ускорению с использованием систем, частотные диапазоны которых лежат в пределах 50-180 МГц и 1-2 ГГц. Сооружение улучшенной системы охлаждения импульсного разброса в диапазоне 50-180 МГц позволит производить стохастическое ускорение частиц со скоростью ~ 200 МэВ/час. Как показывают сигналы с разностного пикап-

электрода, получено накопление пучка с уменьшенным $\Delta p/p$ во внешней части камеры. Увеличение до 10 Вт мощности кикера, питаемого от усилителя на лампе бегущей волны, позволило улучшить систему бетатронного охлаждения в диапазоне 1-2 ПГц. Достигнута скорость охлаждения 30% в час для пучка с энергией 26 ГэВ при низкой интенсивности. Теория показывает возможность использования этой системы также для стохастического ускорения; существующее устройство должно позволить достигнуть темпов ускорения 5 МэВ/час, и эксперименты дают приближенное согласие с этой величиной. Можно примерно в 10 раз улучшить как бетатронное охлаждение, так и стохастическое ускорение за счет усиления связи с пучком.

EVOLUTION OF THE AMPLITUDE DISTRIBUTION FUNCTION
FOR A BEAM SUBJECTED TO STOCHASTIC COOLING

L. Jackson Laslett

Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California, USA

The analysis by van der Meer concerning the decrement rate for the mean-square amplitude of a beam subjected to his proposed stochastic damping procedure has been extended to include the decrement of all moments of the distribution function. From these results a partial differential equation for the amplitude distribution function is inferred, and a general solution to this equation is given as a development in terms of Laguerre polynomials. Inspection of this solution indicates that the distribution of amplitude-squared ultimately will approach the exponential form $f(A^2; t) = (1/C)\exp(-A^2/C)$, with the mean-square amplitude (C) decreasing exponentially with time in the manner cited by van der Meer. The differential equation can serve to provide detailed information concerning the evolution of, for example, a two-group (core & halo) distribution and the ultimate merging of such groups. Simple explicit expressions also are given for the evolution of the mean-square amplitude of each of the groups comprising a two-group distribution, in a form that depends only on the particle abundances and individual initial mean-square amplitudes for these groups. Illustrations of the application of these results are given, supplemented by confirmatory results from simulation computations.

ЭВОЛЮЦИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО АМПЛИТУДАМ
ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Л. Дж. Ласслетт

ЛБЛ, Беркли, Калифорния, США

Проведенный Ван дер Меером анализ декрементов для средне-квадратичной амплитуды в пучке в процессе стохастического затухания, распространяется на декременты для всех моментов функции распределения. Получено дифференциальное уравнение в частных производных для функции распределения по амплитудам и получено его общее решение в терминах полиномов Лаггера. Анализ решения показывает, что распределение по квадратичным амплитудам стремится в конечном счете к экспоненте $f(A^2; t) = \frac{1}{C} e^{-A^2/C}$, а среднеквадратичная амплитуда (C) уменьшается экспоненциально со временем, как это было показано Ван дер Меером. Дифференциальное уравнение позволяет получить детальную информацию, касающуюся эволюции, например, двух групп распределений (ядро и ореол) и конечное слияние таких групп. Получены также простые выражения для изменения во времени среднеквадратичной амплитуды для каждой группы распределений, включая комбинацию этих распределений, в форме, зависящей только от ансамблей частиц и индивидуальных начальных значений распределений для этих групп. Аналитические расчеты подтверждаются численным моделированием.

Сессия VIII. ДИНАМИКА ЧАСТИЦ В УСКОРИТЕЛЯХ
И НАКОПИТЕЛЯХ

Session VIII. BEAM DYNAMICS IN ACCELERATORS
AND STORAGE RINGS

EFFECTS LIMITING ACCELERATED BEAM
INTENSITY IN BIGGEST PROTON SYNCHROTRONS

(Invited Paper)

L.C. Teng
Fermilab, Batavia, USA

Size and power consumption considerations suggest strongly that all synchrotrons in the TeV energy range will use superconducting magnets to produce the guide field. Both the larger field errors in superconducting magnets and the longer circumference of the ring have special implications on the acceptances of the ring and hence the attainable beam intensity. These will be examined in detail. Simple concepts and guide lines will be formulated for the design of future large synchrotrons.

A catalog of the conventional coherent and incoherent space charge effects will be given. The relative importance of these effects and their "cures" will be discussed in relation to the experiences obtained at existing large synchrotrons.

ЭФФЕКТЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ИНТЕНСИВНОСТЬ УСКОРЕННЫХ ПУЧКОВ
В КРУПНЕЙШИХ ПРОТОННЫХ СИНХРОТРОНАХ

(Приглашенный доклад)

Л.С.Тенг
ФНАЛ, Батавия, США

Обеспечение приемлемых размеров и разумного потребления энергии для синхротронов в Тэвном диапазоне энергий однозначно предполагает необходимость использования сверхпроводящих магнитов для создания ведущего магнитного поля. Большие неточности поля сверхпроводящих магнитов и значительная длина периметра кольца таких ускорителей ограничивают аксептанс кольца и, следовательно, достижимый уровень интенсивности. Эти вопросы детально рассматриваются. Сформулированы простые концепции и руководящие принципы для создания будущих больших синхротронов.

Приводится перечень известных когерентных и некогерентных эффектов пространственного заряда. Обсуждаются относительная важность этих эффектов и средства борьбы с ними с использованием опыта, полученного на крупнейших существующих синхротронах.

TUNING THE CERN SUPER PROTON SYNCHROTRON
TO FULL DESIGN INTENSITY

M.Cornacchia, R.Lauckner, W.Mills, R.Stiening, E.J.N.Wilson
G.von Holtey
CERN, Geneva, Switzerland

The designers of the SPS, mindful of the effects of non linear fields and collective instabilities in other proton synchrotrons, foresaw careful control of the multipole content of the guide field. Tight tolerances were placed upon magnetic purity and a large number of special multipole correction magnets installed. This paper describes how these and other devices were used during the running of the accelerator in experiments which brought the SPS to its design intensity of 10^{13} protons per burst only six months after switch on. Future improvements are discussed.

ПОЛУЧЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
В ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ ЦЕРН НА ЭНЕРГИЮ 400 ГЭВ
М.Корначиа, Р.Лаукнер, В.Миллз, Р.Штининг, Е.Дж.Н.Вильсон
Г. фон Холтей

ЦЕРН, Женева, Швейцария

Создатели протонного синхротрона ЦЕРН на энергию 400 ГэВ, помня об эффектах, возникающих из-за нелинейных полей, и коллективных неустойчивостях в других протонных синхротронах, предусмотрели тщательный контроль мультипольных составляющих в ведущем магнитном поле. К чистоте магнитного поля были предъявлены жесткие требования, и установлено большое число мультипольных корректирующих магнитов. Описывается, как эти и другие устройства использовались в экспериментах на ускорителе и позволили получить проектную интенсивность 10^{13} протонов в импульсе спустя всего лишь шесть месяцев после запуска. Обсуждаются дальнейшие усовершенствования.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION
OF THE BEAM-BEAM LIMIT OF PROTON BEAMS

B. Zotter
CERN, Geneva, Switzerland

In order to obtain a large beam-beam tune shift in the CERN Intersecting Storage Rings, one of the two rings has been converted. By retuning several existing quadrupoles of the low-beta insertion and the Terwilliger scheme, vertical beta-functions of more than 10 times the standard value have been obtained in one intersection.

By storing a test beam of protons in this ring at the lowest standard energy (11 GeV), and a strong beam of small effective height in the other ring (usually at 26 GeV), the beam-beam tune shift can be increased by a factor of about 20 over the highest value achieved in standard operation (about 10^{-3}). The decay rate of the test beam in an aperture limited situation, resp. the time required for the decay rate to increase strongly after the aperture is enlarged, are used as a criterion for the severity of the beam-beam effect. Due to the complexity of the exper-

iment, only a few measurements have been obtained so far, and may have a large error. At tune shifts of 0.005, the beam still appears to be stable, while its growth-rate is about 5% per minute for a tune shift of 0.02. The experiments are being continued in order to obtain measurements of the growth-rate at intermediate values of the beam-beam tune shift.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПУЧКОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
ВО ВСТРЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ ПУЧКАХ

Б.Зоттер
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Чтобы получить большую расстройку для неустойчивости, возникающей из-за взаимодействия встречных пучков в накопительных кольцах ЦЕРН, было переделано одно из двух колец. Путем перестройки нескольких существующих квадруполов на участке кольца с малой β -функцией и схемы Теруиллигера, значения вертикальной β -функции были увеличены более чем в 10 раз по сравнению со стандартным значением в одном пересечении.

Путем накопления контрольного пучка протонов в этом кольце при минимальной стандартной энергии (11 ГэВ) и интенсивного пучка с малой эффективной высотой в другом кольце (обычно при 26 ГэВ) величина расстройки была увеличена более чем в 20 раз по сравнению с наибольшим значением, достигнутым при стандартной работе (примерно 10^{-3}). В качестве критерия силы взаимодействия пучков бралось отношение декрементов для контрольного пучка при ограниченной и расширенной апертурах. Из-за сложности эксперимента было проведено только несколько измерений, которые могут иметь большие ошибки. При расстройках $\sim 0,005$ оказалось, что пучок остается устойчивым, в то время как при расстройке $\sim 0,02$ значение инкремента составляет примерно 5% в минуту. Эксперименты продолжают с тем, чтобы измерить инкременты при промежуточных значениях расстройки.

TRANSVERSE COHERENT INSTABILITY IN THE KEK BOOSTER

Y. Kimura, Y. Miyahara, H. Sasaki, K. Sato, K. Takata,
K. Takikawa

National Laboratory for High Energy Physics
Oho-machi, Japan

Since the last summer the beam intensity of the booster has been raised to $3-5 \times 10^{11}$ ppp and a beam instability has been observed at about 14-18 ns after the beam injection. Position monitors indicate that the betatron amplitude grows coherently in the horizontal direction and beam losses with a frequency corresponding to the horizontal betatron oscillation. The growth rate of the oscillation is about 5 ns. It was found that the kicker magnet for the extraction is responsible for the instability since it becomes more rapid and always occurs at 17 ns when the terminator of the magnet is removed. An intense and narrow beam is more unstable.

ПОПЕРЕЧНАЯ КОГЕРЕНТНАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ В БУСТЕРЕ КЕК

И. Кимура, И. Мияхара, Г. Сасаки, К. Сато, К. Таката, К. Такигава
НХКЕП, Япония

С прошлого лета интенсивность пучка в бустере возросла до $3-5 \cdot 10^{11}$ протонов в импульсе, и примерно на 14 - 18 нс после инжекции наблюдалась неустойчивость пучка. Датчики положения пучка показывают, что в горизонтальном направлении возрастает амплитуда когерентных бетатронных колебаний и происходят потери пучка с частотой горизонтальных бетатронных колебаний. Инкремент неустойчивости составляет 5 нс. Выяснено, что неустойчивость вызывается кикерным магнитом для вывода, так как она усиливается и возникает всегда на 17 нс в случае, когда отсутствует согласующая нагрузка кикер-магнита. Интенсивный и узкий пучок более нестабилен.

LONGITUDINAL STABILIZATION OF BUNCHED BEAMS

IN THE ISR BY A HIGHER HARMONIC CAVITY

H. Frischholz, S. Hansen, A. Hofmann, E. Peschardt and W. Schnell
CERN, Geneva, Switzerland

A cavity operating at a harmonic k of the RF frequency (Landau cavity) increases the spread in synchrotron frequency and provides Landau damping of longitudinal bunch instabilities. This spread and the damping have been investigated for different harmonics k , for cavity voltages V_k and for the cases where the cavity is in phase or of opposite phase with respect to the RF voltage. The last case with $V_k = V_{RF}/k$ is of special interest and gives a very large spread. One RF cavity in each ring of the ISR has been modified so that it can be operated at the 3rd or 4th harmonic of the RF frequency. It has been used to carry out experiments on bunch stability and stable beams of up to 200 mA (in 20 bunches) have been obtained. This allows the injection of large currents, and stacks with a high longitudinal density can be obtained.

ПРОДОЛЬНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ СГРУППИРОВАННЫХ ПУЧКОВ

В НАКОПИТЕЛЬНЫХ КОЛЫЦАХ ЦЕРН С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАТОРА,
ВОЗБУЖДАЕМОГО НА ВЫСШИХ ГАРМОНИКАХ РАДИОЧАСТОТЫ
Г. Фришхольц, С. Хансен, А. Хофманн, Е. Пешардт, У. Шнель
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Резонатор, возбуждаемый на гармонике k радиочастоты (резонатор Ландау) увеличивает разброс синхротронных частот и обуславливает затухание Ландау для продольных неустойчивостей сгустков. Этот разброс и затухание исследованы для различных гармоник k , напряжений на резонаторе V_k для случаев, когда напряжение на резонаторе находится в фазе и в противофазе с ускоряющим напряжением. Последний случай при $V_k = V_{RF}/k$ представляет особый интерес и дает очень большой разброс. По одному резонатору в каждом накопительном кольце подверглись переделке для обеспечения возможности работы на третьей или четвертой гармониках радиочастоты. Они использовались для изучения стабильности сгустков и при этом были получены устойчивые пучки с током до 200 мА (в 20 сгустках). Этот метод позволяет инжектировать большие токи и получать сгустки с высокой продольной плотностью.

BUNCH LENGTHENING IN DORIS, THEORETICAL MODELS AND EXPERIMENTS

R.D. Kohaupt
DESY, Hamburg, FRG

According to the present theories of bunch lengthening, in electron storage rings the bunch length can be increased by 1) potential well distortion and 2) energy widening. While potential well distortion leaves the energy spread unaffected bunch widening leads to an energy blow up due to longitudinal single bunch instabilities with threshold behaviour.

Energy widening is described mainly by three models:

- a. longitudinal single mode model;
- b. longitudinal mode coupling model;
- c. coasting beam model.

The bunch length (energy width) as a function of the bunch current and the machine parameters is different for the different models of energy widening. One of the most important properties of model a. and b. is that the "tails" of the particle density are less widened than the core region. In DORIS single bunch experiments were performed and results are interpreted in the light of these theories.

УДЛИНЕНИЕ СГУСТКА ЧАСТИЦ В ДОРИС, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Р.Д. Кохаупт
ДЕЗИ, Гамбург, ФРГ

Согласно существующим теориям удлинение сгустков в электронном накопительном кольце может происходить из-за: 1) возмущения потенциальной ямы; 2) увеличения энергетического разброса. В то время как возмущение потенциальной ямы не влияет на разброс по энергиям, уширение сгустка за счет увеличения энергетического разброса приводит к продольной неустойчивости, имеющей пороговый характер.

Увеличение энергетического разброса описывается, в основном, тремя моделями:

- а) продольная неустойчивость на одной моде;
- б) модель, учитывающая связь между различными модами;
- в) модель циркулирующего пучка.

Длина сгустка (энергетическая ширина) является функцией тока сгустка и различна для разных моделей увеличения энергетического разброса. Характерной чертой моделей а) и б) является то, что хвосты плотности частиц уширяются меньше, чем центральная область. В ДОРИС были проведены эксперименты с одним сгустком, приводится интерпретация результатов в свете этих теорий.

ГРУППИРОВКА ЧАСТИЦ УСКОРЯЮЩИМ ПОЛЕМ В ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ ИФЭЭ

Г.Г. Гуров, Б.К. Шембель
Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Описывается методика продольной группировки однородного пучка, циркулирующего в камере синхротрона. Группировка осуществляется основным ускоряющим полем синхротрона и используется для увеличения эффективности захвата частиц в режим ускорения.

Приводятся результаты экспериментального исследования группировки на протонном синхротроне ИФЭЭ.

PARTICLE BUNCHING WITH ACCELERATING FIELD IN IHEP PROTON SYNCHROTRON

G.G. Gurov, B.K. Shembel
Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR

The methods for longitudinal bunching of a uniform (homogeneous) beam, circulating in the synchrotron chamber, are described. The bunching is realized with the main accelerating field of the synchrotron and it is used to increase particle capture in the acceleration mode.

The results on experimental investigation of the bunching in the IHEP proton synchrotron are presented.

ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ЧАСТИЦЫ В НАКОПИТЕЛЯХ
(Приглашенный доклад)

Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко, С.И.Середняков,
А.Н.Скринский, Г.М.Тумаикин, Ю.М.Шатунов
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Дан обзор проведенных в Институте теоретических и экспериментальных исследований поведения поляризации частиц в накопителях. В теоретических работах изучено движение спинов частиц в произвольных неоднородных полях. Описаны способы получения пучков с заданным направлением поляризации в накопителях и ускорителях. Показано, что переменные по направлению поля на участке орбиты могут использоваться для устранения резонансной деполяризации при ускорении поляризованных частиц до высоких энергий. Выяснены условия существования радиационной поляризации электронов и позитронов. Особо рассмотрены возможности обеспечения радиационной поляризации при высоких энергиях.

Рассмотрены методы измерения поляризации одиночного и встречных пучков и способы преднамеренной деполяризации. Приводятся результаты измерения времени и степени радиационной поляризации. Изучено действие спиновых резонансов. Описано применение поляризованных пучков для определения абсолютной энергии частиц в накопителе и прецизионного сравнения аномальных магнитных моментов электрона и позитрона.

POLARIZED PARTICLES IN STORAGE RINGS

(Invited Paper)

Ya.S.Derbenev, A.M.Kondratenko, S.I.Seredniakov,
A.N.Skrinsky, G.M.Tumaikin, Yu.M.Shatunov
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

Theoretical and experimental studies in the Institute (Novosibirsk) on the behaviour of particle polarization in the storage rings are reviewed. In the theoretical works the motion

of particle spins in arbitrary inhomogeneous fields was investigated. The methods to obtain the beams with a required polarization direction in storage rings and accelerators are described. It is shown that direction-variable fields on some parts of the orbit may be used to avoid the resonance depolarization at acceleration of polarized particles to high energies. The conditions for the existence of radiative polarization of electrons and positrons were revealed. The possibilities to provide the radiation polarization at high energies were carefully considered. The methods to measure the polarization of the single and colliding beams are described. The results of measuring the time and degree of radiation polarization are presented. The influence of spin resonances was studied. The use of polarized beams to find the absolute energy of particles in a storage ring and to compare precisely anomalous magnetic momenta of electrons and positrons is described.

УСКОРЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЧАСТИЦ В СИНХРОТРОНАХ
ДО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Известно, что в процессе ускорения поляризованных частиц (протонов, электронов и др.) до очень высоких энергий приходится пересекать значительное число спиновых резонансов, что может приводить к разрушению поляризации. Деполяризацию можно устранить введением в промежутки ускорителя полей, сильно изменяющих равновесную ориентацию спина. Описаны конкретные схемы, когда в результате введения специальных полей (обеспечивающих одновременно восстановление орбиты на основных участках) вертикально ориентированный спин на выходе из промежутка оказывается перевернутым. В таких ситуациях спиновые резонансы невозможны при любой энергии, и степень поляризации пучка сохраняется при ускорении с адиабатической точностью.

ACCELERATION OF POLARIZED PARTICLES TO HIGH ENERGIES
IN SYNCHROTRONS

Ya.S.Derbenev, A.M.Kondratenko
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

It is known that in accelerating polarized particles (protons, electrons, etc.) to high energies a considerable number of the spin resonances had to be passed. This circumstance leads to the depolarization of the beam. The depolarization can be avoided by introducing into the straight sections of the accelerator the fields varying an equilibrium orientation of the spin. Some schemes are described where as a result of introducing the special fields (providing simultaneously the restoration of the orbit on the main sections of the accelerator) a vertical-oriented spin turns out to be flipped at the section output. In such situations the spin resonances are impossible at any energy, and the polarization degree of the beam remains the same during acceleration.

СОХРАНЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В НАКОПИТЕЛЯХ
ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ СПИНОВЫХ РЕЗОНАНСОВ

Я.С.Дербенёв, А.М.Кондратенко, А.Н.Скринский,
Ю.М.Шатунов
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Обсуждаются способы быстрого и адиабатического пересечения спиновых резонансов с учетом синхротронных колебаний частиц и радиационных эффектов. Экспериментально показано сохранение поляризации при быстром прохождении резонансов с бетатронными колебаниями. Адиабатическое прохождение резонанса с частотой обращения осуществлено введением в промежуток накопителя ВЭПП-2М сильного продольного магнитного поля.

CONSERVATION OF ELECTRON POLARIZATION IN THE STORAGE RINGS
WHILE CROSSING SPIN RESONANCES

Ya.S.Derbenev, A.M.Kondratenko, A.N.Skrinsky, Yu.M.Shatunov
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

Different ways of rapid and adiabatic crossing of spin resonances are discussed with account of particle synchrotron oscillations and radiative effects. The polarization was experimentally shown to be conserved while rapid passing through the resonances with betatron oscillations. The resonance at the revolution frequency has been adiabatically passed by using strong longitudinal magnetic field in a straight section of the storage ring VEPP-2M.

RESONANT DEPOLARIZATION IN A FLAT-TOPPED PROTON SYNCHROTRON

A. Turrin
INFN, Laboratori Nazionali, Frascati, Italy

A calculation is presented of the asymptotic final states of a spin 1/2 particle, initially in the ground state, in the presence of a perturbing magnetic field when the precession angular frequency sweeps exponentially toward an asymptotic value which is close to a spin resonance line. The resulting very simple formula reduces (at least for reasonable values of Machine's parameters) to the Froissart and Stora formula in the case where the depolarizing resonance is passed through, or, if not, to the adiabatic following approximation formula.

The possibility of working without significant beam-depolarization is predicted, even when the flat-top is placed slightly below ($\Delta E/E_{res} \approx \text{few } 10^{-3}$) an intrinsic or imperfection resonance tail.

РЕЗОНАНСНАЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ НА ПЛАТО МАГНИТНОГО ПОЛЯ
В ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ

А. Туррин

Национальная Лаборатория, Фраскати, Италия

Представлены расчеты асимптотических конечных состояний частицы со спином $1/2$, находившейся первоначально в основном состоянии, в присутствии возмущающего магнитного поля, когда прецессионная угловая частота экспоненциально стремится к асимптотической величине, которая близка к линии спинового резонанса. Конечная весьма простая формула сводится (по крайней мере, для разумных параметров данной машины) к формуле Фруассара и Стора для случая, когда имеет место прохождение спинового резонанса, или, в противном случае, к формуле адиабатического приближения.

Предсказывается возможность работы без существенной деполаризации даже в случае, когда плато располагается несколько ниже ($\Delta E / E_{res} \approx 10^{-3}$) естественного или искаженного резонансного хвоста.

Сессия IX.

ВЫВОД И ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКОВ ЧАСТИЦ
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Session IX.

PARTICLE BEAM EXTRACTION AND FORMATION
FOR PHYSICAL EXPERIMENTS

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЙТРИННОГО ПУЧКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ЛИНЗ

(Приглашенный доклад)

Д.Г.Баратов, Н.З.Бикбулатов, В.В.Васильев, К.И.Губриенко,
Е.В.Еременко, С.А.Князев, В.И.Котов, Ю.А.Ласточкин,
Р.А.Рзаев, В.Л.Рыков, А.В.Самойлов, В.А.Чернов
Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Излагаются основные физические характеристики и конструктивные особенности нейтринного фокусирующего устройства, состоящего из трех объективов параболических линз. Описана система импульсного питания, формирующая в линзах однополярный импульс тока с амплитудой до 500 кА и длительностью 160 мкс. Обобщены данные по результатам работы фокусирующего устройства.

(Invited Paper)

D.G.Baratov, N.Z.Bikbulatov, V.V.Vasiliev, K.I.Gubrienko,
E.V.Fremenko, S.A.Knyazev, V.I.Kotov, Yu.A.Lastochkin,
R.A.Rsaev, V.L.Rykov, A.V.Samoilov, V.A.Chernov
Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR

The paper presents a description of the principle physical characteristics and design properties of a neutrino focusing system, consisting of three objectives of parabolic lenses. The pulsed power supply system, that produced single-pole current pulses with the amplitude up to 500 kAmps and duration 160 μ s, in the lenses, is described. The data on the results obtained from the operation of the focusing device have been summarized.

СВЕТОСИЛЬНАЯ ОПТИКА С БОЛЬШИМИ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ПУЧКОВ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

В.Ф.Баянов, Г.И.Будкер, Г.С.Виллевалд, Т.А.Всеволожская,
Л.Л.Данилов, В.И.Карасюк, Г.И.Сильвестров, В.А.Тажурский
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Представлены результаты исследования и создания светосильных оптических устройств с магнитными полями порядка 100 кЭ и более для эффективного получения позитронов, антипротонов и π -мезонов.

Для систем электрон-позитронной конверсии на комплексах ВЭПП-II и ВЭПП-III разработаны цилиндрические литиевые линзы с полями 50-100 кЭ для фокусировки электронного и позитронного пучков с энергией 100 + 450 МэВ.

Система эффективной протон-антипротонной конверсии для проектов накопителей антипротонов включает в себя цилиндрические линзы с полями до 300 кЭ для фокусировки протонов на каскадную мишень и промежуточной фокусировки антипротонов в мишени, а так-

же параболическую линзу из бериллия с полем ~ 140 кЭ и углом схождения 0,12 ср для схождения антипротонов. В цилиндрических линзах в качестве проводника применяется жидкий натрий, который прокачивается через систему после каждого импульса, что позволяет вести работу на частоте в несколько герц.

Разработан проект аксиально-симметричной линзы типа параболического зеркала с полем ~ 100 кЭ для схождения π -мезонов низких энергий (~ 30 МэВ) в угле 10 ср.

WIDE-ANGLE OPTICS WITH STRONG MAGNETIC FIELDS FOR EFFECTIVE PRODUCTION OF SECONDARY BEAMS

B.F.Bayanov, G.I.Budker, L.L.Danilov, V.I.Karasyuk,
G.I.Sil'vestrov, G.S.Villewald, T.A.Vsevolozhskaya,
V.A.Tayursky

Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

In this report the results of designing and construction of wide-angle optical devices with magnetic fields of 100 kOe and higher for the effective production of positron, antiproton and π -meson beams are presented.

For electron-to-positron conversion systems at the VEPP-II and VEPP-III machines, the cylindrical lithium lenses with magnetic fields of 50-100 kOe for focusing the electron and positron beams of 100-450 MeV energy were elaborated.

The system of effective proton-to-antiproton conversion for projects with antiproton storage rings includes the cylindrical lenses with magnetic fields up to 300 kOe for focusing protons on a cascade target and for intermediate focusing and a lens collecting the 2 GeV/c antiprotons. The last one is a parabolic lens made of berillium with a field of ~ 140 kOe and an acceptance angle of 0.12 sr. In these cylindrical lenses liquid sodium is used as a conductor. It is pumped through the system after each current pulse, that permits to operate at several Herz rate.

The axially-symmetric magnetic lens of a parabolic mirror type with magnetic field of the order of 100 kOe was designed for collecting low-energy (~ 30 MeV) π -mesons in a solid angle of 10 sr.

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПУЧКОВ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

А.Е.Буклей, В.Б.Гаврилов, В.В.Гачурин, Н.А.Горяинов, Б.А.Ежов,
М.М.Кац, Л.Н.Кондратьев, А.М.Липкин, Н.Н.Лужецкий, Г.П.Молотков,
М.Б.Павлов, Н.Н.Помелов, В.Ю.Русинов, Е.И.Тарковский,
В.Б.Федоров, Б.Б.Шварцман

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, СССР

1. При помощи дублета квадрупольных линз и специальных коллиматоров сформирован универсальный пучок вторичных заряженных частиц в канале, не содержащем поворотных магнитов. Коллиматоры перекрывают не более 70% полезной апертуры квадрупольных линз. Канал выделяет частицы нужного знака и величины импульса и обеспечивает разрешение по импульсам не хуже $\pm 10\%$. Такой способ формирования пучка целесообразно использовать для калибровки с помощью заряженных частиц аппаратуры, расположенной на каналах нейтральных частиц.

2. Экспериментально показано, что, отбирая частицы с импульсами выше, чем импульс протонов в ускорителе, можно получать без применения сепараторов чистые пучки ядер дейтерия и трития в любом универсальном канале. При импульсе протонов в ускорителе 2,2 ГэВ/с и интенсивности $3 \cdot 10^{11}$ р/цикл в универсальном канале с углом вывода $3,5^\circ$ получен пучок d с импульсом 2,35 ГэВ/с интенсивностью около 10^4 d/цикл и пучок t с импульсом 2,7 ГэВ/с интенсивностью около 2 t/цикл. В этих пучках примесь протонов составляет не более 0,5%, а примесь t в пучке d около 1,5%. Этот простой способ формирования на протонном синхротроне пучков d и t целесообразно использовать для облучения пузырьковых камер.

SOME NEW POSSIBILITIES FOR SECONDARY BEAM FOCUSING

A.E.Bookley, V.B.Gavrilov, V.V.Gachurin, N.A.Goreinov,
B.A.Ezhov, M.M.Katz, L.N.Kondratiev, A.M.Lipkin,
N.N.Luzhetzki, G.P.Molotkov, M.B.Pavlov, N.N.Pomelov,
V.Yu.Rusinov, E.I.Tarkovsky, V.B.Fedorov, B.B.Shwartzman
Institute for Theoretical and Experimental Physics,

Moscow, USSR

1. Universal charged secondary beam is formed with the help of doublet of quadrupole lenses and special collimators in

the beam channel without bending magnets. The collimators cover about 70% of the useful quadrupole lens aperture. The beam channel separates particles of any required sign and momentum with the momentum bite P/P better than $\pm 10\%$. Such beam focusing method is useful to calibrate measuring devices installed in neutral channels.

2. It has been shown, that pure deuterium and tritium beams could be obtained without separators in any universal beam transport system if secondary particles with the momentum higher than that of accelerated protons were selected. At proton momentum of 2.2 GeV/c and intensity $3 \cdot 10^{11}$ ppp 2.35 deuterium beam with the intensity of 10^4 dpp and 2.7 GeV/c tritium beam the intensity of about 2 tpp was obtained in the universal beam channel. Proton impurity in such a beam did not exceed 0.5% and tritium fraction in the deuterium beam was about 1.5%. This simple tritium and deuterium beam focusing method is useful for bubble chamber irradiation.

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ФОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ НА УСТАНОВКАХ СО ВСТРЕЧНЫМИ ПУЧКАМИ

Ю.А.Башмаков, Е.Г.Бессонов

Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Для получения поляризованных квазимонохроматических фотонов высокой энергии предлагается установить в прямолинейном промежутке накопителя спиральный ондулятор, формирующий поперечное периодическое магнитное поле. При прохождении через ондулятор электроны (позитроны) испускают поляризованное узконаправленное квазимонохроматическое электромагнитное излучение. Комптоновское рассеяние этого излучения на встречном пучке частиц приводит к образованию пучка квазимонохроматических циркулярно поляризованных фотонов, обладающих энергией, близкой к энергии частиц встречного пучка. При достигнутых в настоящее время светимостях установок со встречными пучками можно ожидать получение около 10^6 фотонов высокой энергии в секунду.

METHOD TO PRODUCE POLARIZED QUASIMONOCROMATIC HIGH ENERGY PHOTONS
ON COLLIDING BEAM FACILITIES

Yu.A.Bashmakov, E.G.Bessonov

P.N.Lebedev Physical Institute, Academy of Sciences of the USSR,
Moscow

It is proposed to install a helical wiggler that forms transverse periodic magnetic field in the straight-section of electron storage ring to produce polarized quasimonochromatic high energy photons. Electrons (positrons) passing through the wiggler emit polarized quasimonochromatic photons in the forward direction, which can be rescattered by the electron, moving in opposite direction, thus producing quasimonochromatic circular polarized photons with the energy close to that of colliding beam particles. One may expect that about 10^6 high energy photons per second will be produced in the storage ring with reasonable luminosity.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПИРАЛЬНОГО ОНДУЛЯТОРА НА ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКАХ
ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ ПРОТОННЫХ СИНКРОТРОНОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ
И ПОЛУЧЕНИЯ КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ФОТОНОВ

Д.Ф.Алферов, Ю.А.Башмаков, Е.Г.Бессонов, Б.Б.Говорков
Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Для создания на протонных ускорителях пучка электронов высокой энергии с малой примесью адронов предлагается использовать различие потерь энергии на излучение электронов и адронов при их движении в спиральном ондуляторе. Показано, что использование сверхпроводящих спиральных ондуляторов позволит осуществить необходимое разделение электронов и адронов.

Рассматривается возможность образования интенсивных потоков поляризованных квазимонохроматических фотонов высокой энергии при торможении электронов с энергией выше 100 ГэВ в спиральном ондуляторе. Приводятся спектрально-угловые и поляризационные характеристики излучения ультрарелятивистского электрона в спиральном ондуляторе. Пропускание электронного пучка с интенсив-

ностью $N_e = 10^8$ e^- /имп через ондулятор длиной 40 м с периодом 2 см позволит получить 10^8 фотонов с 5%-ным энергетическим разбросом. При изменении энергии электронов от 100 до 1000 ГэВ энергия фотонов меняется от 3 до 300 МэВ.

ON USING HELICAL WIGGLER MAGNET WITH HIGH ENERGY ELECTRON BEAM
FROM PROTON SYNCHROTRONS FOR PARTICLE SEPARATION
AND QUASIMONOCROMATIC PHOTON PRODUCTION

D.F.Alferov, Yu.A.Bashmakov, E.G.Bessonov, B.B.Govorkov
P.N.Lebedev Physical Institute, Moscow, USSR

The difference in energy loss for radiation by electrons and hadrons passing through a helical wiggler magnet is suggested to be used to obtain a high energy electron beam with small hadron impurity.

A possibility to produce intense polarized quasimonochromatic photons by slowing down of electrons with energy more than 100 GeV in the helical wiggler is considered. The spectral-angular and polarization characteristics of the ultrarelativistic electron radiation in the helical wiggler are presented.

Transport of electron beam with intensity $N_e = 10^8 e^-$ /pulse through a 40-m long wiggler with 2 cm period would yield 10^8 photons with 5% energy spread. The increase of electron energy from 100 to 1000 GeV changes photon energy from 3 to 300 MeV.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ
С МОНОКРИСТАЛЛАМИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПУЧКОВ
ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Г.Л.Бочек, В.И.Витко, И.А.Гришаев, Г.Д.Коваленко,
В.И.Кулибаба, В.Л.Мороховский, Б.И.Шраменко
Физико-технический институт АН УССР, Харьков

Приведены экспериментальные данные по изучению взаимодействия электронов и позитронов с энергией 1 ГэВ с монокристаллами.

Показано влияние эффектов блокировки и каналирования на процессы упругого рассеяния, тормозного излучения и аннигиляции. Обсуждены возможности использования наблюдаемых явлений для управления параметрами пучков высокой энергии.

ON THE USE OF PECULIARITIES OF ELECTRON AND POSITRON INTERACTION
WITH SINGLE CRYSTALS
FOR CONTROLLING HIGH ENERGY PARTICLE BEAM PARAMETERS

G.L.Bochek, V.I.Vit'ko, I.A.Grishaev, G.D.Kovalenko,
V.I.Kulibaba, V.L.Morokhovskij, B.I.Shramenko
Physical-Technical Institute, Kharkov, USSR

Experimental data on the interaction of 1 GeV electrons and positrons with single crystals are presented. The influence of blocking and channelling effects on elastic scattering, bremsstrahlung and annihilation processes is shown.

The authors present the discussion of the possibilities to use the observed phenomena for controlling high energy beam parameters.

ВОЗМОЖНОСТИ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СВЕРХТОНИХ
ВНУТРЕННИХ МИШЕНЯХ В НАКОПИТЕЛЯХ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
С ЭЛЕКТРОННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Г.И.Будкер, Н.С.Диканский, И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук,
Д.В.Пестриков, С.Г.Попов, А.Н.Скринский
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описанное применение методики сверхтонких внутренних мишеней и электронного охлаждения на накопителях протонов, антипротонов, ионов позволяет существенно улучшить энергетическое разрешение при высокой светимости эксперимента.

Специальный интерес этот метод приобретает для экспериментов с поляризованными пучками и мишенями.

POSSIBILITIES OF SPECTROMETRIC EXPERIMENTS
WITH SUPERTHIN INTERNAL TARGETS IN HEAVY PARTICLE
STORAGE RINGS WITH ELECTRON COOLING

G.I.Budker, N.S.Dikansky, I.N.Meshkov, V.V.Parkhomchuk,
D.V.Pestrikov, S.G.Popov, A.N.Skrinsky
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

An application of the superthin internal target and electron cooling techniques in the experiments at storage rings for pro-

tons, antiprotons and heavy ions enables us to improve considerably energy resolution with high luminosity of the experiments.

The superthin target technique associated with electron cooling becomes of a particular interest in the experiments with polarized beams and targets.

CALCULATION OF POSITRON SOURCE YIELDS

M.B. James, R.H. Miller, B.M. Woo
SLAC, USA

Two recent failures of the positron source solenoid have led to a design study of more conservative coils. Great improvements in computers and Monte Carlo programming make the present study more thorough than was possible at the time of the original source design. A Monte Carlo program has been used to calculate the distribution in phase space of the electromagnetic shower from the target of the SLAC positron source. Positron and electron distributions were calculated for copper and tungsten targets. A ray tracing program was used to calculate the acceptance of the focusing system. The existing source makes use of an adiabatically tapered solenoid. The yield of this system has been compared with two alternatives: a proposed modification of the tapered solenoid and a focusing system using a short solenoid as a quarter-wave phase space transformer. The calculated yield for the existing system is in reasonable agreement with experimental observation.

РАСЧЕТ ИСТОЧНИКОВ ПОЗИТРОНОВ
М.Б.Джеймс, Р.Х.Миллер, Б.М.Ву
СЛАК, США

Две последние неудачи в создании соленоидного источника позитронов сделали необходимым исследование более консервативных катушек. Большой прогресс в вычислительной технике и в программировании методом Монте-Карло делает настоящее изучение более полным, чем это было возможно во время конструирования первоначального источника. Программа Монте-Карло использовалась для вычисления распределения в фазовом пространстве электромагнитного каскада с мишени позитронного источника СЛАК. Распределения позитронов и электронов были вычислены для медной и вольф-

рамовой мишеней. Программа вычисления траекторий использовалась для расчета аксептанса фокусирующей системы. В существующем источнике используется адиабатическая соленоидная ловушка. Выход в этой системе сравнивается с двумя другими возможными вариантами: предложенным вариантом соленоидной ловушки и вариантом фокусирующей системы, использующей короткий четвертьволновый трансформатор в фазовом пространстве. Расчетный выход для существующей системы находится в хорошем согласии с экспериментальными данными.

УЛУЧШЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПУЧКА
ПРИ МЕДЛЕННОМ ВЫВОДЕ ИЗ УСКОРИТЕЛЯ ИВЭ НА ЭНЕРГИЮ 70 ГЭВ

В.К.Воробьев, А.В.Левин, Л.Л.Мойжес, К.П.Мызников,
В.М.Татаренко, Ю.С.Федотов
Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Сообщаются экспериментальные результаты исследований по улучшению временной структуры пучка при медленном выводе протонов интенсивностью до $3 \cdot 10^{12}$ частиц в импульсе за время более 1 с.

Приводятся амплитудно-фазовые характеристики резонансов бетатронных колебаний второго и третьего порядков.

Описываются методы уменьшения модуляции плотности выводимого пучка с использованием обратной связи по пучку и методы параметрического подавления пульсаций с учетом полученных амплитудно-фазовых характеристик.

ON IMPROVING BEAM TIME STRUCTURE DURING SLOW EJECTION
AT THE IHEP 70 GEV ACCELERATOR

V.K.Vorobjov, A.V.Levin, L.L.Mojzhes, K.P.Myznikov,
V.M.Tatarenko, Yu.S.Fedotov
Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR

The experimental results on improving the beam time structure during slow ejection of protons with the intensity up to 3×10^{12} ppp are reported.

Pulse-height phase characteristics for the third and second order resonances of betatron oscillations are presented. The methods to reduce the modulations of the ejected beam density with the help of the beam feedback as well as the methods of parametric suppression of pulsations are described with account of the obtained pulse-height phase characteristics.

О МЕДЛЕННОМ ВЫВОДЕ ИЗ СИНХРОТРОНА

А.Г.Стадников
Институт теоретической и экспериментальной физики,
Москва, СССР

Рассмотрено одновременное действие двух близких нелинейных резонансов на радиальные колебания частиц в синхротроне. Медленный вывод частиц происходит вследствие раскачки колебаний под действием нелинейного резонанса третьего порядка. Второй, близкий к нему нелинейный резонанс, является структурным. Он принят во внимание для расчета допуска на соответствующее регулярное нелинейное возмущение поля кольцевого электромагнита. Оценена также доля невыведенных частиц, продолжающих циркулировать в вакуумной камере синхротрона после пересечения нелинейного резонанса третьего порядка. Численные расчеты сделаны для предложенной недавно новой магнитной системы протонного синхротрона ИТЭФ.

ON THE SLOW EXTRACTION FROM SYNCHROTRON

A.G.Stadnikov
Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, USSR

Simultaneous influence of two adjacent nonlinear resonances on particle radial oscillations is considered. Slow extraction is caused by nonlinear third order resonance. The second close resonance is structural. It was taken into account to calculate the tolerance on the corresponding regular nonlinear field perturbation in the circular electromagnet. The fraction of unextracted particles, which continue to circulate in the vacuum chamber of the synchrotron after crossing the nonlinear third order resonance is estimated. The numerical calculations have been made for a recently proposed new magnet system of the IHEP proton synchrotron.

ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОСКОЙ ВЕРШИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО СИНХРОТРОНА

В.П.Гончаренко, О.А.Гусев, А.П.Лебедев, Н.С.Резчикова,
В.Д.Федоров

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В.Ефремова, Ленинград, СССР

Рассматриваются возможные схемные решения устройств формирования плоской вершины направляющего магнитного поля в электронных синхротронах для обеспечения медленного вывода электронов и вопросы синхронизации циклов ускорения с частотой питающей сети. Проводится анализ экономичности и надежности указанных устройств. Рассматриваются вопросы формирования плоской вершины тока в электромагнитах специального назначения для каналов вывода и транспортировки пучка.

ASPECTS OF FLAT TOP FORMING OF ELECTRON SYNCHROTRON MAGNETIC FIELD

V.P.Goncharenko, O.A.Gusev, A.P.Lebedev, N.S.Rezchikova,
V.D.Fedorov

D.V.Efremov Scientific Research Institute
of Electrophysical Apparatus, Leningrad, USSR

Possible circuit schemes of the magnetic field flat top forming devices in the electron synchrotrons to provide the electron slow extraction and the aspects of the acceleration cycle synchronization with the mains frequency are considered. The analysis of cost and safety of these devices is presented. The aspects of the current flat top forming in the special electromagnets for the beam extraction and transport channels are considered.

МЕТОД ДВОЙНОГО НАВЕДЕНИЯ ПУЧКА НА ВНУТРЕННИЕ МИШЕНИ СИНХРОТРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Х.А.Симонян, А.Р.Туманян
Ереванский физический институт, СССР

Показано, что одним радиальным локально-независимым наведением циркулирующих частиц одновременно на две и более мишеней

электронного синхротрона невозможно обеспечить независимое деление интенсивности ускоренного пучка между мишенями с сохранением требований, предъявляемых к параметрам выводимых пучков.

Предложен и разработан метод двойного наведения пучка, сущность которого заключается в следующем. В конце каждого цикла ускорения пучок смещается одновременно в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, при этом закон радиального смещения подбирается из условий обеспечения равномерности вывода частиц, а закон вертикального смещения - для обеспечения требуемого значения суммарного количества частиц, сбрасываемых на данную мишень.

Показано, что использование метода позволит оперативно перераспределять интенсивность ускоренного пучка между мишенями в неограниченном диапазоне соотношений с сохранением всех требований к параметрам выводимых пучков, а также найдены условия, обеспечивающие независимость работы одной мишени от работы остальных.

THE DOUBLE-PLANE DEFLECTION OF HIGH ENERGY SYNCHROTRON BEAM ONTO INTERNAL TARGET

Kh.A.Simonian, A.R.Tumanian
Yerevan Physics Institute, USSR

It is shown that using only the radial locally independent deflection of circulating particles onto two or more targets of electron synchrotrons one cannot provide an independent distribution of the accelerated beam intensity between the targets maintaining the requirements of the ejected beam parameters.

A method for double-plane deflection of the accelerated beam onto the synchrotron targets has been proposed and developed. According to this method at the end of each acceleration cycle the beam is shifted simultaneously in two mutually perpendicular planes, the radial and vertical shifting laws being chosen to provide the uniform particle ejection and the required number of particles incident onto the given target, respectively. It is shown that the application of this method allows to redistribute operatively the accelerated beam intensity between the targets in an unlimited range of intensity ratio maintaining all the parameters of the ejected beams. The conditions allowing to provide an absolute operation independence of the targets are obtained.

DECELERATION OF ANTIPROTONS FOR PHYSICS EXPERIMENTS AT LOW ENERGY
(A low energy antiproton factory)

K. Kilian

Institute of Physics, University of Heidelberg, FRG

D. Möhl

CERN, Geneva, Switzerland

The antiproton yield decreases rapidly for energies below the production maximum (≈ 4 GeV/c for 25 GeV/c protons). At the CERN PS typically only a few hundred to a few thousand \bar{p} per pulse are available in standard beams at, say, 0.5 - 1 GeV/c. A 4 to 0.1 GeV/c decelerating synchrotron - similar to the "shuttle ring" proposed by Rubbia et al. to speed up \bar{p} cooling - could increase these intensities by a large factor. We concentrate on the design of a decelerator without phase-space cooling. Another large factor could be gained by combining deceleration with cooling.

ЗАМЕДЛЕНИЕ АНТИПРОТОНОВ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ПРИ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ
(АНТИПРОТОННАЯ ФАБРИКА НА НИЗКИЕ ЭНЕРГИИ)

К. Кильян

Институт физики, Гайдельберг, ФРГ

Д. Мёль

ЦЕРН, Женева, Швейцария

Выход антипротонов существенно уменьшается для энергий, лежащих ниже значения, при котором их выход максимален (примерно 4 ГэВ/с для протонов с импульсом 25 ГэВ/с). Типичным для стандартных пучков протонного синхротрона ЦЕРН является получение от нескольких сотен до нескольких тысяч \bar{p} с энергиями в диапазоне (0,5-1 ГэВ/с). Замедляющий синхротрон от энергии 4 ГэВ до 0,1 ГэВ, подобный установке, предложенной Руббиа и др. для ускорения охлаждения \bar{p} , может повысить их интенсивность во много раз. Мы сосредоточили усилия только на разработке замедлителя, без охлаждения в фазовом пространстве. Применение охлаждения совместно с замедлением даст еще больший коэффициент.

Сессия X.

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СИСТЕМЫ

Session X.

SUPERCONDUCTING SYSTEMS

THE SUPERCONDUCTING MAGNET PROGRAM
AT BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY

(Invited Paper)

P.F. Dahl

Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA

The superconducting magnet research and development program at BNL has mainly been directed at the design of dipoles and quadrupoles suitable for use in the proposed 200 x 200 GeV Intersecting Storage Accelerator, ISABELLE. The principal dipole design parameters are: operating field 4.0 T, coil aperture 12 cm, and magnetic length 4.35 m. The corresponding quadrupole requirements are: gradient 5.2 T/m, coil aperture 12 cm, and magnetic length 1.45m. The magnets will be cooled by forced circulation of high pressure helium gas. Six full-size dipoles, and one quadrupole, have presently been completed; a short film illustrating the construction of one of these magnets will be available at the Conference. The dipole most recently tested reached a maximum central field of 4.9 T; the quadrupole reached a gradient of 7.1 T/m. Two of the dipoles and the quadrupole are connected in series both electrically and cryogenically, in a configuration simulating a half-cell of the basic ISABELLE

ring structure. Four large aperture superconducting dipoles are operating in the high energy unseparated beam at the AGS. The magnet program also includes the development of dipoles utilizing filamentary Nb_3Sn conductors, as well as dipoles based on conventional $NbTi$ conductors but designed for substantially higher fields.

ПРОГРАММА ПО СВЕРХПРОВОДЯЩИМ МАГНИТАМ
БРУКХЕЙВЕНСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ
(Приглашенный доклад)

П.Ф. Даль

Брукхейвенская национальная лаборатория, Нью-Йорк, США

Программа по разработке и исследованиям сверхпроводящих магнитов в Брукхейвенской национальной лаборатории направлена, в первую очередь, на создание дипольных магнитов и квадрупольных линз, пригодных для использования в предложенном проекте ускорителя-накопителя "Изабелла" со встречными пучками на энергию 200 x x 200 ГэВ. Конструктивные параметры основного дипольного магнита: проектная напряженность поля 4,0 Т; рабочая апертура магнита 12 см; магнитная длина 4,35 м. Соответствующие требования к параметрам квадрупольной линзы: градиент магнитного поля 5,2 Т/м; апертура линзы 12 см; магнитная длина 1,45 м. Магниты будут охлаждаться при помощи принудительно циркулирующего газообразного гелия под высоким давлением. В настоящее время закончены шесть полноразмерных дипольных магнитов и одна квадрупольная линза. На конференции будет показан короткий фильм, иллюстрирующий конструкцию одного из этих магнитов. В последних испытаниях на дипольном магните достигнуто поле в центре 4,9 Т; в квадрупольной линзе достигнут градиент 7,1 Т/м. Электрические и криогенные коммуникации двух дипольных магнитов и одной квадрупольной линзы были соединены последовательно в конфигурацию, моделирующую полупериод магнитной структуры основного кольца "Изабеллы". Четыре сверхпроводящих дипольных магнита с большой апертурой используются на несепарированном пучке высоких энергий синхротрона с переменным градиентом. Магнитная программа включает в себя также разработку дипольных магнитов, использующих сверхпроводники Nb_3Sn , а также диполи, созданные на основе обычных $NbTi$ проводников, но предназначенные для получения существенно более высоких полей.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
ДИПОЛЬНЫХ МАГНИТОВ

В.П.Алексеев, В.Ф.Алешин, Л.И.Гребень, Е.С.Миронов, Л.А.Попокин
Радиотехнический институт АН СССР, Москва

А.А.Васильев

Государственный комитет по использованию атомной энергии, СССР

Одной из главных трудностей создания сверхпроводящих дипольных магнитов для ускорителей высоких энергий является получение высокой однородности поля и обеспечение воспроизводимости магнитных характеристик отдельных магнитных блоков.

На решение этой задачи была нацелена программа, осуществлявшаяся в РТИ АН СССР в течение нескольких прошедших лет. В плане её реализации были разработаны идентичные по конструкции и технологии изготовления прецизионные дипольные магниты СПД-3 и СПД-3' с номинальной напряженностью поля 40 кЭ, которые были испытаны в горизонтальном криостате с диаметром теплового поля 50 мм. Диполь СПД-3 был испытан в октябре 1974г., диполь СПД-3' - в сентябре 1975г. Испытания диполей на идентичность были проведены в январе 1976г. Во всей апертуре теплового поля неоднородность индукции не превышала $4 \cdot 10^{-4}$. Испытание диполей на идентичность магнитных характеристик показало, что отличие в полях двух магнитов при средних индукциях меньше 0,1%.

Эффект тренировки в обоих магнитах был одинаковым. Последние исследования диполей СПД-3 и СПД-3', проведенные в 1976 г., состояли в изучении влияния на эффект тренировки в различных условиях предварительного сжатия обмоток с помощью бандажей из нержавеющей стали, алюминия и капрона. Кроме того, в докладе приводятся данные исследования эффекта тренировки на моделях, имитирующих условия тренировки, характерные для дипольных магнитов.

Проведенные исследования показали зависимость эффекта тренировки от типа конструкции, предварительного натяжения и вида пропитываемого обмотку вещества.

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION
OF PRECISE SUPERCONDUCTING DIPOLE MAGNETS

V.P.Alexeev, V.F.Aleshin, L.I.Greben',
E.S.Mironov, L.A.Popokin

Radiotechnical Institute, USSR Academy of Sciences, Moscow
A.A.Vasiliev

State Committee for Utilization of Atomic Energy, Moscow, USSR

Field homogeneity and magnet performance reproducibility are the main problems in designing of superconducting dipole magnets for high energy accelerators.

A research program to solve the above problems was carried out in recent years in the Radiotechnical Institute of the USSR Academy of Sciences. Two identical 40 kOe precise dipoles (SPD-3 and SPD-3') were designed and tested in a horizontal cryostat (warm bore diameter 50 mm). SPD-3 was tested in October, 1974, SPD-3' - in September, 1975. Field non-uniformity in the whole warm aperture did not exceed $4 \cdot 10^{-4}$ in both magnets. Identity tests were performed in January 1976. Field difference in the magnets at intermediate inductions was less than 0.1 percent.

Both dipoles had similar training. Recent tests of the dipoles carried out in 1976 were aimed to investigate the effect of the winding prestressing by stainless steel, aluminium and capron binding bands on the training. Experimental data obtained with models simulating the training of dipoles as well as data on influence of construction scheme, prestressing and type of impregnant on the training are presented.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ АНАЛИЗА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ УСКОРЯЮЩИХ СИСТЕМ

А.Н.Диденко, Л.М.Севрюкова, Г.М.Самойленко,
А.А.Ятис, Г.Г.Крючкова

Научно-исследовательский институт ядерной физики
Томского политехнического института, СССР

На основе существующих ядерно-физических методов анализа вещества показано, что для определения состояния поверхностного слоя сверхпроводника на различных этапах технологической обработ-

ки необходимо комплексное использование методов обратного кулоновского рассеяния, аномального упругого рассеяния ионов и Оже-электронной спектроскопии.

Приведены экспериментальные результаты исследования кинетики высокотемпературного отжига в высоком вакууме методами Оже-электронной спектроскопии и масс-спектрометрического анализа, а также результаты обезгаживания поверхностного слоя при использовании метода обратного резонансного рассеяния альфа-частиц. Показана эффективность электрохимической очистки поверхностного слоя сверхпроводящих структур от примесей тяжелых элементов с использованием метода обратного кулоновского рассеяния.

Исследовано влияние различных видов технологической обработки на величину добротности и предельных полей сверхпроводящих резонаторов различных частотных диапазонов. Получены значения собственной добротности выше 10^9 и пикового электрического поля 20 МВ/м.

METHODS OF NUCLEAR PHYSICS
IN ANALYSIS OF SUPERCONDUCTING METALS AND ALLOYS
FOR MANUFACTURING SUPERCONDUCTING ACCELERATING SYSTEMS

A.N.Didenko, L.M.Sevryukova,

G.M.Samoilenko, A.A.Jatis, G.G.Kryuchkova

Scientific Research Institute of Nuclear Physics, Tomsk, USSR

It is shown on the basis of the existing nuclear physical methods of analysis that a combined application of back Coulomb scattering, anomalous elastic scattering of ions, and Auger-electron spectroscopy is required to determine superconductor surface layer state at different stages of technological process.

The experimental results of investigation of high temperature bake kinetics in high vacuum by means of Auger-electron spectroscopy and mass-spectroscopy are shown, and the results of degassing the surface layer by using the method of α -particle resonant back scattering are also given. The efficiency of electrochemical cleaning of the surface layer of the superconducting structures from the heavy element impurities with the help of Coulomb back scattering method is shown.

The influence of the different technological treatment methods on the Q-quality and the upper limits of the magnetic

fields for the superconducting resonators in different frequency regions has been investigated. The values of Q-quality itself higher than 10^9 and of peak electric field 20 MV/m have been obtained.

ELECTRON MULTIPACTING IN SUPERCONDUCTING STRUCTURES

C.M. Lyneis, H.A. Schwettman, J.P. Turneaure

High Energy Physics Laboratory

Stanford University, Stanford, California, USA

Electron multipacting has proved to be the dominant problem in the operation of the niobium structures used in the Stanford superconducting accelerator. For those structures under unfavorable conditions multipacting has been the cause of frequency instability of the structures, energy modulation of the electron beam, and the principal limitation on achieved energy gradient. Recently, we have shown that the multipacting observed in our accelerator structure is "one-point multipacting" which occurs at the outer cylindrical wall, and we have shown that it can be eliminated by a simple change in the cell geometry. The character and the consequences of multipacting and the method of eliminating this phenomenon will be discussed.

ЭЛЕКТРОННЫЙ МУЛЬТИПАКТОРНЫЙ ЭФФЕКТ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУРАХ

С.М. Лайнис, Г.А. Швettман, Ж.П. Турнор

Станфордский университет, Калифорния, США

Электронный мультипакторный эффект был основной проблемой при работе ниобиевых структур, используемых в Станфордском сверхпроводящем ускорителе. При неблагоприятных условиях мультипакторный эффект вызывал частотную нестабильность структур, модуляцию энергии в электронном пучке и определял ограничение на достижимую величину удельного ускорения. Недавно нами было показано, что мультипакторный эффект, наблюдаемый в нашей ускорительной структуре, является "одноточечным мультипакторным эффектом", который возникает на внешней цилиндрической стенке, и что этот эффект может быть устранен простым изменением геометрии ячейки. Характер и процесс развития мультипакторного эффекта, а также метод его устранения будут обсуждаться.

STATUS OF MUSL-2,

THE SECOND MICROTRON USING A SUPERCONDUCTING LINAC

P. Axel, L.S. Cardman, A.O. Hanson, J.R. Harlan,
R.A. Hoffswell, D.C. Sutton, R.H. Taylor and L.M. Young
University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA

D. Jamnik

Yugoslavia

The racetrack microtron, MUSL-2, consists of a Van de Graaff electron injector operating at 2 MeV, a 6 meter, 1.3 GHz superconducting linac made at the Stanford High Energy Physics Laboratory, and the 6 pass recirculation magnets from MUSL-1^{1/1}. The linac and its associated transport systems are operated through a digital control system. A CTI 1400 helium liquefier together with the low pressure heat exchanger from MUSL-1 installed as a closed refrigeration system has maintained the linac at 2 K continuously without special attention.

Continuous single pass beams of 10 microamperes with energies up to 14 MeV are being used for nuclear physics experiments. The 6 pass recirculation system is being assembled and a beam of 72 MeV is expected this summer.

As a step toward higher energy we plan to inject the beam from MUSL-2 into a second microtron arrangement operating at $\nu = 1$. With return orbits separated by 7.35 cm, relatively small magnets can accommodate 18 additional passes. At 12 MeV per pass electrons could reach a final energy of 288 MeV.

СОСТОЯНИЕ МИКРОТРОНА МУСЛ-2,

ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

П. Аксель, Л.С. Кардман, А.О. Хансон, Дж. Р. Харлан, Р.А. Хоффсвелл,
Д.С. Саттон, Р.Х. Тейлор, Л.М. Янг

Иллинойский университет, США

Д. Джамник

Югославия

Микротронный рейстрек, МУСЛ-2 включает в себя генератор Ван де Граафа в качестве инжектора электронов с энергией 2 МэВ, 6-метровый сверхпроводящий линейный ускоритель с частотой 1,3 ГГц, сделанный в Станфордской лаборатории физики высоких энергий, и 6 магнитных рециркуляционных дорожек от МУСЛ-1. Линейный ускоритель

тель и связанные с ним системы транспортировки управляются вычислительными машинами. Гелиевый охладитель СТИП400 вместе с теплообменником низкого давления, смонтированные как замкнутая система охлаждения, постоянно поддерживают температуру линейного ускорителя 2°К.

Непрерывные пучки с током 10 мкА и энергиями вплоть до 14 МэВ, полученные при однооборотном ускорении, используются для экспериментов в ядерной физике. Шестидорожечная рециркуляционная система монтируется в настоящее время, и этим летом должен быть получен пучок с энергией 72 МэВ.

В качестве следующего шага по повышению энергии мы планируем инжектировать пучок из МУСЛ-2 во второй микротрон, работающий при $\nu = 1$. Относительно слабыми магнитами можно создать 18 дополнительных дорожек с расстояниями между ними 7,35 см. При росте энергии 12 МэВ/оборот электроны достигнут конечной энергии 288 МэВ.

Сессия XI.

ДИНАМИКА ЧАСТИЦ В УСКОРИТЕЛЯХ И НАКОПИТЕЛЯХ

Session XI.

BEAM DYNAMICS IN ACCELERATORS AND STORAGE RINGS

СИНХРОБЕТАТРОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ ПРИ НУЛЕВОМ ХРОМАТИЗМЕ

Н. А. Винокуров, В. Н. Корчуганов, Г. Н. Кулипанов,
В. Н. Литвиненко, Е. А. Переведенцев, А. Н. Скринский
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

На поведение пучка в накопителях и ускорителях существенное влияние оказывают синхробетатронные резонансы. Обычно при рассмотрении синхробетатронных резонансов учитывается только хроматизм (т.е. зависимость частоты бетатронных колебаний от энергии частиц). В этом приближении при нулевом хроматизме синхробетатронные резонансы отсутствуют.

Показано, что в присутствии поперечных (т.е. перпендикулярных к равновесной орбите) электрических или магнитных полей, меняющихся с частотой, кратной частоте обращения ($\omega = q \omega_0$), при нулевом хроматизме появляются синхробетатронные резонансы $\nu_{x,z} + n \nu_s = m$. Сила резонанса пропорциональна $J_n(2\pi \frac{l}{\lambda})$, где J_n - функция Бесселя n -го порядка; l - длина сгустка; λ - длина волны ВЧ-поля. Поэтому эти резонансы существенны в электронных накопителях на высокую энергию (SPEAR-II, DORIS, ВЭПП-4, PEP), где ν_s достаточно велико ($\sim 0,1$), а $l/\lambda \sim 1$.

Полученные результаты позволяют объяснить появление боковых синхробетатронных полос около целого резонанса при нулевом хроматизме на SPEAR-II искажением орбиты в резонаторе.

Приведены оценки для предельно допустимых искажений равновесной орбиты в резонаторе для накопителя ВЭПП-4.

SYNCHROBETATRON RESONANCES AT ZERO VALUE OF CHROMATICITY

N.A.Vinokurov, V.N.Korchuganov, G.N.Kulipanov, V.N.Litvinenko,
E.A.Perevedentsev, A.N.Skrinsky

Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

The behaviour of the beam in the storage rings and accelerators is significantly influenced by synchrobetatron resonances. They are generally considered to be caused by the non-compensated chromaticity (i.e. by the momentum dependence of the betatron frequency). In this approach the synchrobetatron resonances vanish if the chromaticity goes to zero.

However, it has been shown that in the presence of transverse (i.e. normal to the equilibrium orbit) electric or magnetic fields oscillating with the integer multiple of the revolution frequency ($\omega = q\omega_0$) synchrobetatron resonances $\nu_{x,z} + n\nu_s = m$ arise at zero chromaticity. The resonance strength is proportional to $J_n(2\pi\frac{l}{\lambda})$, where J_n is n-th order Bessel function, l is the bunch length, λ is the wavelength of the RF field. Thus, these resonances are severe in the high energy storage rings (SPEAR II, DORIS, VEPP-4, PEP), where ν_s is large enough (~ 0.1) and $l/\lambda \sim 1$.

The results obtained give an explanation of the chromaticity-independent synchrobetatron sidebands of the integer resonances, observed in SPEAR II with the orbit distortion in the RF cavities taken into account.

The estimate has been made for tolerable orbit distortions in the RF cavities of VEPP-4.

COMPUTER SIMULATION OF BUNCH LENGTHENING AND WIDENING IN PROTON STORAGE RINGS

A.G. Ruggiero
Fermilab, USA

Analytical theory predicts the condition under which a proton bunch is unstable because of high frequency, higher order

self-bunching. The theory also can supply the growth time of the instability at the onset. But it is not possible to derive analytically the development of the instability at a later time. For instance, one relevant question concerns the final bunch size when the beam reaches stability again.

To look into this matter, we carried out several computer simulations of proton bunch motions in storage rings. We compared final bunch size to initial size for different machine and particle parameters. We worked out a semi-empirical relation to summarize our findings.

The model of a constant, real impedance has been used.

МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЭМ ПРОЦЕССОВ УДЛИНЕНИЯ И РАСШИРЕНИЯ СГУСТКА В ПРОТОННЫХ НАКОПИТЕЛЬНЫХ КОЛЫЦАХ

А.Г. Руггiero
Лаборатория Ферми, США

С помощью аналитической теории можно получить условие неустойчивости сгустка протонов из-за высокочастотной самобанчкировки. Теория позволяет также вычислить инкремент неустойчивости для начальной стадии процесса. Однако дальнейшее развитие процесса аналитически описать невозможно. Это относится, например, к вопросу о конечном размере сгустка после того, как пучок снова достигает устойчивости.

Для выяснения этого вопроса мы провели расчеты на ЭМ для некоторых моделей движения сгустка протонов в накопительных кольцах. Мы сравнивали конечный размер сгустка с его первоначальным размером для различных параметров машины и пучка. На основе полученных данных мы получили полуэмпирическое соотношение.

При расчетах использовалась модель постоянного действительного импеданса.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА УВЕЛИЧЕНИЯ ФАЗОВОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ СГУСТКА В НАКОПИТЕЛЕ ХФТИ

И.И.Коба, С.Г.Кононенко, Л.Д.Лобзов, Н.И.Мочешников
Физико-технический институт АН УССР, Харьков

Приведены результаты исследования эффекта удлинения сгустка в накопителе ХФТИ при различных параметрах накопителя и при

изменении электродинамических свойств камеры накопителя. Обнаружены эффекты, связанные с взаимодействием сгустка с резонансными элементами камеры, для которых длина сгустка меньше длины волны основной моды. Основным механизмом этих эффектов является зависимость силы реакции излучения частиц от их положения в сгустке и наличие общих энергетических потерь на излучение при пролёте резонатора.

Исследовано влияние эффекта удлинения сгустка на пороги продольной неустойчивости пучка при взаимодействии его с резонатором. Обнаружено уменьшение порогов неустойчивости из-за уменьшения некогерентной частоты синхротронных колебаний, связанное с индуктивным импедансом камеры.

За счет уменьшения индуктивного импеданса вакуумной камеры в накопителе ХФТИ получен ток 1,2 А при энергии 70 МэВ.

INVESTIGATION OF BUNCH PHASE LENGTHENING EFFECT IN STORAGE RING

I.I.Koba, S.G.Kononenko, L.D.Lobzov, N.I.Mocheshnikov
Physical-Technical Institute, Kharkov, USSR

The effect of the bunch length increase in the KFTI storage ring is studied at different parameters of the storage ring and under different electromagnetic properties of the storage ring chamber.

The effects associated with interaction of the bunch with resonant elements of the chamber whose principal mode wave length is larger than that of the bunch are found. These effects are caused by the dependence of the particle radiation intensity on the particle position in the bunch and by common energy losses for radiation while passing the cavity.

The influence of bunch lengthening on thresholds of the longitudinal beam instability at the beam-cavity interaction is studied. The instability threshold due to the inductive impedance of the chamber decreases with the decrease of incoherent synchrotron oscillation frequency.

By reducing the inductive impedance of the vacuum chamber in the KFTI storage ring it was possible to obtain the current of 1,2 A at the energy of 70 MeV.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТИПА "ГОЛОВА-ХВОСТ" ПРИ БОЛЬШИХ АМПЛИТУДАХ КОГЕРЕНТНЫХ БЕТАТРОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Н.А.Винокуров, Г.Н.Кулипанов, Е.А.Переведенцев
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Рассмотрены бетатронные колебания пучка как целого с амплитудой, много большей его поперечных размеров, при наличии хроматизма и кубической нелинейности ведущего магнитного поля. Показано, что при заданном знаке хроматизма амплитуда колебаний может как нарастать, так и убывать в зависимости от тока пучка и амплитуды колебаний. Параметром, определяющим поведение пучка, является в этом случае отношение частоты фазовых колебаний в самосогласованной области бетатронной автофазировки ω_{ϕ} к синхротронной частоте Ω . Приведены результаты экспериментального изучения фазово-синхротронного резонанса $\omega_{\phi} = \Omega$. Предложен новый способ подавления поперечных неустойчивостей посредством периодического изменения ω_{ϕ} с частотой $2n \cdot \omega_{\phi}$ (n - целое), приводящего к расфазировке колебаний отдельных частиц пучка.

INVESTIGATION OF THE DECAY OF THE HEAD-TAIL INSTABILITY AT LARGE AMPLITUDES OF THE COHERENT BETATRON OSCILLATIONS

N.A.Vinokurov, G.N.Kulipanov, E.A.Perevedentsev
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

The coherent betatron oscillations of the whole beam have been considered at an amplitude much greater than the beam size, the account is taken of the chromaticity and the cubic non-linearity of the guide magnetic field. For a given sign of the chromaticity the oscillation amplitude has been shown either to grow or to die out depending on beam current and initial amplitude. A critical parameter determining the beam behavior is a ratio of the phase oscillation frequency in a self-consistent betatron autophasing area $\omega_{\phi h}$ to the synchrotron frequency Ω . The experimental study of a phase-synchrotron resonance is described.

A novel technique to suppress transverse instabilities is proposed, namely a periodic modulation of $\omega_{\phi h}$ with the frequency $2n \cdot \omega_{\phi h}$ (n is integer) which results in dephasing of the oscillations of individual particles in the beam.

BUNCH INDUCED MULTIPACTORING

O. Gröbner

CERN, Geneva, Switzerland

Electrons accelerated by the electric field of a proton bunch traverse the vacuum pipe and liberate secondary electrons on the opposite wall. If the electrons receive sufficient energy to cross the chamber between successive bunches and have a secondary yield above unity, multiplication sets in. This transit condition gives a lower limit for the bunch current at which the multipactoring may occur. The process has been observed in an aluminium vacuum pipe mounted in the ISR where the intense electron bombardment has provoked large pressure spikes coinciding with the stacking of proton pulses. Means to suppress multipactoring which depends through the secondary yield on the material and surface composition of the vacuum chamber as well as possibilities to exploit it for surface cleaning are being studied.

МУЛЬТИПАКТОРНЫЙ ЭФФЕКТ, ИНДУЦИРУЕМЫЙ СТРУПШИРОВАННЫМ ПУЧКОМ

О. Гребнер

ЦЕРН, Женева, Швейцария

Электроны, ускоряемые электрическим полем протонного сгустка, пересекают вакуумную камеру и выбивают вторичные электроны в противоположной стенке. Если электроны получают энергию, достаточную для пересечения камеры между двумя последовательными сгустками, а выход вторичных частиц больше единицы, то возникает резонансный высокочастотный разряд. Это условие дает нижний предел для тока пучка, при котором может произойти резонансный высокочастотный разряд. Этот процесс наблюдался в алюминиевой вакуумной камере, смонтированной в накопительных кольцах ЦЕРН, где интенсивная электронная бомбардировка вызывала значительное импульсное повышение давления с частотой, совпадающей с частотой следования импульсов накапливаемых протонов. Резонансный высокочастотный разряд изучался как для подавления с учетом зависимости выхода вторичных частиц от материала и состава поверхности вакуумной камеры, так и для использования для очистки поверхности.

BEAM DYNAMICS MEASUREMENTS

IN THE STANFORD SUPERCONDUCTING RECYCLOTRON

M.S. Brittan, M.S. McAshan, H.A. Schwettman, T.I. Smith,
J.P. Turneaure

High Energy Physics Laboratory, Stanford University,
Stanford, California, USA

The beam recirculation system for the Stanford superconducting accelerator is designed to provide four orbits of recirculation (five passes through the linac sections) and ultimately an electron beam energy of 700 MeV. Detailed measurements of the electron beam parameters after the first orbit (two accelerations) and preliminary measurements of the beam parameters after the second orbit (three accelerations) will be presented.

Regenerative beam breakup is an important problem in accelerators with beam recirculation because the starting current for breakup decreases as the number of orbits increases. In addition, deflection modes for which beam breakup in a single pass is not possible in principle can become important in recirculation. Calculations and preliminary experimental results on beam breakup will be presented.

ДИНАМИКА ПУЧКА В СТАНФОРДСКОМ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ РЕЦИКЛОТРОНЕ
M.C. Бриттен, M.C. Мак Ашен, Г.А. Шветтман, Т.И. Смит, Ж.П. Турноур
Станфордский университет, Калифорния, США

Для обеспечения четырех орбит рециркуляции (5 дорожек в секциях линейного ускорителя) разработана рециркуляционная система для Станфордского сверхпроводящего ускорителя с целью получения электронного пучка с энергией 700 МэВ. Представляются результаты детальных измерений параметров пучка на первой орбите (2 ускорения) и предварительные измерения параметров пучка на второй орбите (3 измерения).

Важную проблему в ускорителях с рециркуляцией пучка представляет регенеративное разрушение пучка, поскольку пороговое значение интенсивности пучка, при котором начинается разрушение, уменьшается линейно с увеличением числа орбит. Кроме того, моды отклонений, не представляющие опасности при одной орбите, могут стать опасными при рециркуляции. Представлены расчеты и предварительные экспериментальные результаты исследования разрушения пучка.

PROTON ACCUMULATOR RING INJECTION STUDIES

R.K. Cooper and V.K. Neil

University of California, Los Alamos Scientific Laboratory
and Lawrence Livermore Laboratory, USA

A numerical study of the solutions of the Vlasov equation for the particle distribution function in longitudinal phase space has been made to explore the details of the injection process in a multi-turn, charge exchange injected intense current 800 MeV proton accumulator ring. Both the operating mode in which applied rf operates to bunch the beam and the mode in which the injected linac micropulses are allowed to debunch (applied rf off) are treated. Longitudinal space charge forces and resistive wall effects are included in the calculation, as well as the nonlinear nature of the rf waveform. Numerical parameters appropriate to the proposed storage ring at LAMPF are used in the calculations.

ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕКЦИИ В КОЛЫЦЕВОЙ НАКОПИТЕЛЬ ПРОТОНОВ

Р.К.Купер, В.К.Нейл
ЛАСЛ, Лос-Аламос, США

Получены численные решения кинетического уравнения для функции распределения частиц в продольном фазовом пространстве для детального изучения многооборотной перезарядной инжекции интенсивного пучка протонов с энергией 800 МэВ в накопительное кольцо. Рассмотрены случаи, когда пучок сгруппирован ускоряющим напряжением и когда инжектированные из линейного ускорителя ВЧ-банки разгруппировываются (ускоряющее напряжение выключено). При расчетах учитываются продольное электрическое поле пучка и эффекты конечного сопротивления стенок, а также нелинейность ускоряющего напряжения. При вычислениях используются численные параметры предложенного накопительного кольца ЛАМПФ.

ИЗУЧЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКОВ

И.Б.Вассерман, Ф.М.Израйлев, С.И.Мишнев,
Г.М.Тумайкин

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Приводятся результаты численного моделирования взаимодействия частицы со встречным сгустком. Исследуются одномерные колебания в ленточной и цилиндрической моделях пучка с гауссовским распределением. Показывается, что в отсутствие какой-либо модуляции бетатронных колебаний стохастичность начинается при значительно больших значениях линейного сдвига бетатронной частоты ξ , чем на реальных установках. Выясняется роль модуляции, эквивалентной радиально-фазовым колебаниям, при этом неустойчивость возникает для существенно меньших значений параметра ξ . Обнаружено, что наиболее опасным является случай, когда направления бетатронных и синхротронных колебаний совпадают. Для вертикальных колебаний в электрон-позитронном накопителе такая модуляция возникает из-за вертикальной дисперсии. Проводится сравнение с экспериментальными данными, полученными на установке ВЭПП-2М.

STOCHASTIC EFFECTS UNDER THE INTERACTION OF COLLIDING BEAMS

I.B.Vasserman, F.M.Izrailev, S.I.Mishnev, G.M.Tumaikin
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

The computer simulation results under the interaction of a particle with a colliding bunch are presented. The one-dimensional oscillations in the ribbon and cylindrical models of a beam with the Gaussian distribution are studied. It is shown that without any modulation of betatron oscillations the stochasticity appears at considerably larger values of the linear shift of a betatron frequency ξ as compared to the experimental data. A significance of the modulation equivalent to the radial-phase oscillations is revealed, the instability appearing at smaller values of a parameter ξ . It is found that the most dangerous case is that the directions of the betatron and synchrotron oscillations are parallel. In the electron-positron storage ring a modulation of the vertical oscillations is due to the vertical dispersion. The computation results are compared with the experimental data obtained on VEPP-2M.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ КОРРЕКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ УСКОРИТЕЛЯ ИФВЭ

Ю.М.Адо, А.С.Гуревич, А.А.Кардаш, К.П.Ломов,
Э.А.Мяэ, Е.Ф.Троянов

Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Необходимость реконструкции системы коррекции магнитного поля протонного синхротрона на энергию 76 ГэВ в основном определяется особенностями предстоящей работы ускорителя с новой системой инжекции (бустером). Использование быстроциклического бустера не только резко увеличит интенсивность ускоренного пучка, но существенно изменит условия работы основного ускорителя, поскольку вводится режим накопления инжектируемых частиц. Новая система коррекции позволит осуществлять динамическую коррекцию основных характеристик магнитного поля, определяющих искажения орбиты, поведение бетатронных частот, ширину бетатронных резонансов до 4-го порядка, условия прохождения пучком критической энергии. Требуемые корректирующие поля, как правило, формируются с помощью полюсных проводников. Размещение корректирующих обмоток вдоль азимута ускорителя, а также схемы их соединения и управления позволяют осуществлять практически независимую регулировку параметров.

RECONSTRUCTION OF MAGNETIC FIELD CORRECTION SYSTEM OF IHEP ACCELERATOR

Yu.M.Ado, A.S.Gurevich, A.A.Kardash, K.P.Lomov,
E.A.Myaе, E.F.Troyanov

Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR

The main reason to improve the magnetic field correction system of the IHEP 76 GeV proton synchrotron arises from the forthcoming operation of the accelerator with a new injection system (booster). A fast cycling booster increases greatly the intensity of accelerated beam as well as changes considerably the operational mode of the main accelerator, since particle storage at injection is introduced. The new correction system allows one to provide a dynamic correction of the magnetic field characteristics, that determine the orbit distortions, the behaviour of betatron oscillation frequencies, the width of betatron resonances up to the 4-th order, the condition for beam crossing the transition energies. The required magnetic fields

are formed as a rule with the help of pole face windings. The location of the correction elements along the accelerator length, as well as their connection and control systems allow one to carry out practically independent tuning of the parameters.

О КОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В ЦИКЛИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЯХ

А.Е.Большаков, Л.Л.Гольдин, В.И.Николаев

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, СССР

Одной из задач, приобретающих все большее значение при проектировании и наладке магнитных блоков циклических ускорителей, является коррекция нелинейных эффектов, вызывающих зависимость частоты бетатронных колебаний от их амплитуды и от возмущений замкнутой орбиты. Эта задача может быть точно поставлена и решена лишь в том случае, если корректируется поле в каждом азимутальном сечении в отдельности, а не в магнитном блоке как целом. В последнем случае задача не имеет точного решения и даже не может быть корректно поставлена.

В работе показано, что при коррекции следует стремиться к тому, чтобы для всех амплитуд бетатронных колебаний выполнить условие

$$\int \Delta B(x) \sqrt{\beta(x)} \cdot dx = \text{const},$$

где $\Delta B(x)$ — отклонение магнитного поля, взятое на азимуте X на огibaющей пучка; $\beta(x)$ — амплитудная функция. Интеграл распространяется на всю длину магнитного блока.

Оценена точность коррекции, достигаемой при этом условии. Приведены результаты численных расчетов, демонстрирующих преимущества предлагаемого метода перед обычными.

ON CORRECTION OF NONLINEAR EFFECTS IN CIRCULAR ACCELERATORS

A.E.Bolshakov, L.L.Goldin, V.I.Nikolaev

Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, USSR

One of the problems which become more and more important in designing and adjustment of magnetic blocks of circular accelerators is that of correcting nonlinear effects leading to dependence of the betatron oscillation frequency on their amplitude

and on closed orbit distortions. This problem may be exactly formulated and solved only in case when the field is corrected in each azimuthal section of the magnetic block separately but not "in the block as a whole". In the latter case the problem has no exact solution and cannot be even put correctly.

As it is shown in the paper, when correcting the field nonlinearity, one should get for all of the amplitudes of the betatron oscillations

$$\int \Delta B(x) \sqrt{\beta(x)} dx = \text{const} ,$$

where $\Delta B(x)$ is the field deviation at azimuth x measured on the envelope (for each amplitude considered) and $\beta(x)$ is the amplitude function. The integration should be made over the whole length of the magnetic block.

The accuracy of the correction thus obtained has been evaluated. The results of numerical calculations showing the advantages of the method as compared with usual ones have been presented.

EFFECT OF THE FIRST AXIAL FIELD SPECTROMETER
IN THE CERN INTERSECTING STORAGE RINGS
ON THE CIRCULATING BEAMS

Ph. Bryant, G. Kantardjian
CERN, Geneva, Switzerland

A superconducting solenoid spectrometer with an integrated axial field of 2.7 Tm and a peak field of 1.5 T has been installed in intersection 1 of the CERN ISR and has been operational for physics since December 1976. The axis of the solenoid is positioned symmetrically between the two undisturbed beam paths at the intersection. The closed orbit distortion is controlled by two nearby dipoles in each beam. The solenoid has a negligible effect on machine tune, excites some linear coupling and adds some excitation to non-linear resonances. The coupling effect of such a device was first investigated using a small solenoid with an integrated field of 0.5 Tm. It is explained why the use of end plates with horizontal beam slots reduces the overall coupling and avoids vertical dispersion. It is also possible from this description to calculate the linear coupling to be expected from any solenoid.

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРОМЕТРА С АКСИАЛЬНЫМ ПОЛЕМ
НА ЦИРКУЛИРУЮЩИЕ ПУЧКИ В НАКОПИТЕЛЬНЫХ КОЛЫЦАХ ЦЕРН

Ф.Бриант, Г.Кантарджян
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Сверхпроводящий соленоидный спектрометр с интегральным аксиальным полем 2,7 Тм и максимальным значением напряженности поля 1,5 Т был смонтирован в первой зоне пересечения пучков накопительных колец ЦЕРН и используется в работе физиков с декабря 1976 года. Ось соленоида расположена симметрично относительно двух невозмущенных траекторий пучков в пересечении. Возмущение замкнутой орбиты для каждого пучка создавалось двумя расположенными рядом диполями. Соленоид оказывает незначительное влияние на настройку ускорителя, возбуждает некоторую линейную связь и несколько уширяет нелинейные резонансы. Влияние такого прибора впервые исследовалось с помощью малого соленоида с интегральным полем 0.5 Тм. Дано объяснение того, почему оконечные пластины с горизонтальными отверстиями для пучка понижают связь и позволяют избежать вертикальной дисперсии. С помощью этого описания можно вычислить ожидаемую линейную связь для любого соленоида.

НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА
В ЭЛЕКТРОННОМ НАКОПИТЕЛЕ

Н.Н.Наугольный

Физико-технический институт АН УССР, Харьков

В гидродинамическом приближении исследуется эволюция продольных нелинейных колебаний плотности заряда в накопителе.

Показано, что при локальной связи между потенциалом $eU_p = \alpha p$ и азимутальной плотностью $\rho(\theta)$ -частиц в ступке взаимодействие мод приводит к взрывной неустойчивости при $\rho > \rho_c \approx \epsilon_0 / \alpha$ (ϵ_0 - температура пучка).

τ_0 - время нарастания неустойчивости порядка $l_0 \left(\frac{m_s}{\rho p_m} \right)^{1/2}$, где l_0 и ρ_m - соответственно начальная длина и средняя

плотность сгустка; m_s - масса синхротронных колебаний. Если возбуждены все моды пучка, он коллапсирует по закону

$$l/l_0 \sim (1 - \tau/\tau_0)^{2/3}$$

Пороговые условия развития неустойчивости дают зависимость фазовой протяженности сгустка от числа частиц N и амплитуды ВЧ-поля типа $l \sim \left(\frac{dN}{V}\right)^{1/3}$

Показано, что в случае интегральной связи, когда потенциал U_p пропорционален двойной первообразной от плотности $U_p \sim \int \int \rho d\theta$, взаимодействие продольных волн устойчиво и в зависимости от начальных условий приводит к появлению асимптотических ($\tau \rightarrow \infty$) решений типа ударных волн или стационарных самосфазированных сгустков - ленгмюровских солитонов.

NONLINEAR INTERACTION OF LONGITUDINAL BEAM DENSITY WAVES IN ELECTRON STORAGE RING

N.N.Naugolnii

Physical-Technical Institute, Kharkov, USSR

The evolution of nonlinear longitudinal charge density oscillations in the storage ring is investigated in hydrodynamical approximation.

It is shown that in the case when the local connection between the potential and azimuthal density $\rho(\theta)$ is $eU_p = \alpha\rho$, the mode interaction leads to explosive instability if $\rho > \rho_c \approx \epsilon_0/\alpha$ (ϵ_0 is the beam temperature).

The instability growth time is of the order of $l_0 \left(\frac{m_s}{\alpha\rho_m}\right)^{1/2}$, where l_0 and ρ_m are the initial length and average beam density, respectively; m_s is the synchrotron oscillation mass. The beam is collapsing according to the law $l/l_0 \sim (1 - \tau/\tau_0)^{2/3}$ if all beam modes are excited.

The threshold conditions of instability development give the dependence of the bunch phase length on particle quantity, N , and RF voltage amplitude, V , such as $l \sim \left(\frac{dN}{V}\right)^{1/3}$.

It is shown that in case of integral connection when the potential is proportional to $\int \int d\theta \rho(\theta)$, the longitudinal wave interaction is stable and, depending on the initial conditions, leads to asymptotical ($\tau \rightarrow \infty$) solutions of the stroke wave type or to stationary selfphased bunches.

Сессия XII.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ

Session XII.

DIAGNOSTICS AND CONTROL SYSTEMS

THE COMPUTER CONTROL SYSTEM OF THE SPS

(Invited Paper)

M.C.Crowley-Milling
CERN, Geneva, Switzerland

The control system for the SPS uses a large multicomputer network which is arranged to allow interactive development of programs using a simple command language. A high-speed packet-switching message transfer system connects the computers, and a special serial-highway multiplex system is used for the interface to the apparatus to be controlled. New devices for interface with the operator have been developed.

A description of the system is given, followed by an analysis of the experience gained in using the control system, firstly for the testing and commissioning and then for the initial operation of the accelerator.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ
ПРОТОННЫМ СИНХРОТРОНОМ ЦЕРН НА ЭНЕРГИЮ 400 ГЭВ
(Приглашенный доклад)

М. К. Кроули-Миллинг
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Система управления СПС использует разветвленную сеть ЭВМ и позволяет разрабатывать и выполнять программы в режиме прямого управления с использованием сравнительно простого языка команд. Связь между ЭВМ обеспечивается высокоскоростной системой пакетной передачи данных. Контролируемое оборудование подключается через специально разработанную последовательную мультиплексную систему связи. Разработан ряд новых устройств для связи с оператором.

Наряду с описанием системы управления анализируется опыт её эксплуатации, полученный при наладке аппаратуры и управлении ускорителем СПС во время запуска.

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ
В ИЯФ СО АН СССР ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ
(Приглашенный доклад)

М. М. Карлинер
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В ИЯФ СО АН СССР полностью управляются при помощи ЭВМ четыре крупных ускорительно-накопительных комплекса. Разработаны принципы построения и алгоритмы работы управляющих систем как на основе мини ЭВМ, так и на основе ЭВМ универсального типа. Управление комплексами ВЭПП-2М организовано на базе УВК М-6000, управление установками ВЭПП-3, НАП-М, ВЭПП-4 осуществляется специализированным управляющим центром, который оснащен II-э ЭВМ серии ОДРА-1300 (фирма МЭРА ЭЛЬВРО ПНР). Создана библиотека рабочих, наладочных и тестовых программ. Разработана широкая номенклатура измерительных и управляющих устройств. Для каждого класса применяемых ЭВМ выработан соответствующий подход к структуре и конфигурации системы управления. Система передачи данных, разработан-

ная в Институте, обеспечивает высокую надежность и невосприимчивость к шуму.

Многолетний опыт эксплуатации управляющих систем в ИЯФ СО АН СССР показал их высокую надежность и эффективность.

COMPUTER CONTROL OF ACCELERATOR-STORAGE RING FACILITIES
IN THE NOVOSIBIRSK INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS
(Invited Paper)

М. М. Карлинер
Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

In the Novosibirsk INP there are four big accelerator-storage ring facilities being completely computer controlled. Organizing concepts and operational algorithms for control systems based on both minicomputers and larger general purpose computers have been developed. VEPP-2M storage ring control is organized using minicomputers "M-6000". The control of VEPP-3, NAP-M and VEPP-4 facilities is performed by a specialized control center, equipped with II computers of ODRA-1300 series (MERA ELWRO, POLAND). The library, including operational, debugging and test programs have been created. A number of devices for measurements and control have been designed. An appropriate approach to the system configuration and structure has been developed for each type of computers used. The serial data transmission link developed in the Institute ensures high reliability and noise immunity.

Operation of the control systems during many years showed their high reliability and efficiency.

CYBERNETICS PROCESSES AT THE ISR
R. Keyser and P. Wolstenholme
CERN, Geneva, Switzerland

Most settings and adjustments of ISR parameters are performed by means of a control computer. Typical operations which

are described are injection optimization, orbit control and working line control during stacking, and the acceleration of stacked beams. In each of these examples the same basic techniques are employed. Data is taken from the ISR instrumentation, often in the form of several hundred readings, and analyzed. The necessary corrections are immediately computed, using knowledge of ISR characteristics which has been highly refined in recent years so as to achieve very precise results, and are applied so as to achieve the required effect. Trial and error procedures are thus avoided, and the task of the operator is to supervise the overall process rather than to deal with any individual machine elements.

КИБЕРНЕТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ В НАКОПИТЕЛЬНЫХ КОЛЦАХ ЦЕРН
Р. Кейзер, П. Вольстенхолм
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Регулировка большинства параметров и установка режимов на накопительных кольцах осуществляется при помощи управляющей ЭМ. Описаны такие типичные операции, как оптимизация инжекции, контроль за орбитой, текущее управление аппаратурой в процессе накопления и ускорения накопленных пучков. Каждая из этих операций выполняется по одной и той же основной схеме. С аппаратуры накопительных колец осуществляется сбор и анализ данных, причем объем информации достигает часто нескольких сот отсчетов. Производится немедленный расчет необходимых коррекций с использованием определенных за последние годы с высокой точностью характеристик накопительных колец и осуществление необходимых регулировок для достижения желаемого эффекта. Такая схема позволяет избежать ошибочных и проверочных операций, и задача оператора состоит в наблюдении за процессом в целом, а не в работе с отдельными элементами аппаратуры.

MICROPROCESSOR-ASSISTED QUALITY CONTROL
OF THE EXTERNAL CPS 24 GeV/c BEAMS
W. Heinze and D.J. Simon
CERN, Geneva, Switzerland

In addition to its role as an injector for the SPS and ISR, the CERN PS delivers protons to the PS physics experiments. For

this, the primary beam of 24 GeV/c slowly ejected protons is split into 3 branches; the protons are then shared between 3 final target stations (and 1 transmission target in one of the branches) according to experimental requirements. In order to minimize beam losses and retain beam quality a fine control of the beam position is required. As input to the computers one has a variety of beam position and intensity monitor signals. All monitor data are acquired, evaluated and displayed by a microprocessor within CAMAC. Moreover, to counteract variations (e.g. drift and change of PS operational conditions) of the ejected beam, and to simplify operation, an adaptive digital control loop was implemented. Control of the beam position in the splitting magnets, together with the control of the intensity distribution between the beam branches, is effected by adjusting automatically the current in the relevant beam transport elements. In addition, an analog feedback system at each target corrects fluctuations of the beam position during the spill.

УПРАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВЫВЕДЕННЫХ ПУЧКОВ
С ИМПУЛЬСОМ 24 ГЭВ/С ПРОТОННОГО СИНХРОТРОНА ЦЕРН
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРА
В. Хайнце, Д. Дж. Саймон
ЦЕРН, Женева, Швейцария

Протонный синхротрон ЦЕРН на энергии 28 ГэВ помимо использования в качестве инжектора в накопительные кольца и в СПС обеспечивает пучок для проведения физических экспериментов. С этой целью первичный медленно выведенный протонный пучок с импульсом 24 ГэВ/с расщепляется на три направления, и в соответствии с требованиями эксперимента протоны распределяются между тремя конечными мишенными станциями (и одной промежуточной мишенью в одном из направлений). Для минимизации потерь пучка и сохранения его качества нужно осуществлять точный контроль за положением пучка. В качестве вводимой в ЭМ информации используются сигналы мониторов положения и интенсивности пучка. Все данные с мониторов собираются, оцениваются и отображаются с помощью микропроцессора в аппаратуре CAMAC. Более того, чтобы компенсировать изменение параметров выведенного пучка (например, из-за из-

менения и ухода режима протонного синхротрона) и упростить управление, было введено цифровое кольцо регулирования. Управление положением пучка в расщепляющем магните и управление распределением интенсивностей расщепленных пучков осуществляется автоматическим регулированием токов в соответствующих элементах каналов транспортировки. Кроме того, аналоговые системы с обратной связью на каждой мишени корректируют флуктуации положения пучка во время сброса.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭМ ЕС-1010 ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ИНФОРМАЦИИ НА УСКОРИТЕЛЕ ИФВЭ

В.Л.Брук, А.П.Ломов, Н.Г.Мамучашвили, И.Г.Морозов, Э.А.Мяз,
Э.В.Осипов, В.Е.Писаревский, В.Г.Тишин, Е.Ф.Троянов
Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Разработаны устройства и матобеспечение, позволяющие использовать ЭМ ЕС-1010 в режиме реального времени для сбора информации и управления системами на ускорителе ИФВЭ.

Сбор и обработка информации могут производиться для 64 параметров в каждом цикле. Обработанные результаты (дисперсия, среднее значение, взаимная корреляция и т.д.) представляются в виде таблицы на дисплее или на АППУ.

Для управления системами коррекции магнитного поля ускорителя и программирования работы его устройств разработан генератор функций, рассчитанный на 128 независимых каналов. Каждая функция может аппроксимироваться 30-ю векторами с минимальной длительностью вектора 1,0 мс.

При разработках максимально использовались стандартные устройства связи с объектами и математическое обеспечение, поставляемое фирмой "Видестон" (Венгерская Народная Республика).

ON USING EC-1010 COMPUTER
FOR CONTROL AND DATA ACQUISITION PURPOSES AT IHEP ACCELERATOR
V.L.Bruck, A.P.Lomov, N.G.Mamuchashvili, I.G.Morosov, E.A.Myaz,
E.V.Osipov, V.E.Pisarevski, V.G.Tishin, E.F.Troyanov
Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR
Software and electronic units that allow one to use
EC-1010 computer in the real time mode to acquire the informa-

tion and to control the systems of the IHEP accelerator have been worked out.

Data acquisition and processing may be carried out for 64 parameters of the accelerator in each cycle. The processed results (dispersion, mean value, mutual correlation, etc.) are presented in the form of a table on the display or line printer.

To control the magnetic field correction system and to program other systems of the machine a function generator designed for 128 independent channels has been developed. Each function may be approximated by 30 vectors with minimal duration of each vector 1.0 μ s. Some units of the function generator, including the controller and the output terminals are used for the control purposes.

The real time devices and software supplied by "Videcton" firm (Hungarian People's Republic) were used when working out the system.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПРОБЛЕМЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ УСКОРИТЕЛЕМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Н.Д.Васильев, В.А.Засенко, В.Г.Ивкин,
И.В.Мозин, В.А.Шелехов
Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В.Ефремова, Ленинград, СССР

Изложена методика решения задачи экстремального управления ускорителем в реальном масштабе времени с помощью средств вычислительной техники. Рассмотрены основные этапы построения системы экстремального управления:

- исследование ускорителя как объекта автоматической оптимизации;
- выбор методов оптимизации и слежения за экстремумом на основании результатов исследования;
- сравнительное исследование методов на моделях, отражающих основные особенности объекта управления, с целью выбора наиболее эффективных методов;
- синтез алгоритма экстремального управления и методика оценок эффективности автоматической настройки на действующем ускорителе.

Приводятся результаты применения методики при построении системы оптимизации условий ввода протонного синхротрона ИТЭФ.

ON ONE APPROACH TO PROBLEM
ON CHARGED PARTICLE ACCELERATOR EXTREMUM CONTROL

N.D.Vasiliev, V.A.Zasenko, V.G.Ivkin, I.V.Mozin, V.A.Shelechov
D.V.Fremov Scientific Research Institute
of Electrophysical Apparatus, Leningrad, USSR

The paper presents a description of the methods for solving the problem of an accelerator real-time computerized control at extremum conditions.

Basic stages of extremum control system are considered:

- study of an accelerator as an object for automatic optimization;
- choice of methods for optimization and extremum tracking;
- comparative study of methods on models, reflecting the main features of the controlled object with the view to choose the most effective methods;
- extremum control algorithm synthesis and estimation methods of automatic adjustment efficiency at an existing accelerator.

The results on using the methods in the construction of optimization system for ITEPh proton synchrotron injection conditions are given.

PRECISION ENERGY MEASUREMENT TECHNIQUE

Z.D. Parkas, H.L. Martin, R.H. Miller
SLAC, USA

A technique for measuring the momentum defining slit to .01% was successfully tested at SLAC recently. The new technique will provide knowledge of the energy centroid of each beam pulse to high precision even though the momentum slits are set to a relatively wide opening which permits essentially 100% transmission. The technique depends upon the fact that the path length and hence the time of flight through the momentum analyzing system of the beam switchyard depends on energy. The derivative of flight time with respect to energy is 17 picoseconds per 1% in energy. Since the beam is bunched in the accelerator with a 2856 MHz structure, it induces fields in a suitable microwave cavity. The phase of the induced fields depends linearly on the arrival time of the bunches of electrons. One such cavity is mounted before the momentum analyzing magnets and one after. The

phase of the RF power out of the two cavities is compared on a phase bridge. This phase comparison can be done over a short term to a precision of about 0.1° which is equal to 0.1 picoseconds or .006% in energy. Using this system the rms energy shift from one accelerator pulse to the next was measured to be 0.01%.

МЕТОДИКА ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СЛАК

З.Д.Фаркас, Х.Л.Мартин, Р.Х.Миллер
СЛАК, США

Техника измерений импульсного разброса пучка с точностью 0,01% недавно была успешно опробована в СЛАК. Новая техника позволяет измерять с высокой точностью энергии центральной части каждого импульса пучка даже в случае использования весьма широких измерительных щелей, обеспечивающих полное прохождение пучка. В основу измерений положен факт зависимости длины пути, а, следовательно, и времени пролета пучка через систему, анализирующую импульсы в канале, от энергии. Производная от времени пролета по энергии составляет 17 пикосекунд на 1% энергии. Сгруппированный в ускорителе на частоте 2856 МГц пучок возбуждает колебания в соответствующем микроволновом резонаторе. Фаза наведенных полей зависит линейным образом от времени прибытия ступцов электронов. Один такой резонатор монтируется перед магнитными анализаторами, а другой - после них. С помощью фазового моста происходит сравнение фаз высокочастотных колебаний этих резонаторов. Точность сравнения фаз составляет $0,1^\circ$, что эквивалентно 0,1 пикосекунде или 0,006% по энергии. С помощью этой системы был измерен среднеквадратичный разброс по энергии для разных импульсов ускорителя с точностью 0,01%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО НЕПРЕРЫВНОМУ ИЗМЕРЕНИЮ
АБСОЛЮТНОГО ЗНАЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПУЧКОВ И ЕЁ СТАБИЛЬНОСТИ
В ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ И НАКОПИТЕЛЯХ

И.П.Карабеков, С.С.Овакяни, А.В.Гукасян
Ереванский физический институт, СССР

Представлен метод и результаты экспериментального измерения энергии электронных пучков в ускорителях и накопителях и её

временной стабильности с использованием спектральных характеристик синхротронного излучения.

Метод основан на непрерывном сравнении интенсивностей двух спектральных составляющих в пучке синхротронного излучения $N_{\gamma}(\lambda_1)$ и $N_{\gamma}(\lambda_2)$, соответствующих восходящей и нисходящей ветви спектральной кривой $y = x^4 L(x)$, где $x = \lambda_c / \lambda$. В качестве монохроматоров использованы идеальные кристаллы Si (III), а значения $N_{\gamma}(\lambda)$ измерены методом ионизационного калориметра. Чувствительность метода, согласно экспериментальным данным, $S \approx 1,4 \cdot 10^{-13}$ А/МеВ при токе частиц на орбите, равном 1 мА.

Результаты эксперимента хорошо согласуются с расчетными данными, полученными при использовании аппарата теории синхротронного излучения и теории динамического рассеяния рентгеновских лучей кристаллами.

Показано, что измерения абсолютного значения энергии могут иметь точность, с которой известны кристаллографические параметры монохроматоров и значения коэффициентов поглощения в воздухе и Be. Метод позволяет измерить стабильность энергии и переотстройку с одной энергии на другую в e^+e^- -накопителях при токах ~ 100 мА с абсолютной точностью ~ 10 кэВ.

RESULTS OF EXPERIMENT ON CONTINUOUS MEASUREMENT
OF BEAM ENERGY ABSOLUTE VALUE AND ITS STABILITY
IN ELECTRON ACCELERATORS AND STORAGE RINGS
I.P. Karabekov, S.S. Ovakimian, A.V. Gukasian
Yerevan Physics Institute, Armenia, USSR

The method and results of experimental measurement of the beam energy and its time stability, using the synchrotron radiation spectral characteristics, are proposed. The method is based on the continuous comparison of the intensities of two spectral components $N_{\gamma}(\lambda_1)$ and $N_{\gamma}(\lambda_2)$ of the beam synchrotron radiation corresponding to rising and falling branches of the spectral curve, $y = X^4 L(X)$ where $X = \lambda_c / \lambda$. The crystals of Si(III) were used as monochromators and $N_{\gamma}(\lambda)$ was measured by the ionization calorimeter. The resolution $S \approx 1,4 \cdot 10^{-13}$ А/МеВ

per 1 mA accelerated current was obtained. The results of the experiment are in good agreement with calculations which are based on the theory of synchrotron radiation and on the X ray dynamical scattering theory in crystals. It is shown that one can measure the absolute value of energy with the same accuracy as crystallographical parameters of monochromators and absorption coefficients of Be and air are known. In e^+e^- storage rings, operating with ~ 100 mA current ~ 10 keV absolute accuracy in energy measurement and energy adjustment changes may be achieved with the proposed method.

АЗИМУТАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИСТОЧНИКОВ
ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
КАК СЛЕДСТВИЕ ПОТЕРЬ ЧАСТИЦ ПРИ УСКОРЕНИИ
В.Н.Лебедев
Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Радиационные нагрузки на узлы и оборудование ускорителя, расположенные вне вакуумной камеры ускорителя, коррелируют не с потерями пучка частиц, а с азимутальным распределением плотности источников вторичного излучения $S(z)$, являющегося следствием потерь. В сообщении рассмотрены основные закономерности и характер азимутального распределения $S(z)$ на разных стадиях цикла ускорения и его зависимость от толщины псевдомшени. На основании экспериментальных данных дана нижняя граница толщины мишеней-перехватчиков и скреперов - обязательных элементов современных сверхточных кольцевых ускорителей, обеспечивающих необходимый минимум потерь. Для оперативной оценки вредного воздействия потерь на всех стадиях цикла ускорения дана зависимость энерговыделения вблизи вакуумной камеры от энергии протонов, взаимодействующих с камерой. Приведены простейшие соотношения, позволяющие характеризовать ускоритель как источник вторичного излучения в зависимости от потерь на разных стадиях цикла ускорения. Полученные данные предназначены для решения многочисленных задач практического плана.

AZIMUTHAL DENSITY DISTRIBUTION
OF SECONDARY RADIATION SOURCES DUE
TO PARTICLE LOSSES DURING ACCELERATION

V.N. Lebedev

Institute for High Energy Physics, Serpukhov, USSR

Radiation loadings on the accelerator units and equipment, installed outside the accelerator vacuum chamber, are correlated not with the particle beam losses, but with the azimuthal density distribution for secondary radiation sources $S(z)$, caused by these losses. The report presents the principle regularities and character of the azimuthal distribution $S(z)$ at different acceleration stages and its dependence on the pseudotarget thickness. From the experimental data we have described the lower limits for the thickness of the scrapers, the principle elements of the modern high current accelerators, that provide the minimum losses. To estimate operatively the influence of the losses at all the stages of the accelerating cycle we present the dependence of energy emission near the vacuum chamber on the energy of protons, interacting with the chamber. The simple relations, that allow to define the machine as a secondary radiation source depending on the losses at different stages of accelerating cycle, are given. The data have been obtained to solve numerous problems of practical application.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОННОГО ПУЧКА
ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ПРОТОНОВ В ОНДУЛЯТОРЕ

Д.Ф.Алферов, Е.Г.Бессонов

Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Для измерения параметров пучка на крупнейших протонных ускорителях предлагается использовать излучение протонов в ондуляторе, обладающее более высокой жесткостью по сравнению с синхротронным излучением. Показано, что ондуляторное излучение протонов с энергией выше 60 ГэВ попадает в видимую область спектра, что позволяет эффективно использовать широко применяемые

на электронных ускорителях оптические методы регистрации, обладающие высокой чувствительностью, разрешающей способностью и быстродействием. Для диагностики протонных пучков с током выше $3 \cdot 10^{-7}$ А достаточно возбудить в ондуляторе длиной 1 м и с периодом 1 см магнитное поле с амплитудой $H = 10^2$ Э.

MEASUREMENT OF PARAMETERS OF A PROTON BEAM
BY ELECTROMAGNETIC RADIATION OF THE PROTONS IN WIGGLER MAGNET

D.F.Alferov, E.G.Bessonov

P.N.Lebedev Physical Institute, Moscow, USSR

The proton electromagnetic radiation in a wiggler magnet with wavelength shorter than that of synchrotron radiation is suggested to be used for measurement of proton beam parameters in large proton synchrotrons. It is shown that protons with energy higher than 60 GeV can irradiate visible photons. That permits to use widely spread in electron accelerators optical methods of beam detection which have high sensibility and resolution. It is possible to detect proton beams with current higher than $3 \cdot 10^{-7}$ A if the magnetic field in the 1 m-wiggler with a period 1 cm has the value more than 10^2 .

Сессия XIII.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСКОРИТЕЛЕЙ

Session XIII.

PROSPECTS FOR ACCELERATOR UTILIZATION

FUTURE OF HIGH INTENSITY ACCELERATORS IN NUCLEAR ENERGY
(Invited Paper)

S.O. Schriber, J.S. Fraser and P.R. Tunncliffe
Chalk River, Ontario, Canada

A possible application for a high mean current, intermediate-energy proton linear accelerator is the "electrical breeding" of fuel for nuclear electrical power stations. The possible role of the spallation breeder in the context of a Canadian nuclear power economy and its relationship to nuclear fuel resources will be discussed. The production of fissile material using spallation process in a target containing actinide elements appears desirable and feasible from engineering and economic considerations. Current development work in Canada and some of the outstanding problems will be discussed.

БУДУЩЕЕ СИЛЬНОТОЧНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ
(Приглашенный доклад)

С.О. Шрибер, Дж.С. Фрезер, П.Р. Танниклифф
Чок-Ривер, Канада

Одним из возможных применений сильноточных линейных протонных ускорителей на средние энергии является использование их для

"электрического бриддинга" горючего для атомных электростанций. Рассматривается значение подобных бриддеров в атомной энергетике Канады и их место среди источников ядерного горючего. Получение делящихся материалов с использованием процессов деления в мишенях, содержащих радиоактивные элементы, представляется рентабельным и желаемым с инженерной и экономической точек зрения. Обсуждаются также текущее состояние работ в Канаде и некоторые фундаментальные проблемы.

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОНОВ В ЛАЗЕРЕ НА ОНДУЛЯТОРНОМ ИЗЛУЧЕНИИ

А.А. Коломенский, А.Н. Лебедев

Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР, Москва

Теоретически исследованы усиление и генерация когерентного излучения в оптическом диапазоне с помощью электронного пучка. Используется механизм вынужденного магнитотормозного (ондуляторного) излучения релятивистских электронов. Получены выражения для коэффициента усиления и коэффициента полезного действия. Выяснена важная роль реакции излучения в режиме нелинейного насыщения и в режиме многократного использования пучка. Приведены физические возможные варианты параметров электронного лазера для различных спектральных интервалов и обсуждаются требования к ускорительно-накопительной части установки.

ELECTRON DYNAMICS IN MAGNETIC BREMSSTRAHLUNG LASER

A.A. Kolomensky, A.N. Lebedev

P.N. Lebedev Physical Institute, Academy of Sciences of the USSR,
Moscow

Amplification and generation of coherent optical band radiation are calculated for the case of the induced magnetic bremsstrahlung (undulator radiation) of relativistic electrons. Analytic expressions are obtained for the gain and efficiency of the laser. An important role of the radiation reaction for the nonlinear saturation regime as well as for multiturn operation is discussed.

Several possible sets of parameters of the electron laser are listed for various spectral bands and the requirements for the involved accelerator and storage ring equipment are discussed.

Х МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО УСКОРИТЕЛЯМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

(Протвино, 11-17 июля 1977 г.)

АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ

Редакторы: А.А.Антипова, М.Л.Фоломешкина

Издательская группа И Ф В Э
Подписано в печать 17 июня 1977 г.
Заказ 599. Тираж 290. 6 уч.-изд. л.