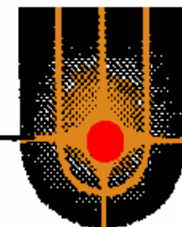


NATIONAL RESEARCH CENTRE

"KURCHATOV INSTITUTE"

Kurchatov sq. 1, Moscow 123182, Russia



В ПАМЯТЬ О БОРИСЕ АНДРЕЕВИЧЕ ТРУБНИКОВЕ

В.П. Пастухов, В.В. Арсенин, А.Б. Кукушкин,
*В.А. Курнаев, Д.Х. Морозов, **О.Б. Трубникова,
А.С. Трубников

НИЦ "Курчатовский институт"

**НИЯУ МИФИ*

***Институт биологии развития РАН*

Звенигородская конференция 2017

20 июля 2016 года на 88 году жизни
скончался Борис Андреевич Трубников



Российскому плазменному сообществу Борис Андреевич известен как замечательный физик-теоретик, автор большого числа работ в области физики плазмы, а также альпинист, горнолыжник и исключительно незаурядный человек

Краткое резюме

- родился 10 января 1929 г. в г. Саратове;
- в 1946 г. окончил среднюю школу в г. Москве и поступили в Московский Механический Институт;
- учился у И.Е. Тамма, М.А. Леонтовича, Л.А. Арцимовича, А.Б. Мигдала, И.Я. Померанчука, В.Г. Левича, Е.Л. Фейнберга;
- в 1952 г. М.А. Леонтович взял его на работу в свой сектор в “Лаборатории № 2” (позднее ИАЭ им. И.В. Курчатова);
- с 1952 г. Б.А. Трубников вёл в МИФИ семинарские занятия, а с 1960 г. читал лекции по теории плазмы;
- в 1959г защитил кандидатскую диссертацию;
- в 1988г защитил докторскую диссертацию;
- опубликовал более 150 научных работ в ведущих журналах, включая ЖЭТФ, УФН, Физика плазмы;
- именно ему принадлежит статья о плазме в БСЭ и в Физическом энциклопедическом словаре, а также научно-популярные статьи в журнале «Природа».

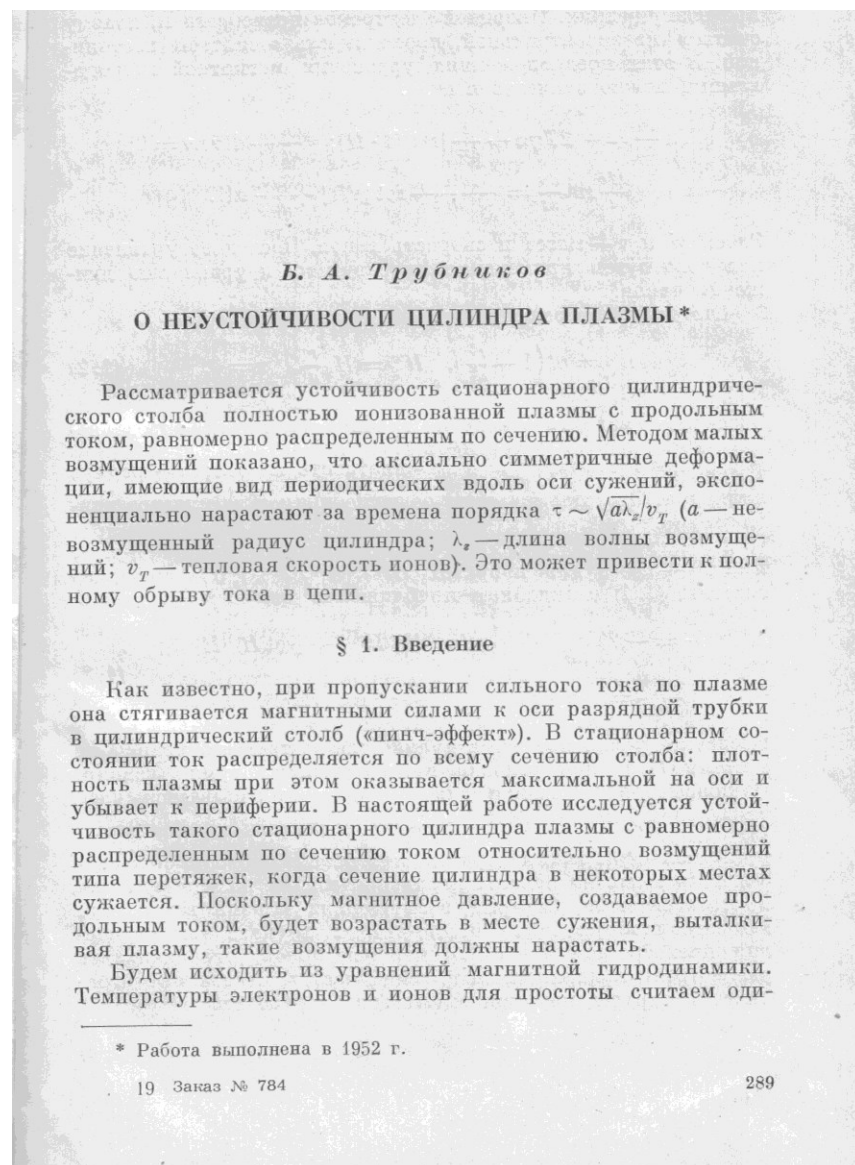
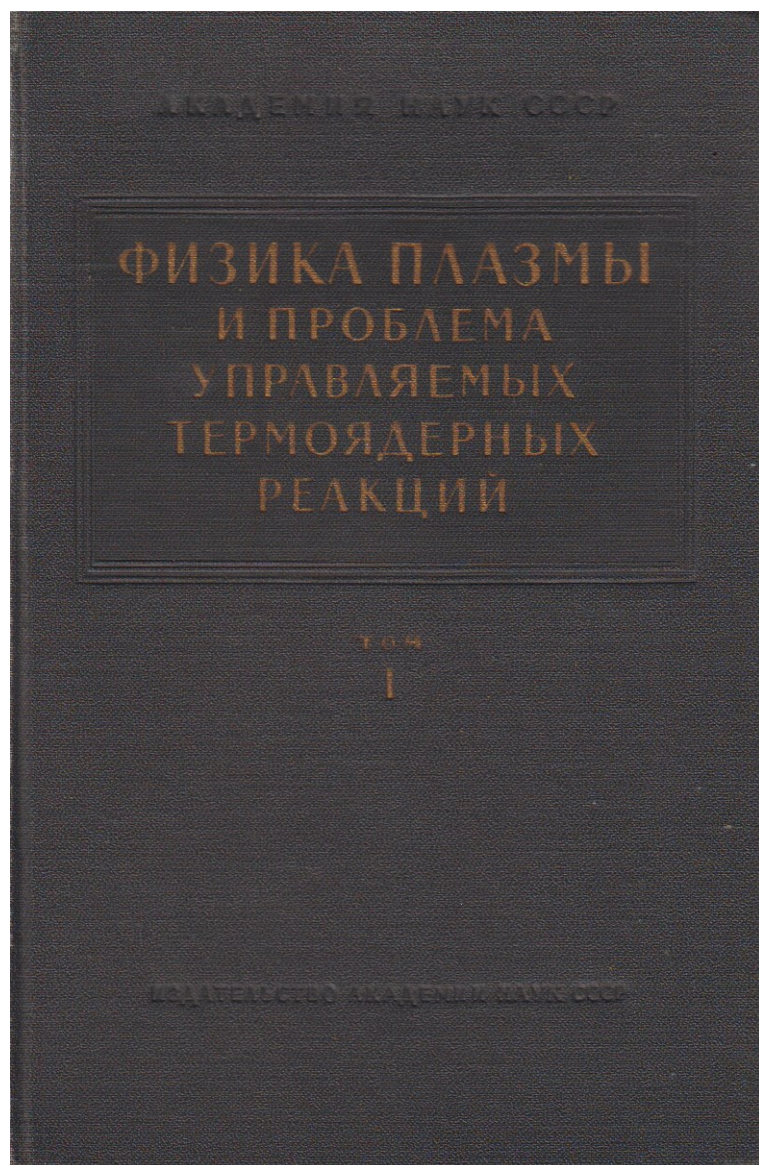
Тут и взят был с головой в коллектив передовой

Школа Леонтовича

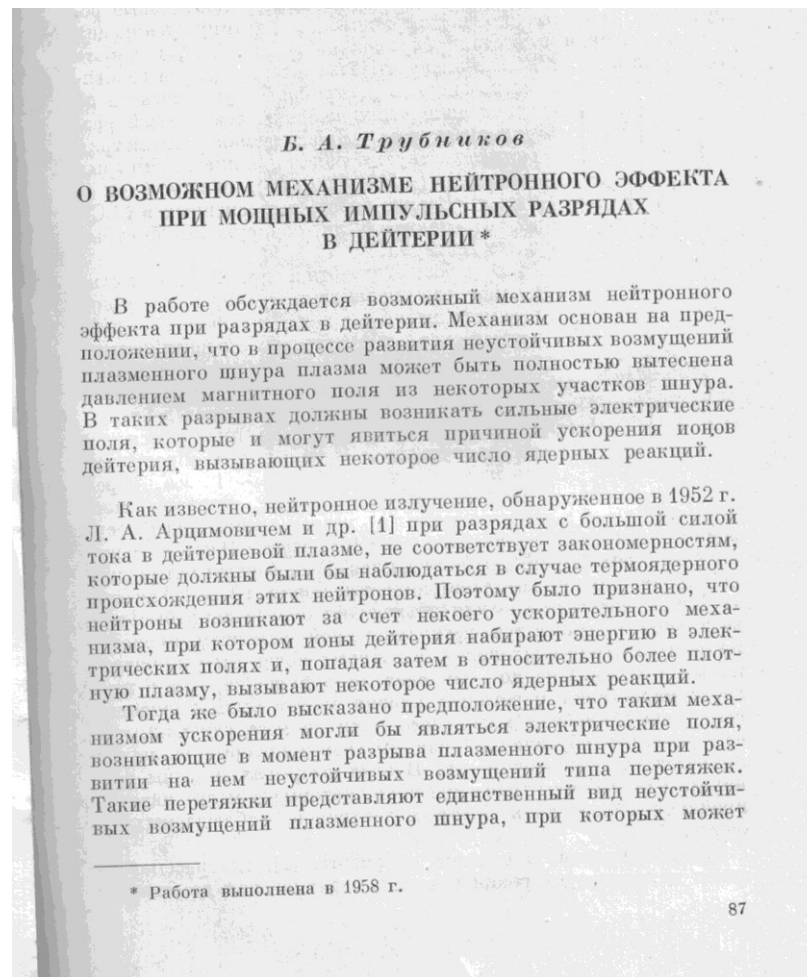
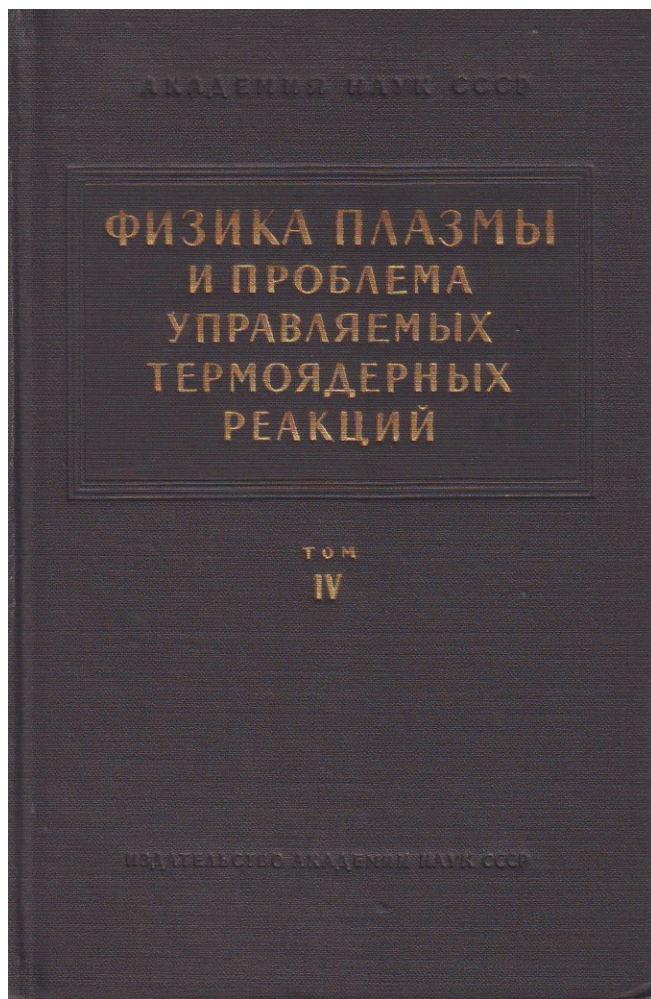


- “здесь обучал нас академик самим садиться на горшок...”
- “ну, а что у Вас?”
- “орёл не ловит мух!”
- на I Международной конференции 1958 г М.А. Леонтович доложил работу Б.А. Трубникова по циклотронному излучению ;
- в 1952 г. впервые рассмотрены МГД-неустойчивости плазмы типа “желобковых перетяжек” Z-пинча
- 1958г. о механизме нейтронного эффекта в Z пинче

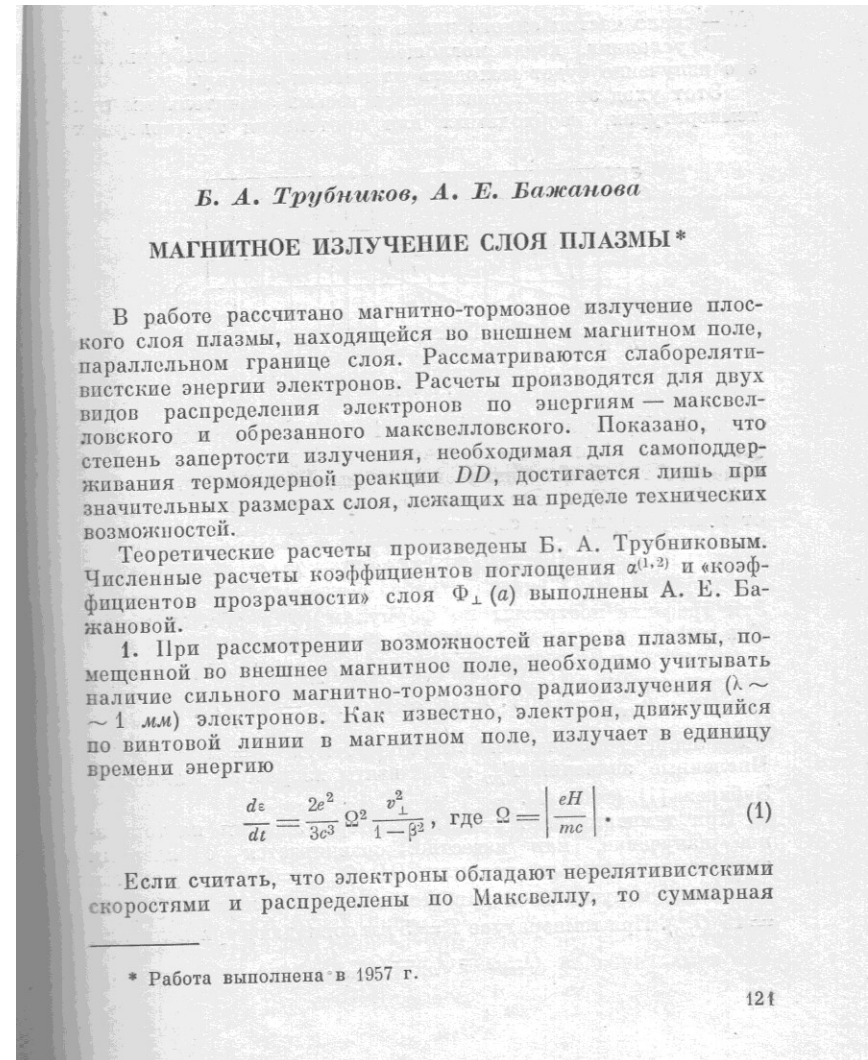
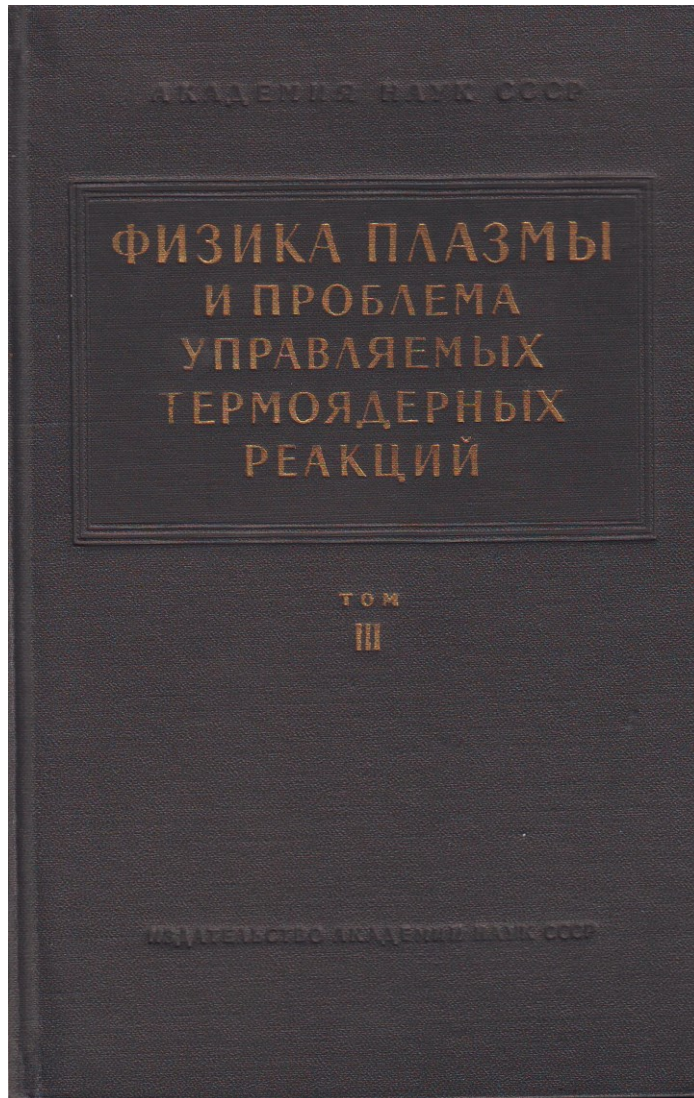
1952 г. впервые теоретически рассмотрены МГД-неустойчивости плазмы типа “желобковых перетяжек” Z-пинча (публ. 1958)



1958 г. о механизме генерации нейтронов при мощных импульсных разрядах в Z пинчах, когда при обрыве тока происходит ускорение ионов дейтерия, последующие столкновения которых и рожают некоторое число “не термоядерных” нейтронов



Цикл работ по циклотронному излучению плазмы, который составил содержание кандидатской диссертации Б.А. Трубникова (1959г.) и принёс ему мировое признание



* Работа выполнена в 1957 г.

Более поздний обзор по циклотронному излучению плазмы в т. 7

ВТП стал поистине классическим для специалистов в области физики плазмы и астрофизики

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПЛАЗМЫ

Под ред. акад. М. А. ЛЕОНТОВИЧА

ВЫПУСК 7



МОСКВА
АТОМИЗДАТ 1973

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ВЫХОДА ЦИКЛОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ПЛАЗМЕННЫХ КОНФИГУРАЦИИ

Б. А. Трубников

В данной статье проведен анализ численных расчетов по циклотронному излучению плазмы и предложена «универсальная» аппроксимационная формула, описывающая излучение плоского слоя, цилиндра и тора.

В энергетическом балансе будущих термоядерных установок довольно важную роль будет играть циклотронное излучение. Для одиночного электрона в магнитном поле B энергия убывает по закону

$$-de_{\perp}/dt = I = 2e^2 \dot{v}^2/3c^3 = 2e^2 \omega_B^2 v_{\perp}^2/3c^3 = \varepsilon_{\perp}/\tau \quad (1)$$

или $\varepsilon_{\perp}(t) = \varepsilon_{\perp}(0) \exp(-t/\tau)$, где $\omega_B = eB/mc$, а $\tau = 3 mc^3/4e^2 \omega_B^2 = 250/B^2$ сек (B в кГс) — время высвечивания ($\approx 0,1$ сек при $B = 50$ кГс). При отсутствии поглощения n_e электронов в единице объема излучают энергию

$$Q_0 = n_e \langle I \rangle = n_e \frac{2e^2}{3c^3} \omega_B^2 \langle v_{\perp}^2 \rangle = \frac{\omega_0^2 \omega_B^2}{3\pi c^3} T; \quad \left(\omega_0^2 = \frac{4\pi n_e e^2}{m} \right) \quad (2)$$

и это излучение, как правило, превышает выделение энергии в результате термоядерных реакций. Однако в действительности значительная доля излучения (2) поглощается в самой плазме.

В работе [1] был введен удобный для расчетов «фактор Φ » — интегральный коэффициент выхода, показывающий, какая доля суммарного циклотронного излучения электронов $W_0 = Q_0 V$ реально выходит наружу из сгустка плазмы с объемом V . Для плоского слоя плазмы толщиной a (рис. 1) коэффициент выхода зависит лишь от двух безразмерных и не зависящих друг от друга параметров:

$$\Phi = \Phi(p_a, t), \quad p_a = a\omega_0^2/c\omega_B, \quad t = T/mc^2, \quad (3)$$

и в наиболее интересной для «термоядерной» проблемы области их значений величину Φ целесообразно выражать в процентах. В случае произвольной конфигурации плазменного сгустка (слоя, цилиндра или тора) величина Φ равна

$$\Phi = \frac{1}{Q_0 V} \oint dS \int_0^{\infty} d\omega \int_{|\mathbf{z} \rightarrow} d\Omega \cos(\angle \mathbf{k}, \mathbf{N}) \mathcal{J}(\omega, \theta), \quad (4)$$

Также классическим стал обзор в ВТП т. 1 (1963г.), который развивал статью “Приведение кинетического уравнения в случае кулоновских столкновений к дифференциальному виду”, опубликованную в ЖЭТФ 1958 г. (Потенциалы Трубникова-Розенблюта)

ВОПРОСЫ
ТЕОРИИ
ПЛАЗМЫ

Под редакцией М. А. ЛЕОНТОВИЧА

ВЫПУСК I



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ
ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
Москва 1963

СТОЛКНОВЕНИЯ ЧАСТИЦ
В ПОЛНОСТЬЮ ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЕ

Б. А. Трубников

В работе рассматриваются простейшие кинетические эффекты, обусловленные столкновениями частиц в полностью ионизованном однородном газе. Автор стремился к максимальной простоте и наглядности изложения. Относительно новым с методической точки зрения является систематическое использование специальных потенциальных функций и электростатических аналогий, что упрощает запись многих формул и иногда облегчает получение конечных результатов.

В первой главе подробно рассмотрено движение пробных частиц в плазме. во второй — проделан нестрогий вывод кинетического уравнения и в третьей — проанализированы некоторые простейшие кинетические явления в плазме.

1. ПРОБНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ПЛАЗМЕ

§ 1. Сила «трения» при рассеянии в поле Кулона

Рассмотрим следующую простейшую задачу, которая в дальнейшем понадобится для вывода кинетического уравнения.

На неподвижный точечный заряд e_a из бесконечности налетает со скоростью u однородный плоский поток точечных частиц β с массой m , зарядом e_β и числом частиц в единице объема n_β . Требуется определить среднюю силу F , действующую на неподвижный заряд e_a со стороны налетающих частиц (рис. 1).

Будем считать, что в каждый данный момент времени на заряд e_a налетает лишь одна частица β из потока. Такое ограничение называется «приближением парных столкновений».

Движение частиц в поле неподвижного кулоновского центра хорошо известно, и мы приведем здесь лишь основные результаты. Вследствие центрального характера сил движение одной частицы всегда можно рассматривать как плоское. Частица при этом движется по гиперболе, и угол рассеяния θ связан с прицельным параметром ρ (рис. 1) соотношением

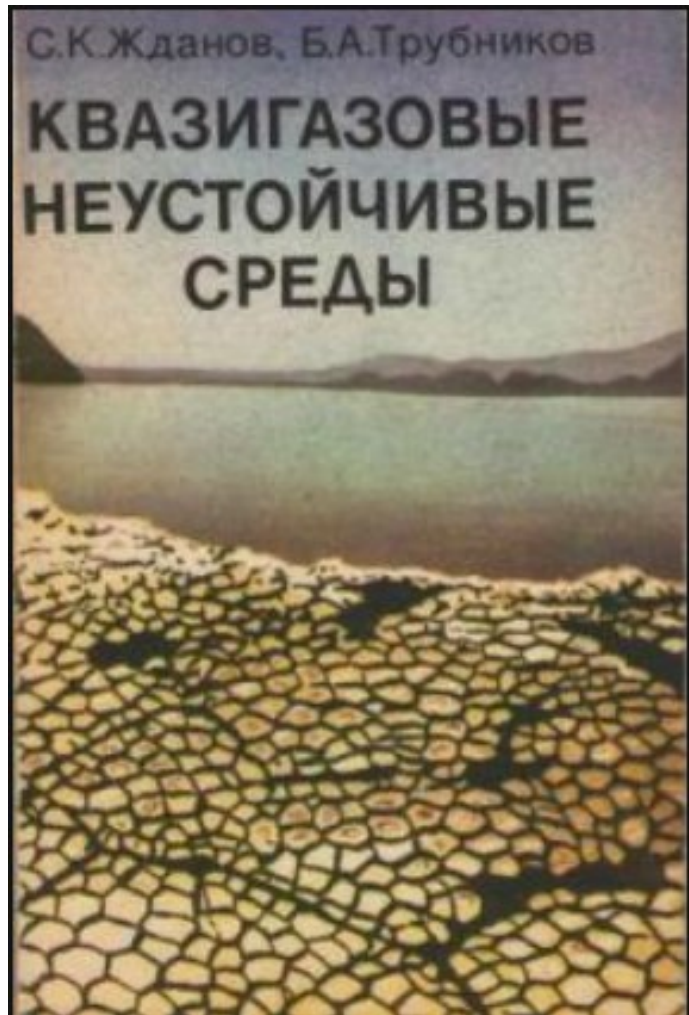
$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{\rho_1}{\rho}, \quad (1.1)$$

где

$$\rho_1 = \frac{e_a e_\beta}{m u^2}.$$

Здесь ρ_1 — значение прицельного параметра, при котором частица отклоняется на прямой угол $\theta = \pi/2$ ($\operatorname{tg}(\pi/4) = 1$). Сечение рассеяния выражается известной формулой Резерфорда.

Совместно с С.К. Ждановым им написан большой цикл статей о длинноволновых неустойчивостях в “квазичаплыгинских средах”, на основе которых в 1988 г. Б.А. Трубников защитил докторскую диссертацию



Изложена общая теория неустойчивых сред специфического "квазигазового типа", в которых длинноволновые возмущения описываются уравнениями идеального политропного газа, обладающего необычной - отрицательной - сжимаемостью. Спонтанное дробление среды на отдельные самостягивающиеся коллапсирующие сгустки весьма часто встречается в природе (например, при рождении галактик, самофокусировке света, филаментации пучков частиц, при дроблении на струи воды и плазменных пинчей, при рождении космических лучей и т.д.) Рассмотрено около 50 таких примеров.

Табл. 6. Ил. 35. Библиогр.: 152 назв. 1991 г.

Извержение Толбачика 1975 год

Б.А. Трубников едет на Камчатку и по результатам публикует 10 работ по физике вулканов, в частности, вывод “закона Кулона” для спадания толщины пепловых отложений (с Ю.В. Адамчуком)



Экспериментальные измерения электропроводности
вулканической лавы в лавовой реке при извержение вулкана
Толбачик 1975 год



Популяризация науки

Б.А. Трубниковым написано 8 научно-популярных статей для журнала «Природа»

ПРИРОДА

4 07



ФИЗИКА

Самоорганизация неустойчивых сред

Точные решения

Б.А. Трубников,
доктор физико-математических наук
ФИЦ «Курчатовский институт»
Москва

В природе встречаются как устойчивые, так и неустойчивые сплошные среды. Поведение и тех, и других описывается нелинейными уравнениями гидродинамики. Для устойчивых сред с 60-х годов известен ряд точных солитонных решений, оказавших большое влияние на развитие науки, которая называется нелинейной физикой. Оказывается, что для неустойчивых сред также существует набор точных решений, и это позволяет выявить наиболее характерные виды неустойчивости. Они важны для описания роста случайных возмущений, самопроизвольно возникающих в неустойчивой среде и описывающих разрывы сплошной среды на отдельные густки. Возникающая наука о неустойчивых средах применяется уже к полусотне разнообразных ситуаций. Важность темы и многообразие ее физических приложений привлекли редакцию к ее относительной сложности.

«Цунами» на полу и на потолке

«Сплошные среды» (жидкость, газ или плазма) могут находиться либо в устойчивом, либо в неустойчивом состоянии. Простой пример устойчивой среды — слой воды, на по-

верхности которого могут бежать различные волны — длинные или короткие. Если длина волны λ велика по сравнению с глубиной слоя H , то волна распространяется со скоростью $c_0 = \sqrt{gH}$, где g — ускорение силы тяжести. Именно с такой скоростью распространяются волны цунами, описываемые теорией мелкой воды. Основным здесь является знаменитое уравнение Кортевега — де Фриза (КдФ, 1896 г.), которое позволяет находить скорость движения воды как функцию времени и координаты. Не приводя самого уравнения, напомним, что оно в качестве слагаемого содержит произведение искомого скорости на производную скорости по координате, т.е. нелинейно.

Самое тихое его решение — уединенная волна, которую называют «солитон» КдФ. Даже если начальное возмущение состояло из хаотического набора волн, то их нелинейное взаимодействие приведет к тому, что из первичной «каши» волн вначале родится один большой солитон, потом еще несколько солитонов, а оставшаяся мелкая рябь постепенно распадется из-за дисперсии и исчезнет. Закона обмена картина эволюции возмущений в устойчивых средах, где наиболее распространенным видом возмущений следует считать именно солитон определенного типа.

Отметим, что солитон «на мелкой воде» впервые в 1834 г.

наблюдает английский инженер Джон Скотт Рассел. Но только лишь начиная с 1967 г. многие физики и математики занялись созданием общей теории о солитонах в различных устойчивых средах (подробнее см. [1]).

Теперь мысленно вообразим, что мы заморозили тонкий слой воды на полу и перевернули всю комнату «вверх ногами», так что лед оказался на потолке, затем мы его митовенно нагрели, и он превратился в слой воды на потолке. Он не может сразу обрушиться вниз как единое целое, так как снизу его поднимает атмосферное давление воздуха в 1 кг/см². Но такая ситуация будет неустойчивой, и слой начнет собираться в капли и струи, падающие вниз. Уравнения движения воды в слое фактически останутся прежними, но только ускорение силы тяжести поменяет знак по правилу $g \rightarrow -g$, так что быстрая «скорость цунами» станет медленной по правилу перехода $c_0 = \sqrt{gH} \rightarrow \sqrt{-gH}$. Такая ситуация и будет означать переход устойчивой среды в неустойчивую. В ней уже не будет волн, бегущих вдоль поверхности, а в направлении, перпендикулярном ей, будут нарастать стоячие на месте возмущения определенного «кажущегося» типа, рис.1, которые приведут к образованию капель и в итоге заставят всю воду упасть вниз.

Все изображенное на рисунке варианты — результат анали-

© Трубников Б.А., 2007

К 4-м известным статистическим распределениям следует добавить ещё одно – гиперболическое, которому подчиняются распределения космических тел по массам, морских обитателей по размерам, конкурентов, вулканического пепла и т.д.

ПРИРОДА 11 04



СТАТИСТИКА

Пять великих распределений вероятностей

Б.А.Трубников, О.Б.Трубникова

«**К**ажется, дождь собирается, кажется, дождь собирается», — приговаривал Пятачок, стараясь отогнать пчел от улья, куда хотел добраться Винни-Пух, чтобы полакомиться медом. Так Пятачок хотел передать пчелам информацию о том, что вероятность дождя велика. С понятием вероятности, хотя бы на бытовом уровне, сталкивались все читатели нашего журнала, например играя в «орла» и «решку». Однако теория вероятностей — весьма точная наука, имеющая несколько замечательных достижений, с которыми мы и хотим познакомить читателей.

Азбука теории

Основные положения теории вероятностей достаточно просты. Если могут случиться два неких события «1» и «2» с вероятностями $w(1)$ и $w(2)$, причем эти события независимы («в огороде бузина, а в Киеве дядька»), то выполняются следующие соотношения:

— вероятность того, что произойдут оба независимых события, равна произведению $w_{12} = w(1)w(2)$;

© Трубников Б.А., Трубникова О.Б., 2004



Борис Андреевич Трубников, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института ядерного синтеза РИЦ «Курчатовский институт». Область научных интересов — теория плазмы, гидродинамика, происхождение космических лучей. Неоднократно публиковался в журнале «Природа».

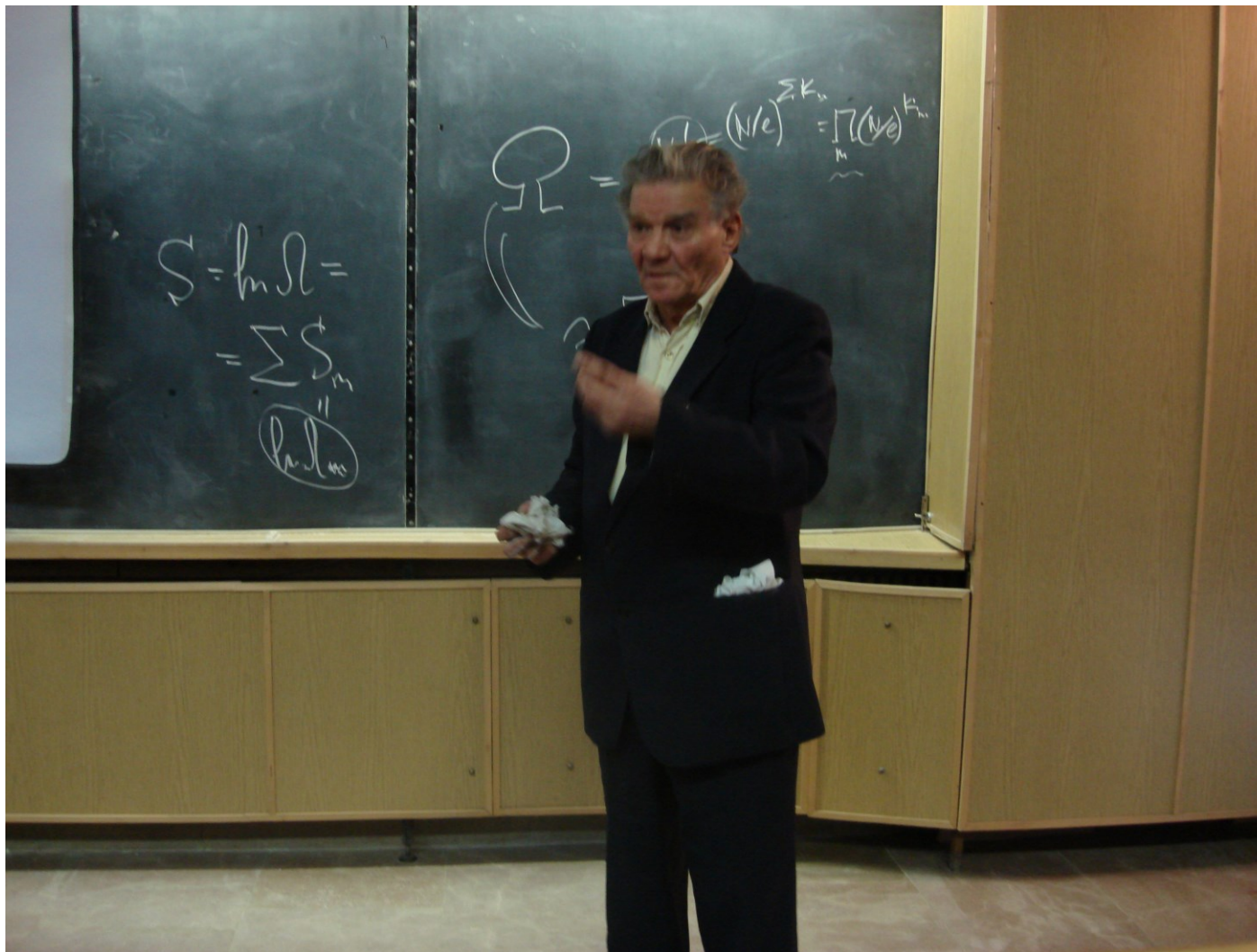
Оксана Борисовна Трубникова, младший научный сотрудник лаборатории экспериментальной эмбриологии им.Д.И.Филатова Института биологии развития РАН им.И.К.Кольцова. Изучает временные зависимости процессов деления клеток.

— вероятность того, что произойдет либо первое, либо второе событие, равна сумме $w(1+2) = w(1) + w(2)$;

— вероятность того, что произойдет какое-либо одно событие из полного набора N всех возможных независимых событий, равная сумме всех вероятностей $W_N = w(1) + w(2) + w(3) + \dots + w(N)$, составляет единицу (или 100%, если вероятности исчисляются в процентах).

В качестве примера используем эти простые формулы для анализа движения молекулы газа. Пусть $w(E_1)$ есть вероятность того, что молекула обладает полной энергией E_1 , и $w(E_2)$ есть вероятность того, что другая молекула обладает энергией E_2 . Тогда произведение $w(E_1)w(E_2) = w(E_1 + E_2)$ будет вероятностью того, что имеют место сразу оба события.

Выступление Б.А. Трубникова на семинаре в Троицке
17.03.2008 о статистических распределениях в природе



55 лет преподавал в МИФИ, читая лекции студентам Выпустил первый в нашей стране учебник по теории плазмы “Введение в теорию плазмы”, после переработки в 1996г. издан Энергоатомиздатом в качестве учебника “Теория плазмы”



Б.А. Трубников
ТЕОРИЯ ПЛАЗМЫ

В основу книги положены три учебных пособия по различным направлениям теории плазмы, написанных на основе курса лекций, который более 30 лет читался студентам МИФИ. Большинство разделов дополняется задачами различной степени сложности с решениями. Задачи могут быть использованы при проведении практических занятий. Автор - известный российский теоретик, специалист по теории плазмы.

Для студентов и аспирантов физических специальностей вузов. Может оказаться полезной для читателей, интересующихся не только теорией плазмы, но и другими разделами теоретической физики, в особенности гидродинамикой, астрофизикой и теорией излучения.

Содержание

Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. Движение частиц в полях и проблема удержания плазмы	25
§ 1. Простейшие случаи движения	26
§ 2. Дрейфовое приближение	33
§ 3. Проблема удержания частиц	41
§ 4. Тороидальные ловушки	45
§ 5. Стелларатор с винтовой обмоткой	51
§ 6. Адиабатические инварианты в дрейфовой теории	50
§ 7. Сила Лоренца и ее магнитный аналог	70
Глава 2. Устойчивость плазмы низкого давления	74
§ 8. Устойчивость плазмы в пробкотроне	75
§ 9. Условие "минимума B " для замкнутых систем	82
§ 10. Пробкотрон со стабилизирующими стержнями	92
§ 11. Учет перекрещенности силовых линий.	101
§ 12. Анализ замкнутых систем	107
§ 13. Плазменная ловушка "дракон"	117
Глава 3. Магнитная гидродинамика	128
§ 14. Уравнения магнитной гидродинамики	129
§ 15. Простейшие равновесные системы	137
§ 16. Тор с распределенным током	148
§ 17. Волны в магнитной гидродинамике	154
§ 18. Анизотропная магнитная гидродинамика	165
§ 19. Релятивистская магнитная газодинамика	176
§ 20. Течение в каналах МГД-генератора и МГД-двигателя	181
Глава 4. Устойчивость плазмы в гидродинамическом приближении	192
§ 21. Метод малых колебаний	193
§ 22. Устойчивость плоской границы и скиннированного пинча	198
§ 23. Энергетический принцип устойчивости	216
§ 24. Примеры использования энергетического принципа	227

Визит к Р.З. Сагдееву в США, Мэриленд
1995 год



Альпинистско-горнолыжная сага

Как и написано в роду, горами введен был в искус он в 52-м году, когда поднялся на Эльбрус...



Желаний нет сильнее в мире – подняться вверх хотя б на миг.
И Борей Ленина взят пик: 7000 метров на Памире...
Июль 1967 года



Сахаровская экспедиция “Россия XX век” 1999 года
Алтай, урочище Каракабак, подготовка к восхождению
на пик Суворова



Эпилог

В данном кратком выступлении невозможно передать всю широту, глубину и многогранность талантов Бориса Андреевича

- так, Б.А. Трубников является одним из авторов концепции термоядерной ловушки “ДРАКОН” (длинной равновесной конфигурации, 1980 г.), автором весьма нетрадиционной теории происхождения космических лучей и возможного механизма рождения космических гамма-всплесков;

- как говорил В.Д. Шафранов, изучив работы Трубникова, даже рядовой академик в состоянии приобщиться к пониманию ключевых проблемы физики, биологии, социологии, экономики и других областей современной науки;

- В.Д. Шафранов также говорил о Трубникове: “Среди невзгод житейских, случающихся вдруг, он самый компанейский певец, товарищ, друг...”

- а поэтический эпос "Песнь о Борисе Трубникове" можно смело отнести к числу наиболее ярких литературных произведений прошлого века.

Надеюсь, что светлая память об Борисе Андреевиче – этом выдающемся человеке – навсегда сохранится в наших сердцах