

УДК 621.384

РАБОТЫ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ПУЧКОВ И УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЕРФИ

Э.М. ЛАЗИЕВ^{1,2}, В.Ц. НИКОГОСЯН¹

¹Ереванский физический институт им. А.И. Алиханяна, Армения

²Ереванский государственный университет, Центр синхротронного излучения CANDLE

(Поступила в редакцию 4 марта 2009 г.)

Приведен краткий обзор работ, выполненных в ЕрФИ в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники за последние 10–12 лет. В заключительной части излагаются основные направления планируемых исследований.

1. Введение

В конце 1980-х годов в Ереванском физическом институте им. А.И. Алиханяна была завершена разработка программы и начата модернизация Ереванского электронного синхротрона [1], согласно которой предполагалось усовершенствовать систему инжекции электронов в синхротрон на базе нового 120 МэВ-ного сильноточного линейного ускорителя, ВЧ-систему и др. В результате синхротрон мог приобрести новое качество, что сохранило бы его конкурентоспособность еще лет на двадцать. В рамках реализации этой программы была разработана и создана часть оборудования, которое является неплохой базой, на использование которой были нацелены расчетно-теоретические работы по актуальным проблемам в области физики пучков и ускорительной физики, а также адаптации ускорительных установок ЕрФИ под решение ряда прикладных задач. Не претендуя на полноту охвата, ниже приводится изложение некоторых, наиболее интересных с нашей точки зрения, результатов.

2. Исследования в области новых методов ускорения

В середине 70-х годов во многих ускорительных центрах начались интенсивные исследования новых методов ускорения, поскольку стало ясно, что традиционная ускорительная техника не удовлетворяет требованиям современной физики элементарных частиц из-за резкого возрастания масштабов и стоимости ускорителей с ростом энергии ускоряемых частиц. Ереванский физический институт принял самое активное участие в этих исследованиях (см., например, [2]).

2.1. Схема двухпучкового ускорения в пассивных ускоряющих структурах [3]

В схемах двухпучкового ускорения имеются два пучка: генераторный, который возбуждает ускоряющую волну в структуре, в поле которой ускоряется второй пучок. На рис.1 схематически показан предложенный нами ускоряющий модуль, представляющий собой бицилиндрический резонатор с двухсвязным поперечным сечением, с помощью которого может быть реализована схема двухпучкового ускорения. Здесь q_1 – генераторный пучок, возбуждающий ускоряющий модуль, q_2 – ускоряемый пучок. В процессе исследования был разработан метод расчета мембранных функций такого модуля [4] и было показано, что при соответствующем выборе r_1 , r_2 и d напряженность продольной компоненты электрического поля квази Е-моды волны вдоль оси z_2 в несколько раз может превышать напряженность поля вдоль оси z_1 . Был изготовлен прототип модуля и выполненные радиотехнические измерения подтвердили этот результат (см. рис.2).

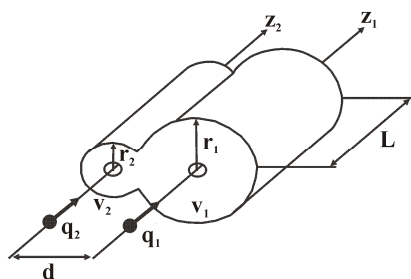


Рис.1. Схематическое представление бицилиндрического ускоряющего модуля.

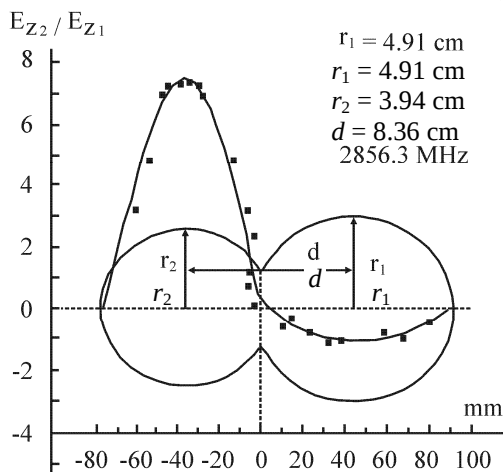


Рис.2. Расчетные (сплошная кривая) и измеренные (точки) значения напряженности поля в прототипе модуля. Параметры прототипа приведены на рисунке.

На основе результатов, изложенных выше, была предложена схема эксперимента на пучке линейного ускорителя ЛУЭ-20 [3]. К сожалению, эксперимент на пучке не был выполнен по независимым от авторов причинам. Здесь же отметим, что стимулом для развития работ по двухпучковому ускорению явились выполненные в ЕрФИ широко известные работы М.Л. Тер-Микаеляна, Г.М. Гарибяна, А.Ц. Аматауни и др., энергично поддержанные А.И. Алиханяном. С этой точки зрения представляет интерес работа [5], в которой рассматривается корреляция между переходным и черенковским излучениями. Проблема эта представляет не только академический интерес, но и имеет прикладное значение, поскольку эти два вида излучения являются основными механизмами возбуждения пассивных электродинамических структур движущимися зарядами.

2.2. Ускорение электронов “полосками” лазерного излучения [6,7]

Практически сразу же после создания и развития лазеров, как мощных источников электромагнитного излучения, родились идеи их использования при ускорении заряженных частиц. В ЕрФИ пионерами этого направления стали Ф. Арутюнян, В. Туманян, И. Гольдман, В. Арутюнян, Ю. Орлов и другие.

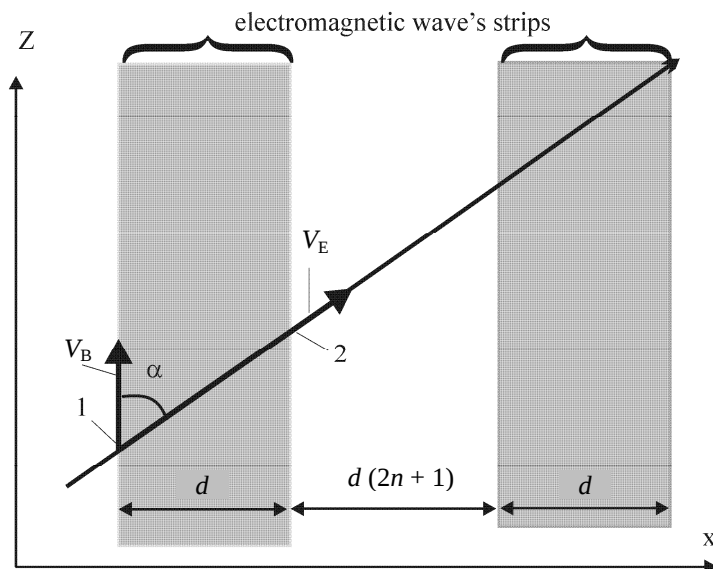


Рис.3. Схема ускорения частиц “полосками” электромагнитных волн.

В 1990 г. А. Аматауни и М. Петросян предложили схему ускорения “пространственно-модулированной” электромагнитной волной [6]. В дальнейшем, в развитие этой идеи была рассмотрена схема ускорения частиц «полосками» линейно-поляризованной электромагнитной волны [7], распространяющейся под малым углом α по отношению к направлению движения частицы (рис.3). При этом ширина полосы электромагнитной волны, угол между направлением движения частицы и направлением

электромагнитной волны, скорость частицы и длина волны электромагнитного поля выбираются таким образом, чтобы за время движения частицы в зоне электромагнитного поля электрическое поле не меняло своего направления. Это требование выполняется при условии, что $d = \lambda \sin \alpha / 2(1 - \cos \alpha + 1/2\gamma^2)$, где d – ширина полоски, λ – длина лазерной волны, γ – лоренц-фактор электронного пучка.

Была рассмотрена возможность компенсации поперечных составляющих электрического и магнитного полей волны внешним магнитным полем или второй волной. Рассматривалась также возможность многократного ускорения многими полосками, расстояние между которыми должно равняться $(2n+1)d$.

2.3. Ускорение электронов в плазме

Идеи о возможности использования продольных кильватерных волн, возбуждаемых движущимися в плазме сгустками электронов, для ускорения заряженных частиц были предложены еще в 50-х годах. Интерес к PWA (Plasma Wakefield Accelerator) возродился в середине 80-х годов в серии теоретических работ, выполненных в SLAC, ЕрФИ и UCLA. Расчетно-теоретические работы в ЕрФИ в основном были выполнены группой А. Аматауни, С. Элбакян, Э. Сехпосян (см., например, работу [8]), а экспериментальная проверка – группой М. Петросяна [9].

В схеме PWA первый, более сильноточный сгусток возбуждает в плазме продольные кильватерные волны, а второй сгусток, находящийся в соответствующей фазе плазменной волны, ускоряется. В теоретических работах предсказывалась возможность получения темпа ускорения несколько ГэВ/м.

Возбуждение кильватерных волн в плазме последовательностью сгустков пучка микротрона было экспериментально исследовано в [9-11]. Для наблюдения эффекта суммирования волн от нескольких сгустков необходимо было использовать идентичные сгустки, особенно по количеству заряда в сгустках, чтобы начальный энергетический разброс сгустка был меньше, чем ожидаемое изменение энергии электронов, а также, чтобы амплитуда возбуждаемой волны от одного сгустка была намного меньше максимального значения амплитуды поля волны в плазме. Это дает возможность наблюдать пропорциональное увеличение амплитуды кильватерной волны в зависимости от числа сгустков. Эти требования обеспечивались в эксперименте на пучке микротрона. Основное преимущество микротрона состоит в том, что при сравнительно высокой монохроматичности пучка $\sim (3 \times 10^{-3})$ и при относительно низкой энергии электронов (7.5 МэВ) можно провести более точные измерения влияния плазменных волн на энергетический спектр электронного пучка, т.к. относительный прирост энергии будет заметнее. Основные параметры электронного пучка и плазмы приведены ниже.

Электронный пучок: энергия электронов 7.5 МэВ, длина сгустков 5 мм, расстояние между сгустками ~ 11 см, длительность цуга сгустков 1.5 мкс, плотность электронов в сгустке $\sim 10^8$ см⁻³, энергетический разброс $\sim 3 \times 10^{-3}$, заряд в сгустке 10 пК. Плазма: длительность разряда 40 мкс, импульсный ток в разряде

~ 3 А, напряжение источника питания 20 кВ, давление газа в камере 10^{-1} – 10^{-2} торр, плотность 10^8 – 10^{11} см $^{-3}$, длина плазменной камеры 1 м, диаметр плазменной камеры 5 см.

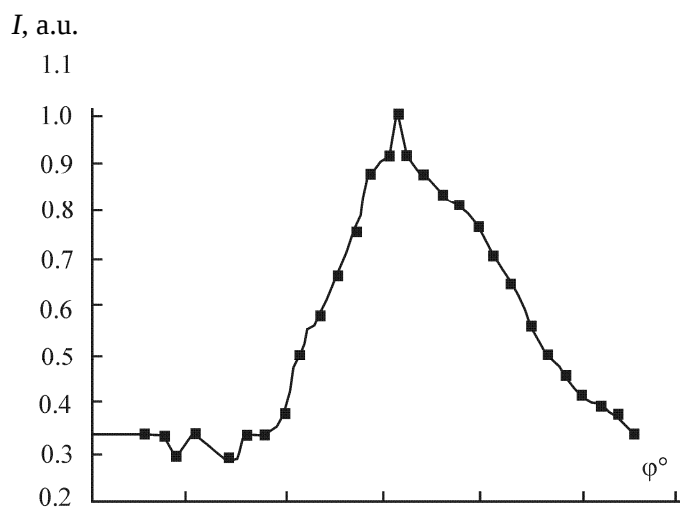
При приведенных значениях параметров пучка и плазмы напряженность поля кильватерной волны, возбужденной в плазме одним сгустком, будет равна ~ 1 В/см, и, следовательно, прирост энергии составит ~ 100 эВ. Разрешение магнитного спектрометра равно 10^{-3} или 7.5 кэВ при энергии электронов 7.5 МэВ. Таким образом, спектрометр будет способен регистрировать изменение спектра при сложении кильватерных волн, возбужденных ~ 100 сгустками. Если не учитывать затухание, то при суперпозиции волн, возбужденных всеми 4000 сгустками, темп ускорения мог бы составить $\sim 0,4$ МэВ/м. Результаты измерения спектра электронов после прохождения через плазму подтвердили эффект сложения волн от последовательности ~ 100 сгустков, что соответствует напряженности поля кильватерной волны ~ 1500 В/см.

2.4. Когерентное взаимодействие релятивистских электронных сгустков с плазмой СВЧ разряда

Интересные результаты были получены в эксперименте, выполненном Г. Оксюзяном и др. [12]. Последовательность электронных сгустков с энергией 20 МэВ или 50 МэВ с частотой следования 2797.3 МГц инжектировалась в плазменную камеру. Плазменная камера представляла собой стеклянную трубку диаметром 8 см длиной ~ 40 см. Плотность плазмы измерялась с помощью радиоинтерферометра на длине волны 3 см, а также по отсечке зондирующего сигнала. Спектр электронов на выходе из плазменной камеры анализировался с помощью магнитного спектрометра. Эксперимент проводился как на распадающейся плазме, так и на плазме СВЧ разряда.

На первом этапе эксперимента – при прохождении электронного пучка через распадающуюся плазму – было observed, что энергия электронов, прошедших через плазму, изменяется. Так, при энергии электронов на входе в камеру 50 МэВ и плотности плазмы $\sim 4 \cdot 10^{11}$ см $^{-3}$ прирост энергии составил 0,6 МэВ, а при энергии электронов, равной 20 МэВ и плотности плазмы $\sim 10^{11}$ см $^{-3}$ наблюдалось смещение максимума энергетического спектра на ~ 200 кэВ.

На втором этапе эксперимента плазма создавалась достаточно мощным (~ 100 кВт) СВЧ импульсом в системе открытого резонатора, образованного открытым концом волновода и отражателем. Разряд в плазменной камере возбуждался СВЧ колебаниями, с помощью которых в ускорителе формировались и ускорялись электронные сгустки. Авторы утверждают, что взаимодействие электронных сгустков с периодической структурой СВЧ плазмы является когерентным. В подтверждение в статье приводятся результаты измерений зависимости тока электронного пучка с энергией 20 МэВ на выходе плазменной камеры от фазы возбуждения плазмы (рис.4).



0 20 40 60 80 100 120 φ°

Рис.4. Зависимость тока пучка ускоренных электронов (20 МэВ), прошедших через плазму, от фазы СВЧ волны. Плазма возбуждается СВЧ волной ($P_{puls} \sim 100$ кВт), а фаза изменяется относительно последовательности электронных сгустков, которые были сформированы и ускорены до 20 МэВ в ускоряющих секциях линейного ускорителя.

3. Формирование и диагностика электронных пучков

3.1. Формирование и диагностика субпикосекундных электронных сгустков

В последнее время во многих мировых ускорительных центрах внимание исследователей сфокусировано на проблеме формирования и диагностики ультракоротких (субпикосекундных) электронных сгустков. Этим задачам отвечают исследования, выполненные в ЕрФИ Э. Газазяном и др. [13].

Было рассмотрено взаимодействие движущегося электронного сгустка с полем монохроматической электромагнитной волны линейной поляризации. В этой постановке задачи был исследован эффект модуляции плотности заряда в сгустке, имеющем длину, существенно превышающую длину электромагнитной волны. Развертка ультракороткого сгустка позволяет судить о распределении заряда в начальном (неразвернутом) сгустке путем его восстановления по разработанному авторами алгоритму обратного преобразования развернутого изображения.

Методика получения строгого решения задачи о поведении электронов в линейном сгустке, движущемся в поле линейно-поляризованной плоской монохроматической электромагнитной волны, позволила установить связь между скоростями электронов до и после взаимодействия с электромагнитной волной и, соответственно, связь между распределением заряда в сгустке до и после такого взаимодействия. Эффекты развертки сверхкоротких (мкм) сгустков рассмотрены в [14,15].

3.2. Новый метод прецизионного измерения энергии электронного пучка

Данный метод был предложен и развит Р. Меликяном [16-18]. Метод позволяет измерять абсолютную энергию электронного пучка с относительной точностью $\pm 10^{-4}$ в широком интервале энергий от 0.5 до нескольких сот ГэВ посредством резонансного поглощения лазерных фотонов электронами в однородном статическом магнитном поле. Основные преимущества метода: существуют промышленные образцы необходимых полупроводниковых быстродействующих детекторов излучения с высокой спектральной чувствительностью; метод позволяет измерять энергию электронов как неполяризованного, так и поляризованного пучка без заметной потери степени поляризации; существуют промышленные образцы необходимых лазеров; процесс измерения может проводиться непрерывно, не влияя на параметры электронного пучка.

4. Работы по ускорительной технике

Параллельно с расчетно-теоретическими работами в ЕрФИ был выполнен ряд работ по разработке и созданию современных устройств, востребованных в ускорительной технике. Из большого перечня отметим наиболее важные разработки

1. Фотоэлектронная пушка, разработанная в рамках эксперимента по возбуждению кильватерных волн в плазме [10]. Такая пушка позволяет получать одиночные или сдвоенные электронные сгустки со следующими параметрами: энергия электронов до 2 МэВ; длина сгустков 1–3 см; регулируемое расстояние между сгустками $5 \div 20$ см; ток в первом сгустке до 100 А и ток во втором сгустке до 10 А. Подобная конфигурация электронных сгустков необходима при исследовании новых методов ускорения, в частности, при ускорении электронов в плазме.

2. Источники питания, разработанные и созданные в ЕрФИ в рамках «Соглашения о сотрудничестве между DESY и ЕрФИ» (Г. Мартиросян и др.), успешно эксплуатируются в системах питания ускорительных комплексов DESY [19]. По просьбе DESY в ЕрФИ были также разработаны и изготовлены источники питания нового поколения с цифровым дистанционным управлением, предназначенные для комплексов TTF/VUV-FEL, X-FEL.

3. Оптимизация конструкции виглера с постоянными магнитами для ускорительно-накопительных комплексов и коллайдеров [20-22] (А. Бабаян и др.). При заданной величине апертуры виглера 32 мм и значении магнитного поля

$B_z = 1.63$ Т оптимизирована конструкция виглер магнита для International Linear Collider (ILC), позволившая минимизировать нелинейность поля в рабочей области прохождения пучка. Предложенная модель виглер магнита позволила уменьшить неоднородность магнитного поля $\Delta B/B_0$ более чем на порядок при относительно небольших габаритных размерах. Работы по виглер магниту выполнены в коллаборации и при финансовой поддержке DESY, а также в коллаборации с INFN-LNF (Frascati). По результатам выполненных работ ЕрФИ

включен в список институтов, участвующих в проектировании демпфирующего кольца для ИС.

4. Выполнены научно-исследовательские разработки, связанные с созданием проекта многоканального источника излучения e и γ -пучками на базе линейного ускорителя ЛУЭ-75, являющегося инжектором Ереванского синхротрона [22]. Электронный пучок будет транспортироваться из кольцевого зала (отметка 0,0 м) на первый этаж помещения 1Р (отметка +1,5м), который будет переоборудован в экспериментальный зал с многоканальными e и γ -пучками. Площадь экспериментального зала 20 м $\times$ 40 м достаточна для создания 6 независимых отдельных каналов транспортировки электронного пучка. Каждый канал будет оснащен необходимыми элементами магнитной оптики (поворотные магниты, квадрупольные линзы и др.) для формирования требуемых параметров пучков.

5. Другие работы

Ниже просто перечислен ряд работ, также выполненных сотрудниками ЕрФИ в области ускорительной физики и техники. В рамках гранта МНТЦ совместно с МРТИ (Москва) и Онкоцентром РА был разработан концептуальный проект Протонно-Терапевтического Комплекса (ПТК) на базе электронного синхротрона. В Проекте было показано, что в Ереванском синхротроне, наряду с сохранением электронной моды, можно реализовать ускорение протонов с целью их использования для лечения онкобольных. Ориентировочная стоимость проекта оценена около 20 млн. долларов. Было подготовлено Предложение о целесообразности сооружения регионального центра SESAME на площадке ЕрФИ. Предложение было представлено на заседание специальной комиссии ЮНЕСКО в декабре 1999 г. Группой С. Арутюняна был разработан и создан вибрационный датчик пучка, который нашел широкое применение в ряде ускорительных центров. Разработчикам была присуждена престижная премия Faraday Cup за 2008 г.

6. Перспективы

Теперь мы переходим к самому трудному разделу, где надо сказать о возможности сохранения и развития ускорительной физики в ЕрФИ. Мы убеждены, что это направление имеет будущее. Наша уверенность базируется на том, что, во-первых, пока еще сохранились квалифицированные кадры, способные сказать свое слово в этой области физики, во-вторых, имеется оборудование, которое может быть адаптировано под решение современных актуальных проблем, и, наконец, в-третьих, это позволит активизировать сотрудничество и коллаборацию с зарубежными ускорительными центрами. Здесь мы видим следующие конкретные пути:

1. Адаптировать линейный ускоритель электронов ЛУЭ-20 под драйвер терагерцового лазера на свободных электронах [23] и под производство изотопов медицинского назначения.

2. На базе резервной триодной электронной пушки для ЛУЭ-20 и генераторно-ускоряющего модуля на частоту 466 МГц необходимо разработать и создать двухрезонаторный ВЧ ускоритель для технологических целей. По предварительным оценкам с помощью такого ускорителя могут быть получены следующие параметры электронного пучка: энергия электронов 0.5–1.5 МэВ, средний ток пучка 10–25 мА.

3. Исследовать излучение Смита–Парселла, на пучке микротрона с целью создания генераторов на базе ИСП.

4. Рассмотреть возможность создания ЛСЭ с использованием генераторов и резонаторов системы ВЧ питания синхротрона на частоте 132 МГц.

5. На базе результатов, полученных в [12], и существующего работоспособного оборудования линейного ускорителя электронов ЛУЭ-75 с мощными (20 МВт, ~3000 МГц) клистронными генераторами исследовать возможность создания ускоряющего плазменного модуля с высоким градиентом ускорения.

Представляя свое видение проблем развития ускорительной физики в ЕрФИ в год 100-летнего юбилея Артема Исааковича Алиханяна, авторы преследовали цель выразить свою убежденность в том, что несмотря на трудности для института времени, ускорительная физика, зарождение которой было стимулировано Артемом Исааковичем, должна быть и развиваться.

В заключение выражаем искреннюю благодарность Э. Газазяну, М. Петросяну и Г. Оксюзяну за полезные и принципиальные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **A.Amatuni, E.Laziev, V.Nikogossian, et al.** The Prospects of Improvement and Development of Accelerator Installations at Yerevan Physics Institute, Proc. of EPAC-88, Rome, June 7-11, 1988, vol.1, pp.305-307 (1988).
2. **А.Аматуни, Э.Лазиев, Г.Нагорский, М.Петросян, Э.Сехпосян, С.Элбакян.** Развитие новых методов ускорения в ЕрФИ, Научные сообщения ЕрФИ, 1989; ЭЧАЯ, **20**, в.5, сс.1-41 (1990); ЦНИИ Атоминформ (1990).
3. **E.Begloyan, E.Gazazyan, V.Ivanyan, E.Laziev, V.Nikogossian, G.Oksuzian, V.Tsa-kanov,** Yerevan Physics Institute Two-Beam Accelerator Experiment and Cherenkov Laser's Prototype Study, Proc. of the FEL 1999, II-45-II-46, North-Holland, 2000.
4. **М.Иванян.** Радиотехника и электроника, **44**, 401 (1999).
5. **E.D.Gazazyan, S.S.Elbakian, K.A.Ispirian, A.D.Ter-Poghosyan,** Transition Radiation Formation Zone in a Waveguide. EPAC-2002, Paris, 3-7 June 2002, pp.978-980.
6. **А.Ц.Аматуни, М.Л.Петросян.** Вопросы атомной науки и техники, **6(16)**, 112 (1990).
7. **R.Melikian, M.Petrosyan, V.Pogosyan.** Acceleration of Charged Particles by Spatially Modulated Laser Wave, Proc. of the EPAC-04, Lucerne, Switzerland, 2004, p.527.
8. **А.Ц.Аматуни, Э.В.Сехпосян, А.Г.Хачатрян, С.С.Элбакян.** Изв. НАН Армении, Физика, **28**, 8 (1993).
9. **М.Л.Петросян и др.** Изв. НАН Армении, Физика, **42**, 309 (2007).
10. **M. Petrosyan et al.** Experiments on Wake Field Acceleration in Plasma and the Program of the Further Works in YerPhI, Proc. of the 2005 Particle Accelerator Conference, May 16-20, Knoxville, Tennessee, USA, 2005, p.752.

11. **P.Chen, J.M.Dawson**, The Plasma Wake-Field Accelerator. SLAC-PUB-3601, March 1985.
12. **Г.Оксузьян, М.Иванян, А.Варданян**. Физика плазмы, **27**, 536 (2001).
13. **E.D.Gazazyan, D.K.Kalantaryan, M.A.Khojoyan**. On the Possibility of Electron Bunch Charge Density Modulation in Laser Beam. Proc. of the 43rd Japan Workshop on Accelerator Sciences. KEK, Tsukuba, Japan. October 29-30, 2007, pp.93-104.
14. **E.D.Gazazyan, K.A.Ispirian, M.K.Ispiryan, D.K.Kalantaryan, D.A.Zakaryan**. Transversal Deflection of Electrons Moving in Parallel with Linearly Polarized Laser Beam and Its Application. PAC 05, Knoxville, Tennessee, USA. May 16-20, 2005, pp.4054-4056.
15. **Д.К.Калантарян, М.А.Ходжоян**. Изв. НАН Армении, Физика, **41**, 170 (2006).
16. **D.P.Barber, R.A.Melikian**. Proc. 7th EPAC, Vienna. 2000, pp.996-998,.
17. **R.A.Melikian**. Meeting on Beam Energy Measurement. Zeuthen, June 06-08, 2007, http://www-zeuthen.desy.de/e_spec/june2007/robert_melikian.pdf.
18. **R.A.Melikian**. Workshop on Polarization and Beam Energy Measurement at the ILC, 9-11 April 2008, ILC-NOTE-2008-047, DESY-Report-08-099, SLAC-PUB-13296, July 15, 2008.
19. **J.-P.Jensen**, МКК. Fünf Netgerdte aus Eriwan vom YerPhI bei DESY eingetroffen. DESY Intern. Report, Juni 2000.
20. **A.Babayan, D.Melkumyan, V.Nikoghosyan**. Wiggler Magnet Optimization for Linear Collider Damping Ring, EUROTEV-Report-2006-011.
21. **А.З.Бабаян, Д.Ю.Мелкумян, В.Ц.Никогосян**. Изв. НАН Армении, Физика, **41**, 450 (2006).
22. **A.Babayan, M.Preger**. Large Aperture Permanent Magnet Wiggler for the ILC Damping Ring, EUROTEV-Report 2007-004.
23. **Э.О.Алексанян, Э.М.Лазиев, М.Л.Мовсисян**. Изв. НАН Армении, Физика, **43**, 375 (2008).

ԵՐՖԻ-ՈՒՄ ՓՆՁԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԵՎ ԱՐԱԳԱՅՈՒՑՉՉԱՅԻՆ ՏԵԽՆԻԿԱՅԻ
ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ ՎԵՐՁԻՆ ՏԱՐԻՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԸ
ԵՎ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Է.Մ. ԼԱԶԻԵՎ, Վ.Յ. ՆԻԿՈԳՈՍՅԱՆ

Ներկայացված է վերջին 10-12 տարիների ընթացքում ԵՐՖԻ-ում լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկայի և արագացուցչային տեխնիկայի բնագավառում կատարված աշխատանքների համառոտ ակնարկը:

RECENT WORKS AND FURTHER LINE OF INVESTIGATIONS IN THE FIELD OF BEAM PHYSICS AND ACCELERATOR TECHNOLOGY AT YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

E.M. LAZIEV, V.Ts. NIKOGOSYAN

A brief review of the recent works and further line of investigations in the field of beam physics and accelerator technology at Yerevan Physics Institute is presented.