

Ф И З И К А П Л А З М Ы

Журнал основан в 1975 г.

Выходит 6 раз в год

Том 4 • Вып. 3 • 1978



Май — июнь

Москва

СОДЕРЖАНИЕ

Магнитные ловушки и электронное охлаждение

(К шестидесятилетию со дня рождения Г. И. Будкера)

Волосов В. И., Димов Г. И., Кругляков Э. П., Рютов Д. Д., Скринский А. Н., Чириков Б. В. Герш Ицкович Будкер (1.5.1918—4.7.1977)	485
Бочаров В. Н., Константинов С. Г., Кудрявцев А. М., Мыскин О. К., Панасюк В. М., Сорокин А. Ф., Цельник Ф. А. О равновесном состоянии вращающейся плазмы в зеркальной ловушке	488
Дербенев Я. С., Скринский А. Н. Эффекты замагничности в электронном охлаждении	492
Рютов Д. Д., Ступаков Г. В. Неоклассическая теория процессов переноса в амбиполярных ловушках	501
Чириков Б. В. Проблема устойчивости движения заряженной частицы в магнитной ловушке	521
Логан Б. Г., Мирин А. А., Ренсинк М. Е., Фаулер Т. К. Расчет коэффициента усиления мощности в термоядерном реакторе с двойными пробками	542

Транспортные явления в плазме

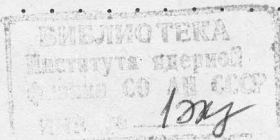
Сагдеев Р. З., Шапиро В. Д., Шевченко В. И. Конвективные ячейки и аномальная диффузия плазмы	551
Пастухов В. П. Классические процессы переноса в магнитоэлектростатической ловушке	560
Жилинский А. П., Рожанский В. А., Цендин Л. Д. Влияние граничных условий на диффузию слабоионизованной плазмы в магнитном поле	570
Ицкович О. Ю., Кондратенко П. С. Кинетические коэффициенты водородной плазмы	579

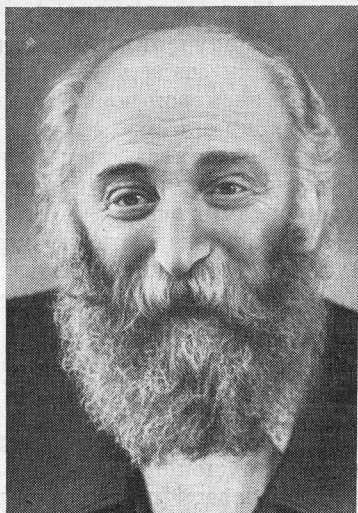
Нелинейные явления в плазме

Копасов А. П. Эхо в магнитоактивном плазменном слое	586
Романов Ю. А. Плазменное эхо, создаваемое протяженными источниками	592
Кирпичников А. П., Юсунов И. У. Нелинейная теория магнитного затухания Ландау	599

Взаимодействие электронных и ионных пучков с плазмой

Воронин В. С., Крастелев Е. Г., Лебедев А. Н., Яблоков Б. Н. О предельном токе релятивистского электронного пучка в вакууме	604
Балмашов А. А., Головановский К. С., Пунитхавелу А. М. Ускорение ионов плазменными волнами, возбуждаемыми плавно ускоряемым электронным пучком	611





ГЕРШ ИЦКОВИЧ БУДКЕР

(1.V.1918 г.— 4.VII.1977 г.)

1 мая 1978 г. исполнилось 60 лет со дня рождения выдающегося советского физика академика Герша Ицковича (Андрея Михайловича) Будкера, одного из пионеров в области управляемого термоядерного синтеза и ускорителей на встречных пучках, организатора и бессменного директора Новосибирского института ядерной физики, лауреата Ленинской и Государственной премий.

Андрей Михайлович был ярким представителем школы И. В. Курчатова, под руководством которого начал в 1946 г. свою научную работу. Уже через несколько лет Андрей Михайлович выдвигает собственные оригинальные идеи в области управляемого термоядерного синтеза и ускорения заряженных частиц.

В своих теоретических исследованиях он объединяет эти, казавшиеся в то время такими далекими друг от друга, области явлений, заложив по существу основы нового раздела физики — физики релятивистской плазмы. В частности, была создана теория релятивистского кинетического уравнения и найдены его решения в так называемом антидиффузионном приближении (при редких столкновениях); обнаружена замечательная устойчивость релятивистских пучков по сравнению с нерелятивистскими; подробно исследован важный тип продольной неустойчивости при взаимодействии пучка с плазмой, названный впоследствии неустойчивостью Будкера — Бунемана.

В тот же период Андрей Михайлович предложил новый подход к решению термоядерной проблемы, основанный на использовании плазменной ловушки с «магнитными пробками». Это положило начало всем так называемым открытым термоядерным системам.

Занимаясь одновременно теорией процессов переноса в замкнутых магнитных системах, Андрей Михайлович предсказал значительное увеличение скорости диффузии в таких системах по сравнению с однородным магнитным полем (неоклассическая диффузия по современной терминологии).

В 1953 г. Андрей Михайлович становится руководителем группы экспериментаторов и инженеров, созданной в Институте атомной энергии для осуществления его идей. Эта группа быстро разрастается в одну из самых больших лабораторий института. Основным направлением исследований лаборатории А. М. Будкера была физика и техника интенсивных электронных пучков. Благодаря глубокому пониманию физики и необычайной

изобретательности Андрея Михайловича, успехи в изучении этой области явлений и накопленный опыт получения интенсивных электронных пучков и управления ими позволили создать установки со встречными электрон-электронными, а затем и электрон-позитронными пучками. Это положило начало новому направлению в экспериментальной физике элементарных частиц. Направление оказалось очень плодотворным, и сегодня значительная часть всей фундаментальной информации об элементарных частицах получается именно в таких экспериментах.

Работы по встречным пучкам были начаты еще в Институте атомной энергии, однако получили полное развитие только после преобразования в 1958 г. лаборатории А. М. Будкера в самостоятельный Новосибирский институт ядерной физики, единственный в нашей стране центр таких исследований.

Размышляя над дальнейшим развитием этого направления, Андрей Михайлович предлагает оригинальный метод демпфирования некогерентных колебаний в пучках тяжелых частиц — так называемое электронное охлаждение. Метод электронного охлаждения позволяет сжимать в поперечном направлении и монохроматизировать пучки тяжелых частиц и, следовательно, производить многократное накопление таких частиц на магнитной дорожке, что открывает возможность создания установок со встречными протон-антипротонными пучками.

Выдвинув идею удержания горячей плазмы в ловушке с магнитными пробками, Андрей Михайлович постоянно возвращался к ней, рассматривая различные аспекты «открытых» термоядерных систем. После начального периода разочарований, вызванных обилием плазменных неустойчивостей, Андрей Михайлович одним из первых сконцентрировал усилия в этой области на более глубоком и серьезном изучении физики плазмы. Он предложил, в частности, исследовать поведение термической плазмы, т. е. плазмы, находящейся с самого начала в термодинамическом равновесии, чтобы избежать турбулизации, характерной для нагрева плазмы мощными электрическими разрядами.

Спустя примерно 10 лет, после интенсивных исследований физики плазмы, проводившихся во многих лабораториях мира, Андрей Михайлович пришел к заключению, что наступила новая фаза решения термоядерной проблемы. В своем выступлении на III Международной конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, проходившей в Новосибирске, он призвал физиков приступить непосредственно к разработке термоядерного реактора. Этот призыв оказал большое влияние на развитие термоядерных исследований и, в частности, положил начало серьезному изучению инженерных проблем будущего термоядерного реактора.

В развитие идей Андрея Михайловича в ИЯФ исследуются несколько типов «открытых» термоядерных систем. Среди них: установка с многопробочным удержанием плотной плазмы, нагреваемой пучком релятивистских электронов; установка с вращающейся в радиальном электрическом поле плазмой; ловушка с амбиполярными пробками.

Под руководством Андрея Михайловича в ИЯФ были созданы мощные генераторы импульсных релятивистских пучков, впервые использованных для нагрева плазмы¹. Существенную роль при этом сыграло применение сверхчистой воды в качестве диэлектрика в накопителях энергии для генераторов таких пучков. Эти работы оказали большое влияние на развитие техники сверхмощных источников энергии.

Андрея Михайловича никогда не могли удовлетворить чисто научные исследования, он всегда упорно искал пути решения важнейших приклад-

¹ Обзоры работ Института ядерной физики по генераторам электронных пучков и инжекторам нейтральных атомов публикуются в информационном разделе настоящего выпуска.

ных задач. Стремясь как можно скорее использовать достижения современной физики и богатый опыт, накопленный Институтом, Андрей Михайлович организует разработку и изготовление в ИЯФ серии специальных электронных ускорителей со средней мощностью от нескольких киловатт до мегаватта и энергией электронов от нескольких сот киловольт до 2 Мэв для радиационной технологии. Это открывает принципиально новые возможности в самых различных областях народного хозяйства.

Так возникла и развивается своеобразная научная школа Будкера и ее центр — Институт ядерной физики. Успехи и достижения Института, широко известные как в нашей стране, так и далеко за ее пределами, явились результатом не только основополагающих идей Андрея Михайловича, но и его повседневной неутомимой работы, неустанного поиска, оригинальных решений множества частных, на первый взгляд, мелких задач, без которых не обходится ни одно крупное дело.

Жизнь и творчество Андрея Михайловича Будкера — одна из ярких страниц в истории советской физики.

*В. И. Волосов, Г. И. Димов, Э. П. Кругляков,
Д. Д. Рюгов, А. Н. Скринский, Б. В. Чириков*
