



Б. Чириков

## Задача Будкера

В первой половине мая в конференц-зале ИЯФ состоялся семинар, посвященный 75-летию со дня рождения Андрея Михайловича Будкера.

С докладом выступили: академики А.Н. Скринский, Д.Д. Рютов, Б.В. Чириков, кандидат физико-математических наук Н.А. Винокуров.

Сегодня "Энергия-Импульс" предлагает вниманию своих читателей выступление Бориса Валериановича Чирикова (в изложении). С содержанием других докладов можно будет познакомиться в следующих номерах.

Фото В.Петрова

В течение многих лет наша небольшая группа (В.В. Вечеславов, Ф.М. Израйлев, Д.Л. Шепелянский и я) занимается исследованием так называемого динамического хаоса. Это удивительное явление позволяет понять природу и механизм статистических законов (таких, например, как знаменитый закон возрастания энтропии, т.е. беспорядка или хаоса), играющих столь значительную роль в природе.

А началось все с "простой" задачи Будкера, как мы говорим теперь, а, фактически, с очень интересных (как всегда с Андреем Михайловичем) обсуждений или, лучше сказать, горячих споров о судьбе заряженных частиц в магнитной ловушке...

В том далеком 1954 году молодой Андрей Будкер выдвинул свой подход к решению проблемы управляемых термоядерных реакций (УТР), решению, казавшемуся тогда таким близким. Вместо того, чтобы удерживать заряженные частицы плазмы вместе с магнитными линиями (как предложили А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм), Андрей Михайлович предполагал преградить путь частицам вдоль магнитного поля с помощью, как он шутил, железных пробок. Дело, конечно, не в самих пробках, а в областях повышенного магнитного поля, от которых и отражаются вращающиеся частицы. Простейший вопрос, на который нужно было дать немедленный ответ, чтобы можно было серьезно рассматривать это предложение, состоял в следующем: способна ли такая "ловушка с магнитными пробками" удерживать достаточно долго (миллионы колебаний) хотя бы одну заряженную частицу? В этом и состояла задача Будкера. И хотя на первый взгляд она казалась очень простой, Андрей Михайлович сразу понял или, лучше сказать, интуитивно почувствовал, что теоретическое решение здесь едва ли возможно.

Интуиция Будкера оказалась весьма глубокой: как выяснилось впоследствии, его задача была не просто очень сложной, но и принципиально неразрешимой полностью, как и знаменитая задача "трех тел" в небесной механике. В обоих случаях движение системы может стать, при определенных условиях, хаотическим, т.е. весьма запутанным и непредсказуемым, несмотря на обманчивую простоту уравнений дви-

жения и отсутствие в системе каких-либо случайных параметров или шума.

Не зная всего этого, Будкер предложил другое решение задачи — изящный эксперимент с трением в магнитном поле, который и был быстро осуществлен С.Н. Родионовым. Эксперимент показал, что электроны распада трития действительно удерживаются в ловушке достаточно долго, а, значит, предложение Будкера не закрывается, по крайней мере столь тривиально. Работа пошла.

Однако в эксперименте выяснилось также, что время жизни электрона в ловушке является все же конечным, хотя и очень большим. Каким-то образом электроны медленно "выползают" из ловушки. В чем дело? Каков механизм такой медленной неустойчивости движения? Андрей Михайлович не предполагал проведение дальнейших исследований этого тонкого явления, справедливо считая, что проблема УТР совсем не в этом. Однако зерна чисто научного интереса были брошены и

дали всходы. Впоследствии были проведены и "настоящие" (лабораторные, как сейчас говорят) эксперименты с реальными электронами, магнитными полями, выпрямителями, усилителями и прочей экспериментальной "кухней". Но вскоре стало ясно, что такие простые системы, как одна частица в магнитном поле (в отличие, скажем, от плазмы в целом), гораздо проще и эффективнее исследовать с помощью так называемых численных экспериментов, т.е. путем численного интегрирования уравнений движения на компьютере. Основным преимуществом численного эксперимента является полная информация о состоянии и движении системы, недостижимая в лабораторных экспериментах. Вот тут-то мы и увидели этот удивительный динамический хаос. Частица двигалась так, словно на нее действовали какие-то случайные силы, хотя никаких других сил, кроме простой силы Лоренца, в магнитном поле на самом деле не было. Со времен Больцмана с его гипотезой "молекулярного

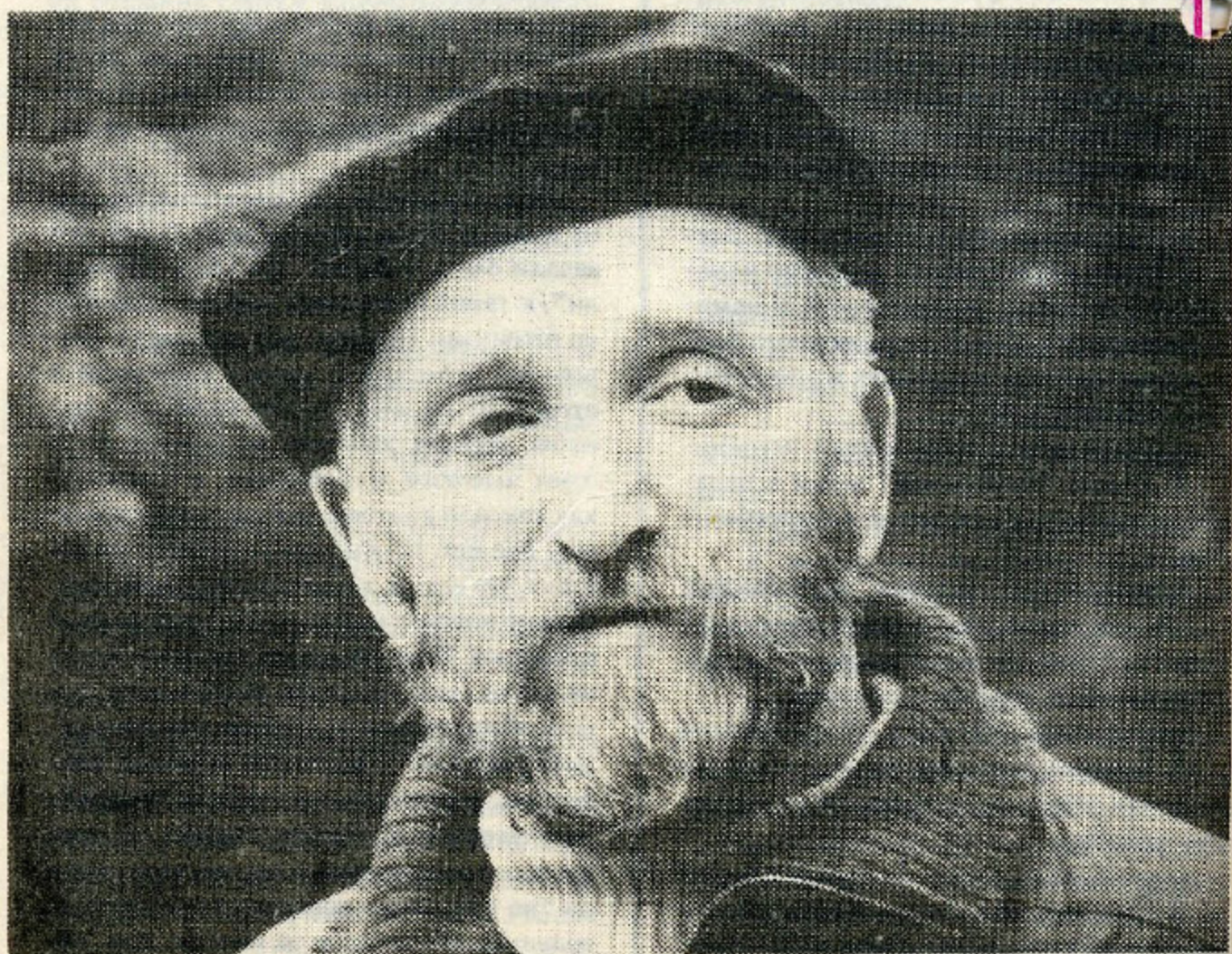


Фото В. Новикова



фото В. Петрова

хаоса" считалось, что подобное нерегулярное движение возможно лишь в очень сложных системах с огромным числом степеней свободы. А здесь - всего лишь одна частица в аксиально симметричном магнитном поле, всего две степени свободы! Открылась какая-то совершенно новая область явлений, и оторвать нас от этих исследований было уже невозможно. Возникло новое, хотя и небольшое, направление работ в нашем Институте.

Андрей Михайлович был не в восторге от такого поворота дел, поскольку это направление уходило в сторону от основной тематики ИЯФ. Однако, перед лицом нашего энтузиазма он проявил понимание и терпение к исследованиям, которые были во всяком случае не бесполезны для физики. В свое оправдание перед моим Учителем

Андреем Михайловичем Будкером можно лишь сказать, что работы эти никогда не отвлекали сколько-нибудь заметных сил и средств ИЯФ, а их результаты время от времени даже использовались при разработках ускорителей и плазменных установок Института.

Конечно, мы были не единственными и не первыми в мире, и даже в нашей стране, исследователями динамического хаоса. Однако, благодаря задаче Будкера, мы оказались в числе первых и очень немногих в то время физиков, рискнувших заняться такой проблемой.

С тех пор исследования в этой области непрерывно расширяются, особенно на Западе. Сейчас уже каждый год проходит несколько международных конференций и различных совещаний по этой проблеме, а в последние годы появилось около десятка новых международных журналов, специально посвященных хаосу.

На сегодняшний день природа и механизм хаоса в классической механике полностью выяснены, хотя, конечно, остается еще много конкретных нерешенных задач и приложений. Хаос связан с сильной локальной неустойчивостью движения, т.е. с быстрым "разбеганием" близких траекторий. Такая неустойчивость усиливает все

более и более мелкие детали начальных условий до такой степени, что они уже существенно влияют на движение системы, являясь своеобразным внутренним "шумом". Это и приводит к сложному и непредсказуемому движению.

После того, как природа хаоса была понята, его стали находить буквально везде, в том числе и в старых работах, где раньше отмахивались от его проявлений, как от каких-то "замурений", ошибок эксперимента. Свежим примером служит движение кометы Галлея, которое также оказалось хаотическим. Это частный случай знаменитой задачи трех тел (Солнце, Юпитер и Комета), упоминавшейся выше.

Интересно, что хаос совсем не всегда вредное явление, как в магнитных ловушках или ускорителях, где он приводит к потере частиц. В некоторых термоядерных установках он широко используется и для нагрева плазмы.

Другим любопытным примером является недавно открытый механизм так называемого диффузионного фотоэффекта в водороде из высоковозбужденного начального состояния. В этом случае электрон "нагревается" в периодическом электрическом поле волны, т.е. его средняя энергия растет со временем вплоть до ионизации, тогда как его движение является хаотическим.

Справедливо и значительно более общее, почти философское, утверждение, вытекающее из теории динамического хаоса: любой творческий процесс, т.е. процесс, результатом которого является получение новой информации, должен быть обязательно (частично!) хаотическим. Это относится и к самой науке, процесс развития которой всегда включает случайный поиск и счастливые находки. Именно так возникли и развивались в ИЯФ исследования и самого хаоса, начальный импульс которым неожиданно и непредсказуемо для него самого был дан А.М. Будкером с его "невинной" задачей о движении частиц в магнитном поле.