

А.Д. Сахаров і проблеми термоядерного синтезу



До сторіччя з дня народження А.Д. Сахарова 21 травня 2021р.

Температура збудження в плазмі газового розряду. (перша робота А.Д. Сахарова з фізики плазми, 1948р)

А.Д. Сахаров: «На початку 1948 року співробітник ФІАН оптик проф. С. Л. Мандельштам (син Л. І. Мандельштама) попросив мене зробити розрахунки якихось нерівноважних процесів в плазмі газового розряду, деталей я не пам'ятаю. Я виконав ці розрахунки (потім вони були навіть опубліковані). Ця робота стала приводом для поїздки до Києва на спектроскопічну конференцію, що було дуже приємно. Я жив в готелі "Україна" на розі Хрещатика, вранці під вікнами співали солов'ї».

2. И.И. Собельман

История этой статьи А.Д. Сахарова такова.

С.Л. Мандельштам привлек внимание А.Д. Сахарова к ряду вопросов, связанных со спецификой энергообмена электронов с атомами и молекулами в низкотемпературной плазме умеренной и низкой плотности, существенных, в частности, для оптического метода измерения температуры газового разряда.

В статье содержатся два принципиально важных момента. Прежде всего продемонстрировано четкое понимание наиболее важной особенности предельного случая низкой плотности, получившего в дальнейшем название коронального предела. А.Д. Сахаров пришел к соответствующим результатам независимо от Эдлена (несколько более ранняя работа Эдлена, опубликованная в Швеции в военные годы, не была известна в то время в ФИАНе).

Вторым очень важным шагом было выяснение специфики энергообмена электрона в столкновениях с атомами и молекулами в тех случаях, когда потеря энергии электроном в столкновении много меньше его энергии и может быть обоих знаков (потеря и приобретение энергии). А.Д. Сахаров показал, что в этих случаях энергообмен имеет характер фоккер-планковского процесса.

В настоящее время оба упомянутых выше результата представляются почти тривиальными, настолько они стали общепринятыми. Однако в то время краткая статья А.Д. Сахарова сыграла очень важную принципиальную роль.

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗБУЖДЕНИЯ В ПЛАЗМЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА *

Одним из наиболее распространенных методов измерения температуры газового разряда является оптический метод, основанный на измерении относительных интенсивностей соответственно подобранных атомных линий или полос молекулярных спектров. В случае наличия термодинамического равновесия между компонентами плазмы измеряемая величина, естественно, является истинной температурой плазмы. В случае же отсутствия термодинамического равновесия между электронами, с одной стороны, и атомами и молекулами – с другой, что имеет место в плазме низкого давления, возникает вопрос, чему же соответствует измеряемая оптическими методами температура, получившая название «температуры возбуждения».

Понятие «температуры возбуждения» может быть введено следующим образом. Предположим, что мы знаем вероятности переходов и интенсивности для некоторой группы спектральных линий. Мы можем тогда найти концентрации N_i атомов (или молекул) в каждом состоянии возбуждения и определить для данной группы линий вспомогательную величину T_a (температуру возбуждения), положив

$$\frac{N_i}{N_j} = \frac{g_i}{g_j} e^{-\frac{E_i - E_j}{kT_a}};$$

откуда

$$T_a = \frac{E_i - E_j}{k} \ln \frac{N_j g_i}{N_i g_j}. \quad (1)$$

Здесь E_i , E_j – энергии возбуждения, g_i , g_j – статистические веса соответственно верхнего и нижнего уровней соответствующего перехода.

* Изв. АН СССР, сер. физ. № 12, 372–375 (1948).

Розробки термоядерної зброї



Три бомби в Музеї ядерної зброї в м Сарові:

- 1. Воднева бомба 1953 г. («Слойка-Лідоочка» Сахарова-Гінзбурга).*
- 2. Оригінальна радянська атомна бомба 1951 року в два рази потужніша і, істотно меншого розміру, ніж «Товстун», скинутий американцями на Нагасакі (Л. Альтшулер, Е. Забабахін, Я. Зельдович, К. Крупніков).*
- 3. Перша радянська атомна бомба 1949 року (точна копія «Товстуна»).*



А.Д. Сахаров та І.В. Курчатов, 1958 р

З 1948 р., спочатку в Москві,
а в 1949 р. за розпорядженням
Берії переїзд до «об'єкту»

Деякі хронологічні коментарі (1):

- січень 1949 р.-перший звіт А. Сахарова про «слойку» (можливо вплив статті В. Девіса про можливість superbombи 1948, Science News Letter). На той час група Зельдовича працювала над базовим «американським варіантом»
- квітень 1949 р. –Директор ФІАН С.І. Вавілов офіційно проінформував Берію про ідею А. Сахарова.
- травень 1949 р. –Берія відряджає Сахарова (єдиного зі співробітників групи І.Є. Тамма) в КБ-11 з червня 1949 р.
- Літо 1950- секретаріат Берії надіслав Сахарову пропозиції О.Лаврентьєва: а) LiH , LiD , б) електростатичне утримання плазми для КТС, с) для цього необхідно зменшити n , але підняти T .

Принцип магнітної термоізоляції плазми, осінь 1950р.

5

Відгук А. Сахарова на роботи О. Лаврентьєва

100. секретно
Особая папка
- 85
РАСКРЕПЕНО

Отзыв о работе тов. Лаврентьева О.А.

В рассматриваемой работе напечатаны две идеи:

- 1) Использование ядерных реакций

$$\text{Li}^7 + \text{H}^1 \rightarrow 2\text{He}^4 \text{ и } \text{Li}^6 + \text{H}^2 \rightarrow 2\text{He}^4 \dots\dots\dots(1)$$
 в условиях теплового взрыва (под действием взрыва атомной бомбы) и в условиях управляемого медленного теплового горения.
- 2) Осуществление управляемой ядерной реакции в большом вакуумном сосуде, при котором предполагается возможность отбрасывать энергию при помощи электростатического поля. Это же поле предназначено для того, чтобы удерживать ядра в реакционной зоне реакции.

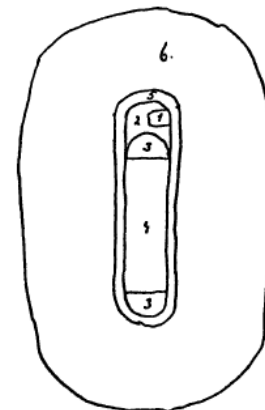
По п.1) необходимо отметить, что реакции (1) не являются наиболее подходящими в условиях теплового взрыва, т.к. их эффективное сечение при тех температурах, которые осуществляются в условиях атомного взрыва, слишком малы.

По п.2) я считаю, что автор ставит весьма важную и не являющуюся безнадёжной проблему. Речь идёт о термоядерной реакции (именно в "разрыве") в газе высокой температуры и такой низкой плотности, что существующие материалы могут выдержать получаемые давления.

2202 А. Сахаров
07-04-62

А.Д. Сахаров в своем отзыве назвал предложение О.А. Лаврентьева, касающееся литиево-водородной бомбы, предложением об использовании "ядерных реакций $\text{Li}^7 + \text{H}^1 = 2\text{He}^4$ и $\text{Li}^6 + \text{H}^2 = 2\text{He}^4$ в условиях теплового взрыва (под действием взрыва атомной бомбы)", а не предложением конструкции бомбы. А.Д. Сахаров подчеркнул, что эти реакции "не являются наиболее подходящими в условиях теплового взрыва, так как их эффективное сечение при тех температурах, которые осуществляются в условиях атомного взрыва, слишком малы."

1. Заряд с часовым механизмом
2. Пороховой заряд
3. Полусферы из плутония
4. Безвоздушное пространство
5. Слой лития
6. дейтерид лития



1. Detonator with a timer. 2. Powder charge. 3. Plutonium hemispheres. 4. Vacuum. 5. Lithium-6 layer. 6. Lithium-6 deuteride.

1) Принятая плотность газа минимизирует возмущением объема зарядови электростатических сил, действующих на сетку.

2) Благодаря низкой плотности газа пробег ядер по отношению к ядерной реакции очень велик, в десятки и сотни раз превосходит размеры сосуда. Поэтому требуется очень хорошо отражающая сетка, с большими зазорами и тонкой токонесущей газобью, которая должна отражать обратно в реактор почти все падающие на нее ядра. По всей вероятности это требование не может быть совмещено с требованиями прочности (механической и по отношению к электронным эмиссиям) однако не исключены какие-либо изменения проекта, которые исправят эту трудность.

Я считаю необходимым детально обсудить проект тов. Лаврентьева. Независимо от результатов обсуждения необходимо уже сейчас отметить необходимость изучения

18 авг. 50 г. А. Сахаров

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени П.Н.ЛЕБЕДЕВА

РАССЕКРЕЧЕНО

ОСОВ.ОСОВ.ОСОВ.ОСОВ.

ОСОБАЯ ПАТНА

Экз. № 1

В.А.ГУНЧЕНКО

О Т Ч Е Т

- 1) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ Li^6D в "серии".
2) ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЯДРАМИ
урана в "серии".

Имя и Фамилия

М.В.Х. № 17846

Москва, март 1949 года

Академия Наук С.С.С.Р.
Физический институт имени П.Н.Лебедева
Секретная часть
Экз. № 1
4 - 10 49

ОСОВ.ОСОВ.ОСОВ.ОСОВ.
ОСОБАЯ ПАТНА
РАССЕКРЕЧЕНО

ТОЛЬКО ЛИЧНО.

ДИРЕКТОРУ, ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АН СССР
АКАДЕМИК ВАНДЕНОВ С.И.

Сообщаю Вам, необходимые для работы группы
тов. ТАММА И.Б. предварительные экспериментальные данные о
сечении реакции диоксан-триоксан.

$E(Kev)$	15	20	30	40	50	60	70	80
σ	0,00094	0,005	0,037	0,11	0,22	0,365	0,51	0,71
$E(Kev)$	100	120	150	200	300	400	500	600
σ	2	2	4,1	4,6	4,0	2,4	1,5	1,1
							0,78	

И.Б. Тамма
и др.

27 апреля 1949 г.
5 - 2577/41

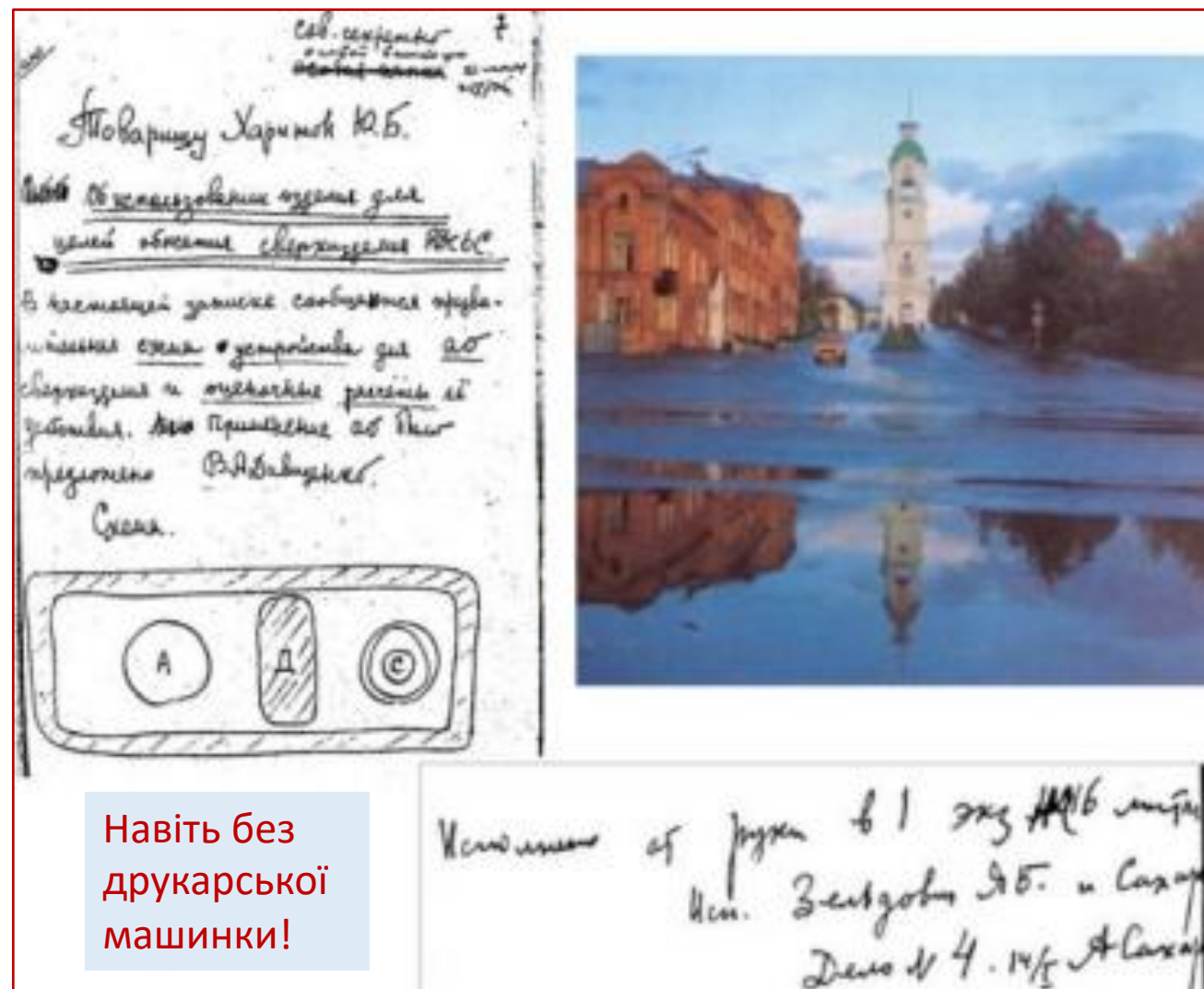
В.Харитон

С.С.С.Р.
И.Б. Тамма
И.Б. Тамма
Организация
В.Харитон

На той час А. Сахаров вже
знав про LiD і працював над
«ідеєю 3» !!!



Я.Б. Зельдович, А.Д. Сахаров та Д.А. Франк-Каменецький, Саров



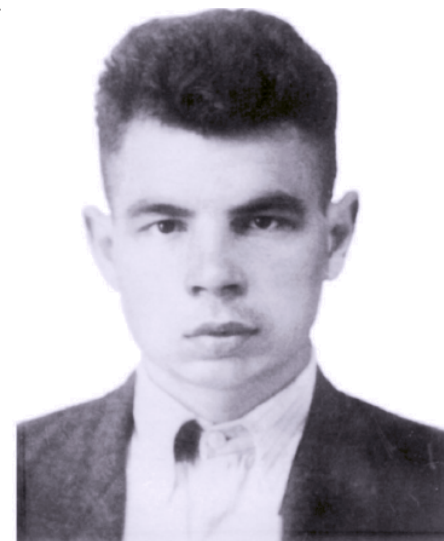
Титульна сторінка звіту Сахарова та
Зельдовича (14.01.1954) про двохступеневу (А-Н) конструкцію
водневої бомби. Праворуч— центральна площа Сарова

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

**К истории исследований
по управляемому термоядерному синтезу**

Таким образом, в мае 2001 г. исполнилось 50 лет с момента официального начала программы работ по УТС в СССР и США. История этих исследований забавна и драматична³. В нашей стране она началась с письма сержанта Советской Армии Олега Лаврентьева, служившего на Сахалине, в Центральный Комитет ВКП(б) (см. раздел "Из Архива Президента РФ").

Письмо содержало предложения по созданию водородной бомбы с использованием атомной и, что более интересно, предложение по электростатическому удержанию ядер дейтерия для промышленного производства электроэнергии с использованием двух сферических сеток под отрицательным и положительным потенциалами. Письмо попало на отзыв к А.Д. Сахарову, который написал, что "автор ставит весьма важную и не являющуюся безнадежной проблему". Отметив ряд трудностей в реализации электростатического удержания, он указал, что сетка должна быть "с большими зазорами и тонкой токонесущей частью, которая должна отражать обратно в реактор почти все падающие на нее ядра

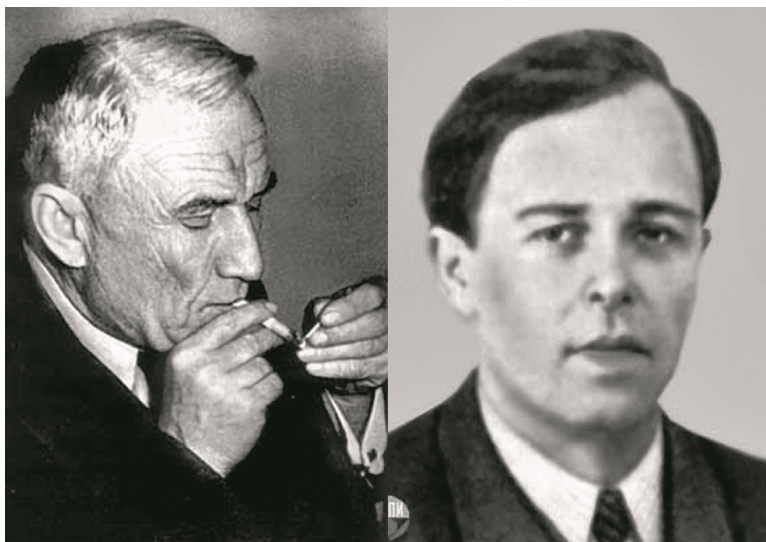


Олег Александрович Лаврентьев



Андрей Дмитриевич Сахаров

І.Є. Тамм, А.Д. Сахаров. Теорія Магнітного Термоядерного Реактора. Звіти, 1950, 1951



Примечание к части III.

Эта работа, в которой наряду с И.Е. Таммом принял участие Н.Н. Боголюбов, содержит качественный анализ квазистационарного решения кинетического уравнения в случае тороидального магнитного термоядерного реактора со стабилизирующим током. Вскоре после выполнения работы стало известно о макроскопической неустойчивости этого решения. Однако работа не потеряла своего значения. В частности, введенное в ней понятие о магнитных поверхностях (восходящее еще к работе И.Е. Тамма 20-х годов) и некоторые другие качественные понятия очень важны, хотя их значение полностью было осознано лишь много позднее.

621.039.6

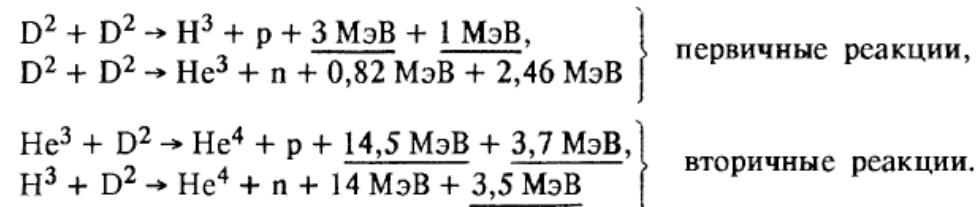
ТЕОРИЯ МАГНИТНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА (часть II)

АД. Сахаров

(По сб.//Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Т. 1. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — С. 20 — 30; то же://УФН. 1967. Т. 93, вып. 3. С. 564 — 571⁽¹⁾)

В работе И.Е. Тамма⁽²⁾ изложены свойства высокотемпературной плазмы в магнитном поле, дающие надежду на осуществимость МТР. Ниже излагаются другие вопросы теории МТР, а именно: 1. Термоядерные реакции. Тормозное излучение. 2. Расчет большой модели. Критический радиус. Краевые явления. 3. Мощность подмагничивания. Оптимальная конструкция. Производительность по активным веществам, 4. Дрейф в неоднородном магнитном поле. Подвешенный ток. Индукционная стабилизация. 5. Проблема плазменной неустойчивости.

1. Термоядерные реакции. Тормозное излучение. В МТР могут идти следующие реакции:

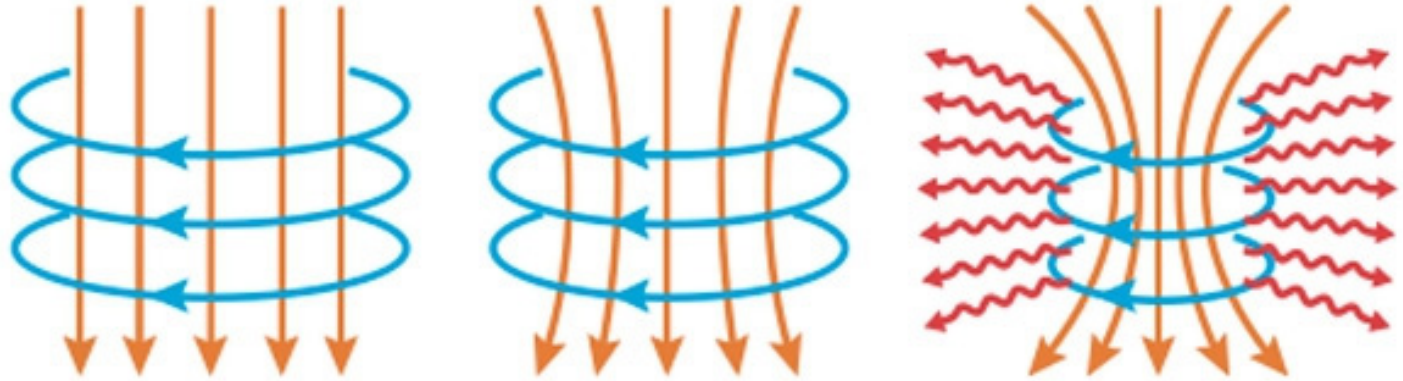
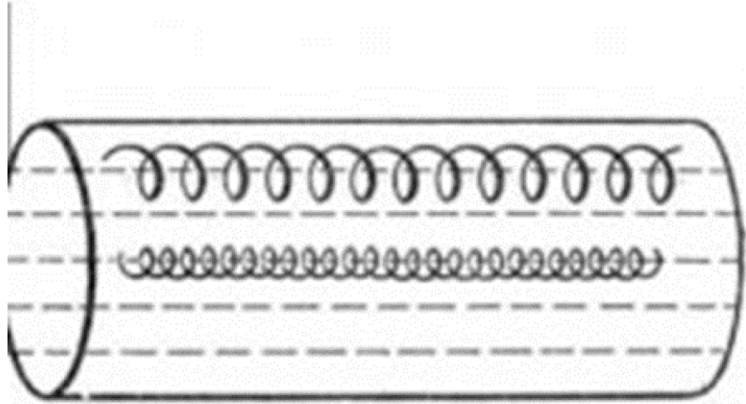


Подчеркнута энергия, которая сообщается заряженным частицам и поддерживает термоядерную реакцию в МТР.

Скорость протекания реакции характеризуется временем τ , в течение которого каждое ядро испытывает одно столкновение, сопровождающееся

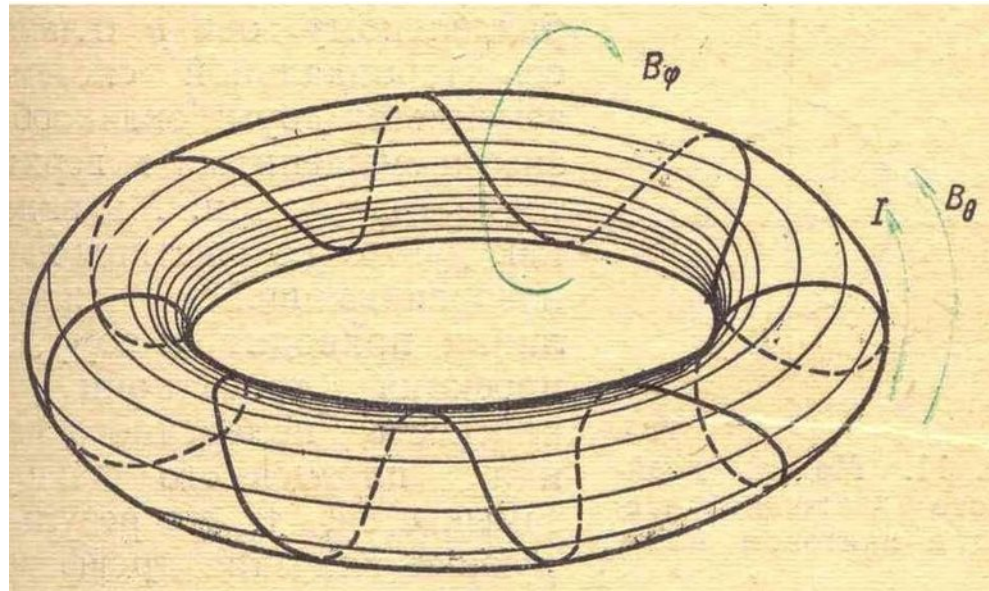
T, кэВ	Время жизни D по отношению к обем реакциям (первичн.)	Время жизни H ³	Время жизни He ³	T, кэВ	Время жизни D по отношению к обем реакциям (первичн.)	Время жизни H ³	Время жизни He ³
10	7620	134	27400	100	202	13,8	89,9
20	1770	34	8850	200	112	18,0	51,2
50	421	15,3	322	300	85,5	23,0	46,4

Магнітна термоізоляція



$$2nkT = \beta \frac{H^2}{8\pi}$$

$$[cm^2 / c] D_{\perp} \cong c \frac{T_e + T_i}{T_e} \frac{D_0}{(\omega_n \tau_{ei})^2} \approx 10^{-2} \frac{T_e + T_i}{T_e} \frac{n[cm^{-3}]}{H^2[\text{Э}]}$$



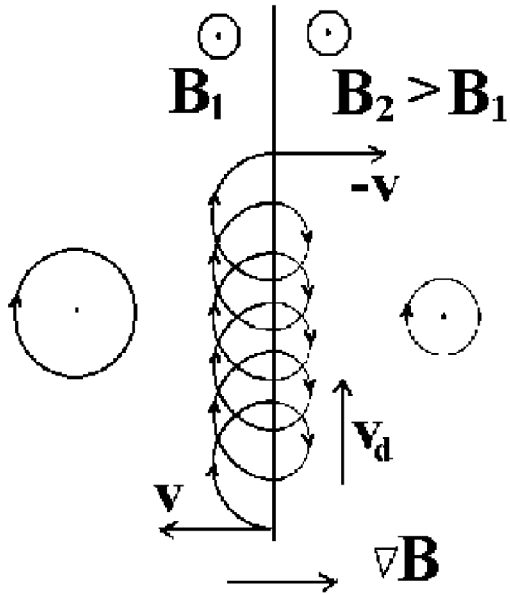
$$D_B = \frac{1}{16} \frac{c}{e} \frac{T}{H}$$

Як подолати дрейфові ефекти?

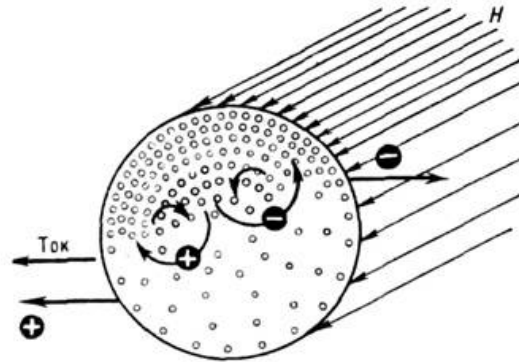
1) Градієнтний дрейф

$$\mu = mv_{\perp}^2 / 2H, \text{ то } F_{\text{гр}} = -\mu \nabla H = -mv_{\perp}^2 \nabla H / 2H.$$

$$v_{\text{д гр}} = \frac{mc v_{\perp}^2 [H \nabla H]}{2ZeH^3} = \frac{r_H \nabla H}{2H} v_{\perp}.$$

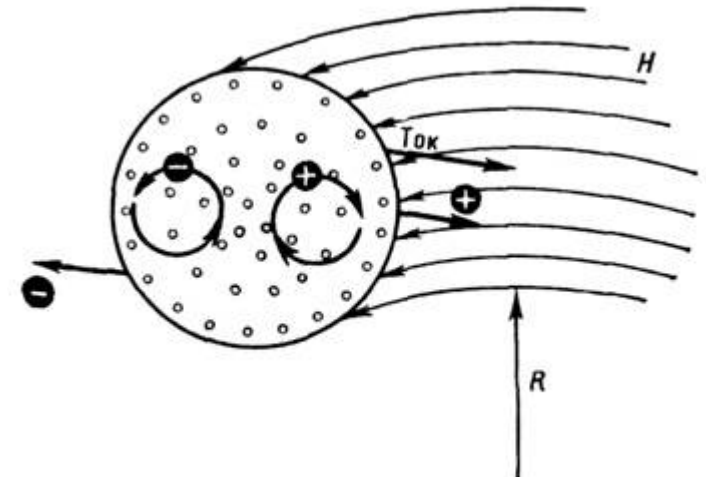


Градієнтний дрейф. Магнітне поле зростає вгору. Дрейфовий струм направлений вліво

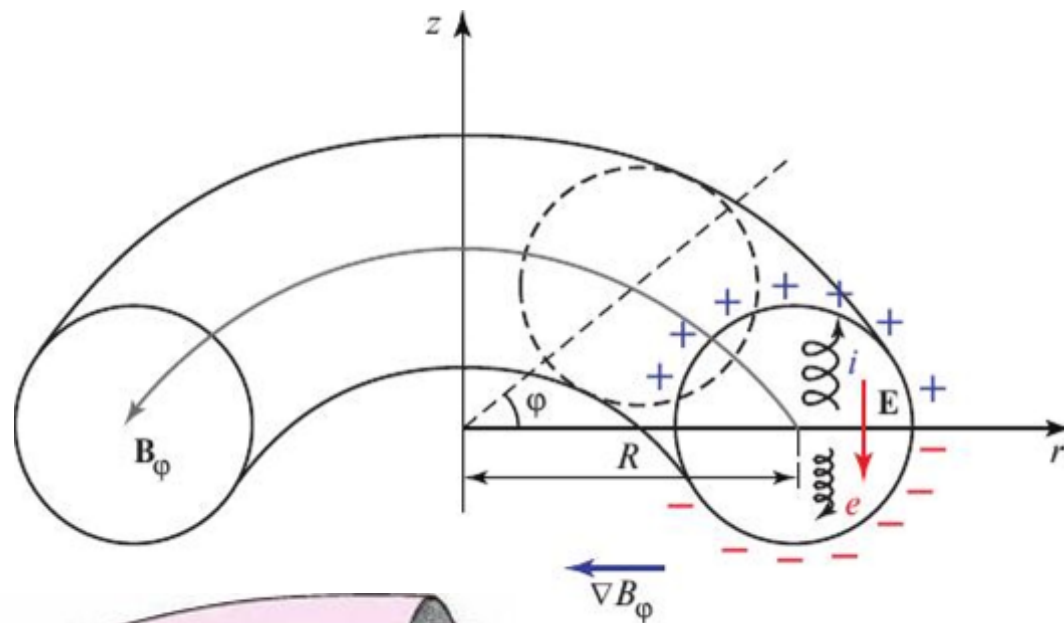


2) Центробіжний дрейф – завдяки центробіжній силі інерції mv_{\perp}^2/R

$$v_{\text{дц}} = \frac{c}{ZeH^2} \frac{[mv_{\perp}^2 RH]}{R^2} = \frac{mc v_{\perp}^2}{ZeR^2 H^2} [RH] = \frac{v_{\perp}^2}{R \omega_H}$$



Центробіжний дрейф.



4. Дрейф в неоднородном магнитном поле. Подвешенный ток. Индукционная стабилизация. Магнитное поле в МТР (в пренебрежении экранировкой плазменными токами) совпадает с полем прямого тока. Неоднородность магнитного поля приводит к весьма опасным эффектам дрейфа (рис. 3). Для частицы массы M в точке A поле направлено по оси z , а градиент поля — по оси x , $\partial H_z / \partial x = -H_z / x$.

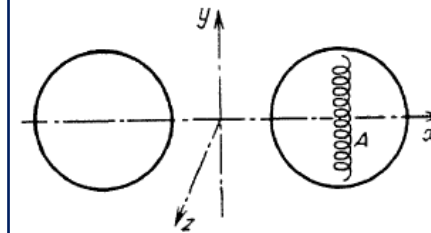
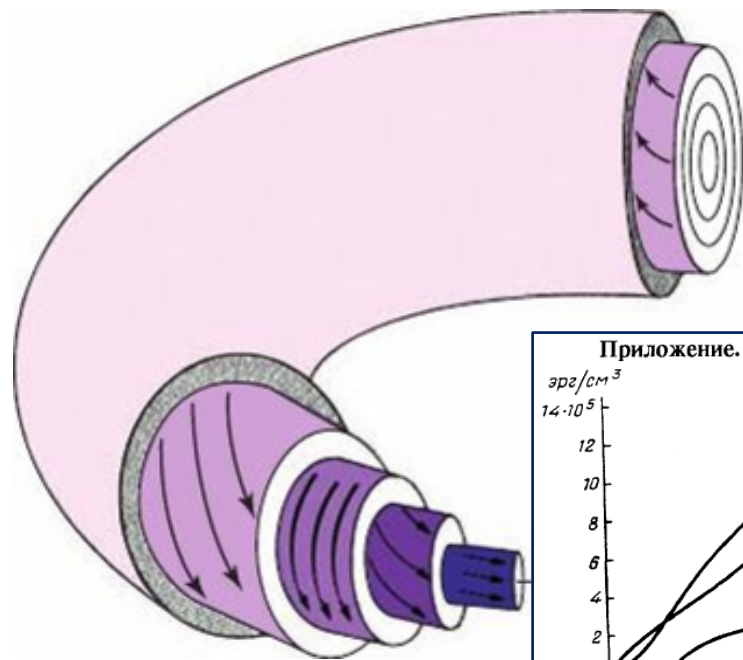


Рис. 3

Подвешенный ток. Рассмотрим движение заряженных частиц в магнитном поле, созданном обмоткой МТР (~50 000 Гс) и осевым током (200 Гс), созданным кольцевым проводником, проходящим по оси трубы МТР. Магнитные силовые линии в таком поле приобретают винтообразный характер (рис. 4). В случае приведенных выше примерных чисел центр ларморовской окружности частицы, двигаясь по магнит-



Приложение.

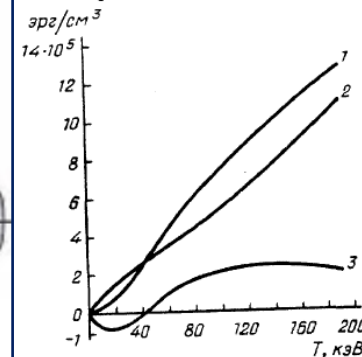


График № 1. 1 — энергия, сообщаемая заряженным частицам, 2 — энергия тормозного излучения, 3 — их разность

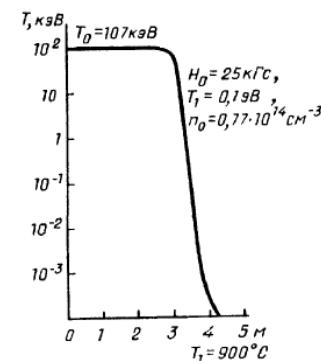
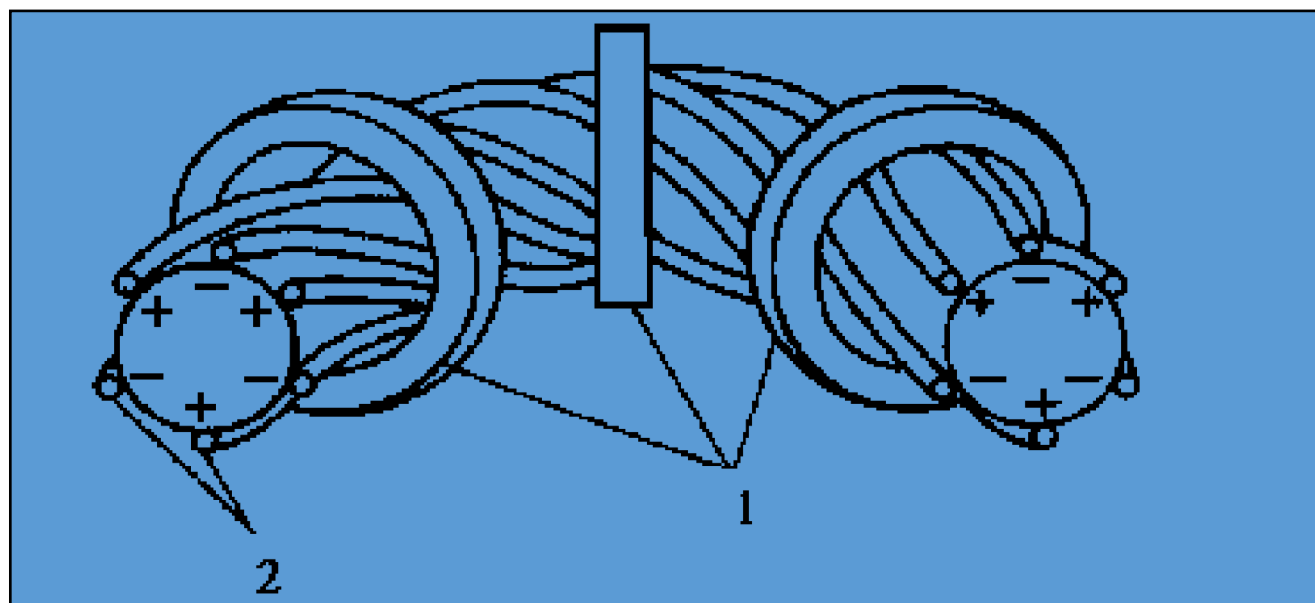
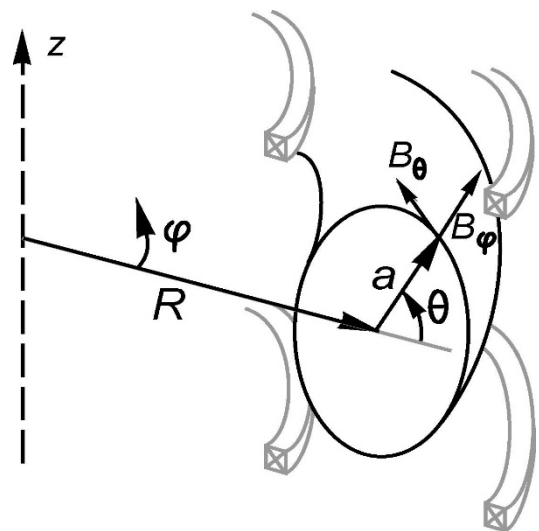
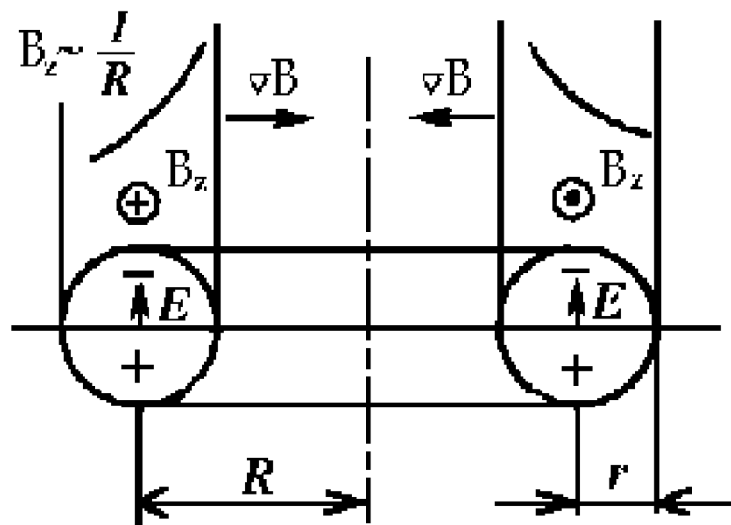


График № 2. Распределение температуры

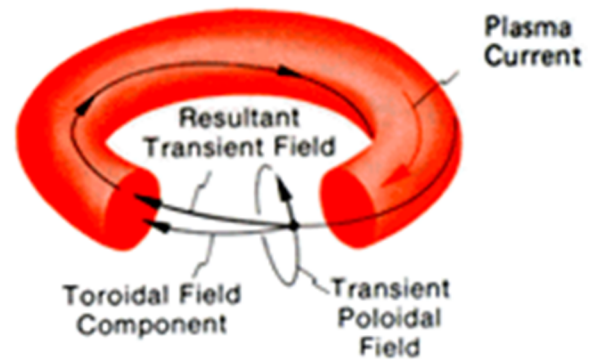
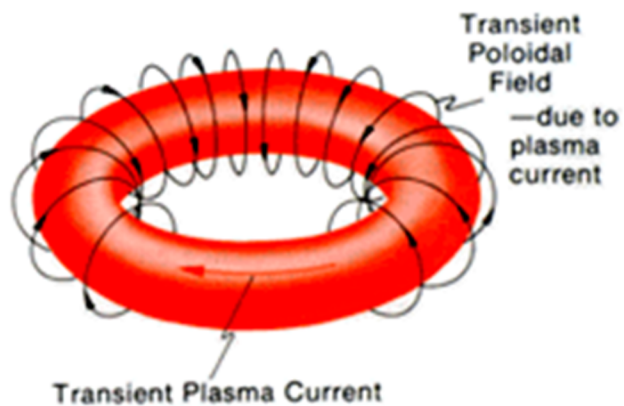
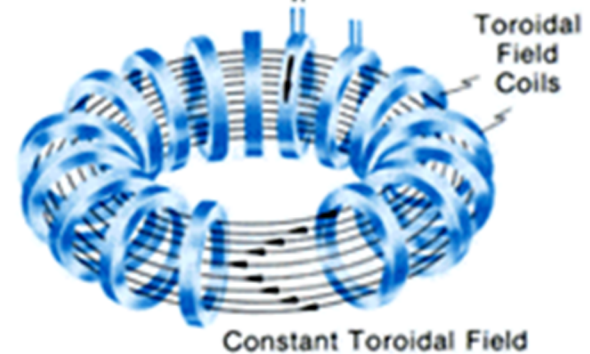
ной силовой линии, обегает ось u в 40 раз чаще, чем осевой ток (ось z). Дивергенция векторного поля скоростей движения центра ларморовской окружности в пренебрежении дрейфом должна быть равна нулю (это утверждение следует из теоремы Лиувилля). На это движение накладывается дрейф. Дивергенция этого векторного поля тоже должна быть равна нулю; поэтому проекции результирующих траекторий на сечение тороида (плоскость x, y) представляют собой замкнутые траектории, смещенные на некоторую величину Δ относительно того положения, которое они занимали бы при отсутствии дрейфа. Оценки дрейфа показывают, что эта величина всегда достаточно мала. Так, для протона с энергией 14 МэВ ($v_0 = 5,2 \cdot 10^9$ см/с) скорость винтового движения $2 \cdot 10^7$, а скорость дрейфа $1,5 \cdot 10^6$ см/с. Отсюда $\Delta \sim 20$ см. Заметим, что в этом случае мы избегаем трудности, связанной с наличием объемных зарядов. Возникает вопрос: как осуществить осевой ток? В настоящее время не ясно, можно ли провести через горячую область тросы, поддерживающие осевое кольцо и подводящие ток, и охлаждающую воду. Не исключено, что может быть создана такая конфигурация защитных полей, например, при помощи пропускания сильного тока по тросам, которая предохранит тросы от попадания на них горячего газа.



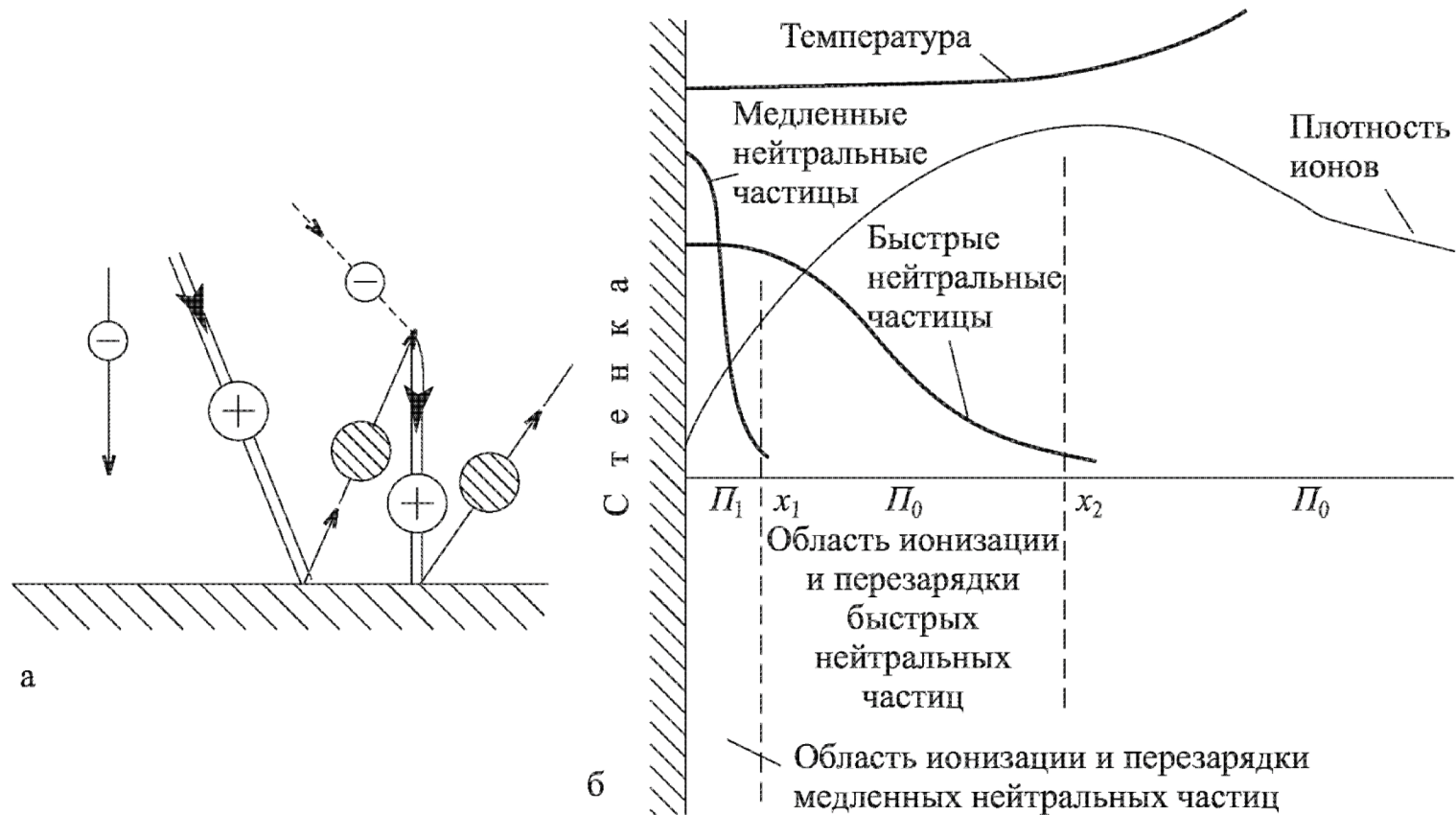
Рис. 4



Relatively Constant Electric Current



Крайові явища в МТР. Рециклінг



Рециклинг: Принципиальная схема рециклинга (нейтральный атом заштрихован) (а); модель рециклинга в магнитном термоядерном реакторе по А. Д. Сахарову (б)

Деякі хронологічні коментарі (2):

- Літо 1950- секретаріат Берії надіслав Сахарову пропозиції О.Лаврент'єва: а) LiH , LiD , б) електростатичне утримання плазми для КТС, с) для цього необхідно зменшити n , але підняти T .
- Серпень 1950 –Сахаров обговорює з Таммом магнітну ізоляцію
- Вересень 1950-звіт про МТР та (що більш важливо) доповідь І. Курчатову
- Жовтень 1950- доповідь 1 ГУ Павлову
- Січень 1951- Курчатов звернувся до КМ (через Берію)

Лист Берії:

"Тов. Ванникову вместе с тт. Курчатовым, Арцимовичем, Головиным и Мещеряковым выехать в КБ-11 и с участием тт. Харитона, Тамма, Сахарова, а также других основных работников КБ, которые могут быть в этом деле полезны, тщательно обсудить предложения тт. Тамма и Сахарова и подготовить проект решения о проведении необходимых научно-исследовательских и экспериментальных работ в направлении, предложенном тт. Таммом и Сахаровым..."

"Кстати сказать, мы не должны забыть студента МГУ⁸ Лаврентьева, записки и предложения которого по заявлению т. Сахарова явились толчком для разработки магнитного реактора (записки эти были в Главке у тт. Павлова и Александрова⁹).

Я принимал т. Лаврентьева. Судя по всему, он человек зесьма способный. Вызовите т. Лаврентьева, послушайте его и сделайте совместно с т. Кафтановым С.В.¹⁰ все, чтобы помочь т. Лаврентьеву в учебе и, по возможности, участвовать в работе. Срок 5 дней."

- 30 січня-3 лютого: серія нарад (з участю Харитона, Курчатова, Боголюбова, Щелкіна, Зельдовича, Арцимовича та ін.)
- Березень: Проект постанови РМ СРСР, декілька серій правок
- 5 травня 1951: підписана Сталіним постанова про початок досліджень керованого термоядерного синтезу в СРСР



СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

от 5 мая 1951 г. № 1463-732сс/оп

Москва, Кремль

О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора.

Придавая важное значение предложению т. Сахарова А. Д. об использовании высвобождаемой энергии легких элементов с помощью магнитного термоядерного реактора (установка "МТР"), Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

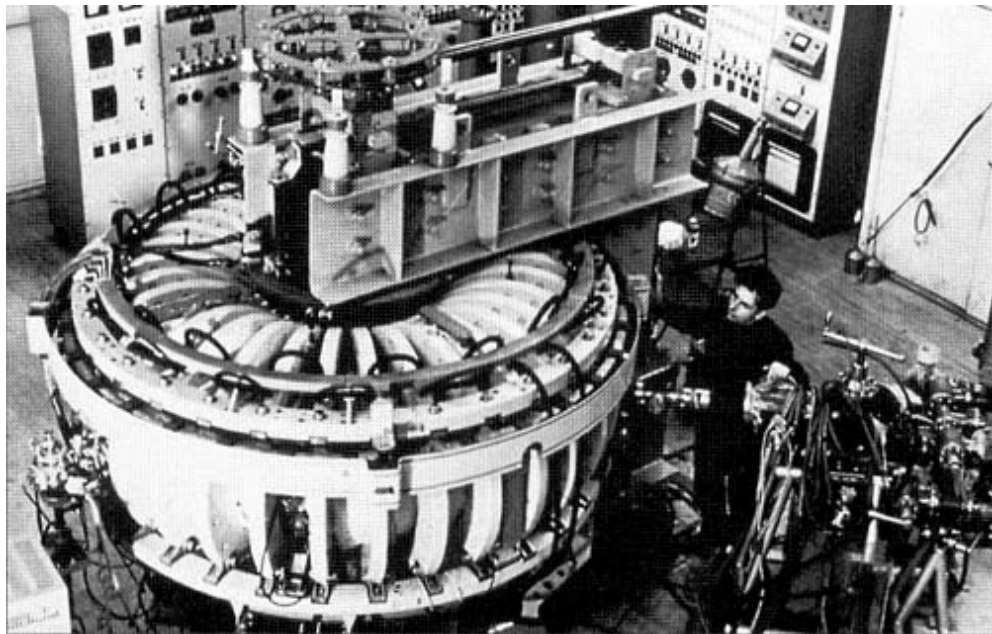
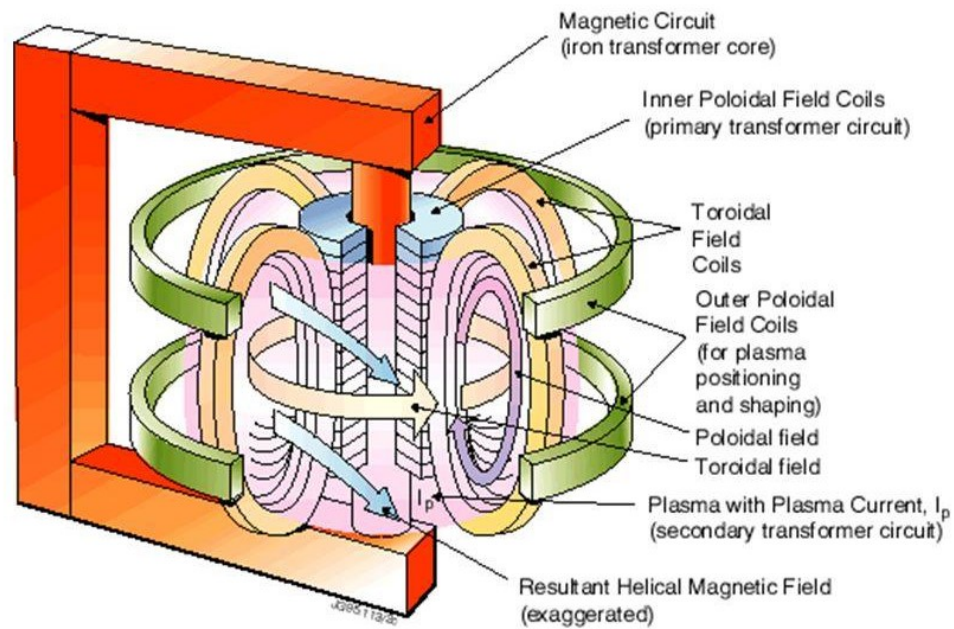
1. Обязать Первое главное управление (т. Ваникова, Завенягина, Курчатова) организовать научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по выяснению возможности получения самоподдерживающейся термоядерной реакции с помощью магнитного термоядерного реактора и обеспечить выполнение следующих работ:

- а) разработки теории процесса газового разряда в магнитном поле;
- б) разработки теории магнитного термоядерного реактора;
- в) изучения процессов ионизации водорода и получения высокой ионной температуры на лабораторных установках;
- г) разработки методов расчёта магнитных систем, схем электрического питания и регулирования, а также методов получения высокого вакуума.

2. Сосредоточить основные научно-исследовательские работы по выяснению возможности создания магнитного термоядерного реактора в Лаборатории измерительных приборов АН СССР.

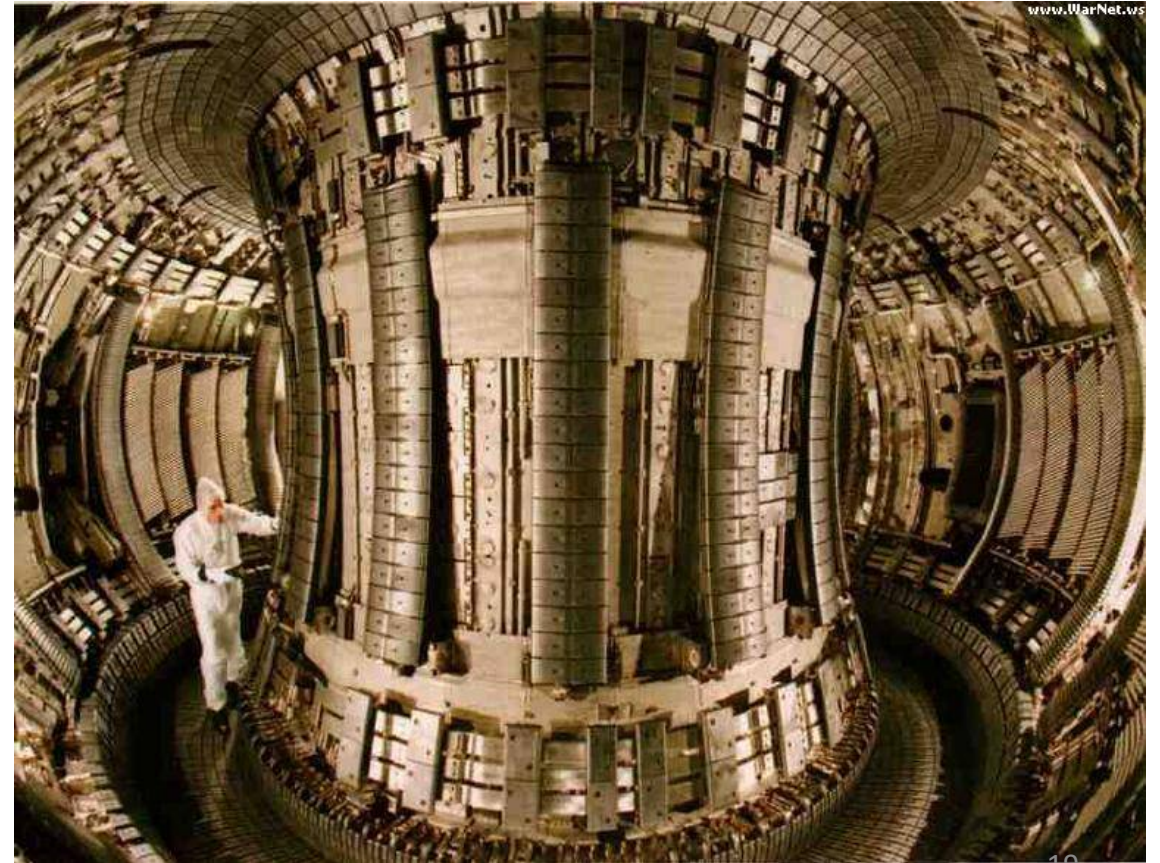
3. Считать необходимым сооружение в Лаборатории измерительных приборов АН СССР в 1952 году большой лабораторной модели магнитного термоядерного реактора, с потреблением мощности около 5000 киловатт, рассчитанной на получение нейтронного излучения.

Доктор фізико-математичних наук (1953 рік). У цьому ж році у віці 32 років обраний дійсним членом Академії наук СРСР, ставши другим за молодим віком на момент обрання академіком в історії АН СРСР (після С. Л. Соболева). Тричі Герой Соцпраці 1954, 1956, 1962. Сталінська премія 1953, Ленінська премія 1956



Перший токамак був побудований в 1954 році, спочатку токамаки існували тільки в СРСР.

В 1968 р., коли в ІАЕ на Т-3 під керівництвом Л. А. Арцимовича була досягнута T_e 1 кеВ (~11,6 млн °С), і англійські вчені зі своєю апаратурою приїхали в СРСР, їх вимірювання на Т-3 підтвердили цей факт, в який спочатку відмовлялися вірити, в світі почався справжній бум токамаків.



“У всякому разі, це гарна фізика” (вираз Фермі з приводу атомної бомби).

А. Сахаров: «Фізика атомного і термоядерного вибуху дійсно "рай для теоретика". Чисто теоретичними методами, за допомогою відносно простих розрахунків можна впевнено описувати, що може статися при температурах в десятки мільйонів градусів – тобто за умов, схожих на ті, які мають місце в центрі зірок. Наприклад, якщо рівняння стану речовини при помірних тиску і температурах не може бути скільки-небудь просто обчислено теоретично, то тут воно виражається простою формулою:

$$P = a\rho T + bT^4$$

Настільки ж прості формули для швидкості термоядерної реакції: наприклад, для реакції $D + T \rightarrow n + He^4$ число актів реакції в одиниці об'єму в одиницю часу :

$$N = (\sigma v)_{DT} n_D n_T$$

(D – дейтон, T – тритон, n – нейтрон 14 MeV, n_D і n_T – концентрації ядер дейтерію та тритію), $(\sigma v)_{DT}$ – середнє значення ефективного перетину реакції помножене на швидкість відносного руху ядер).

«Термоядерна реакція - це таємниче джерело енергії зірок і Сонця в тому числі, джерело життя на Землі і можлива причина її загибелі - вже була в моїй владі, відбувалася на моєму письмовому столі!»

μ каталіз і ідеї А.Д.Сахарова

1948р. Звіт Сахарова «Мю-мезонний каталіз». Поштовхом був запропонований раніше Франком механізм коли мю-мезон виступає в якості каталізатора ядерних реакцій, полегшуючи їх перебіг і не витрачаючись, в повній аналогії з відомими з хімії каталитическими реакціями.

1956 р. Алварез (США), використовуючи пучок мю-мезонів від прискорювача, виявив передбачену Франком реакцію. Спостерігав цю реакцію в сумішах, що містять різні, досить малі кількості дейтерію.

1957р. Стаття А.Д. Сахарова та Я. Б. Зельдовича, де зроблено оцінку ефекту переманювання, в ній було також посилання на розсекречений на той час звіт 1948 року.

1987р, А. Сахаров: «Існують теоретичні оцінки і попередні експериментальні результати, які дають надію, що мю-мезонний каталіз буде одним з рішень проблеми термоядерного синтезу (в "брідерному" варіанті, про який я міркував для магнітно-термоядерного метода вирішення проблеми). Реакція повинна здійснюватися не в рідкій фазі, як я думав в 1948 році, а в великому об'ємі стисненого газу.)

На закінчення: А.Д. Сахаров. Спогади:

«Нажаль, я в подальшому не брав активної участі в роботі над МТР. Дуже скоро теоретичні дослідження далеко переступили той рівень, на якому я перебував в 1950-1951 рр., і я міг би робити тільки суто дилетантські роботи.

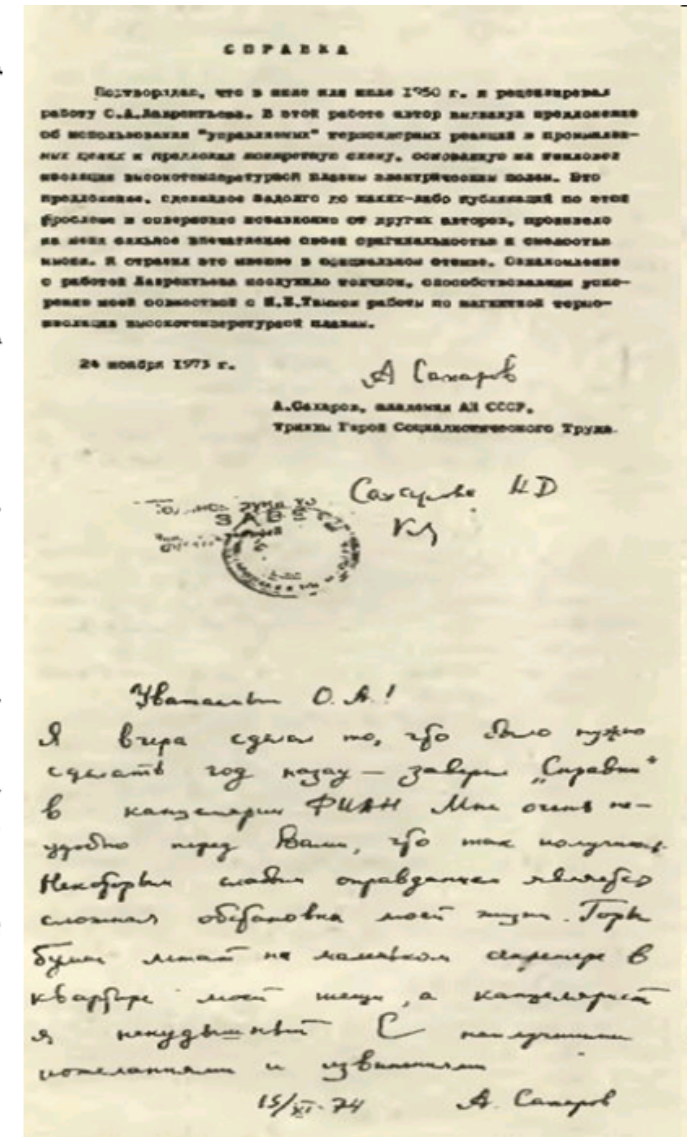
Було знайдено багато типів плазмових нестійкостей і тільки до кінця 60-х років цей потік неприємних відкриттів став вичерпуватися. Одночасно було багато нових винаходів, які створювали враження все більшої свободи. Першим з таких винаходів був, мабуть, "пробкотрон" - лінійна система з магнітними "пробками", винайдена Будкером. Дуже багато винаходів було зроблено в США і в інших країнах, в тому числі стеларатор Спітцера (в 1951 р.), в якому була зроблена спроба здійснити повністю стаціонарний режим. Особливу увагу було приділено способам придушення нестійкостей. Запас ідей і винаходів тут дуже великий, ймовірно ще багатший, ніж запас нестійкостей.

В результаті ініціативи Курчатова всі роботи з керованої термоядерної реакції ведуться зараз у всьому світі відкрито, без засекречування і в тісному міжнародному співробітництві». 22

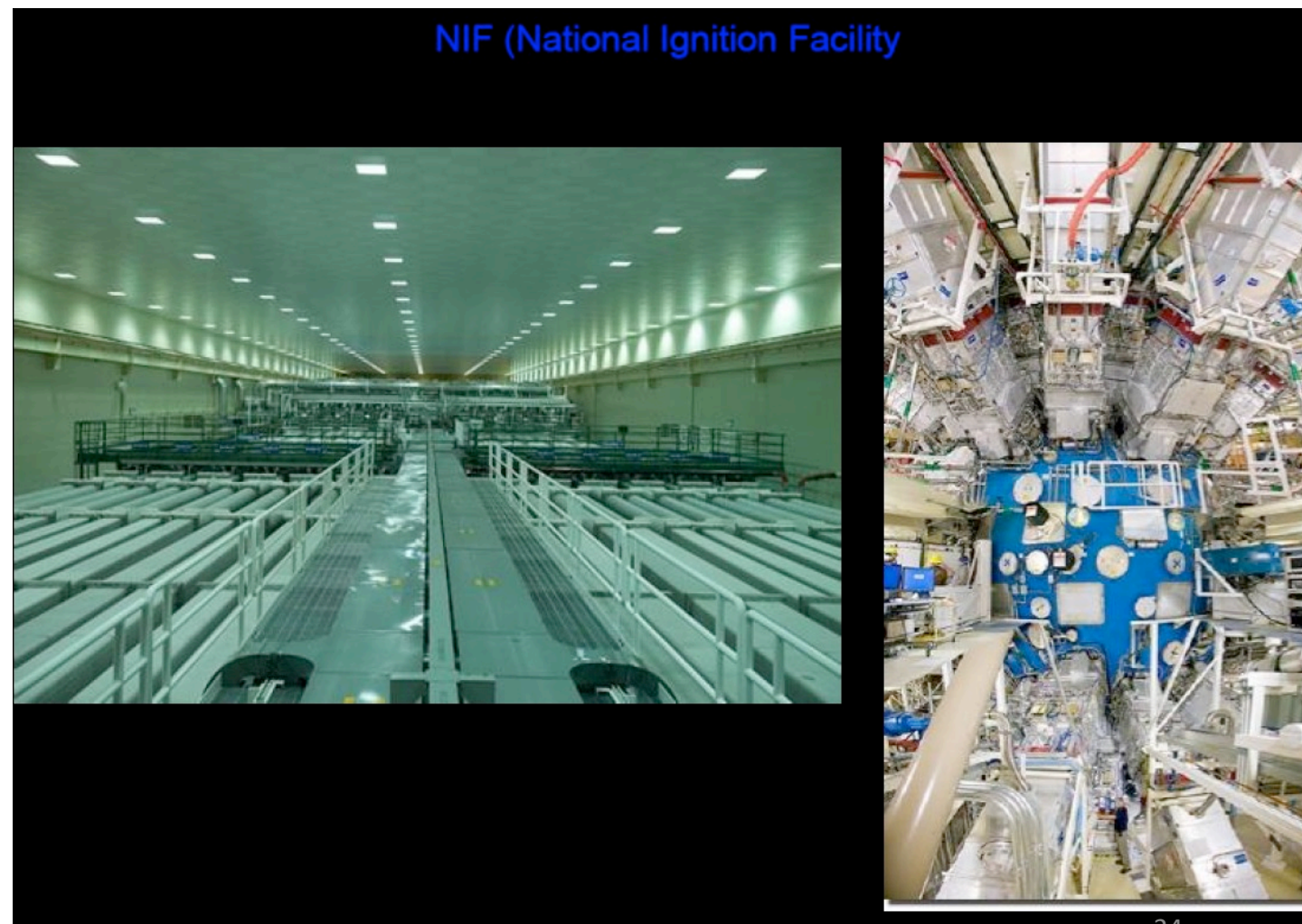
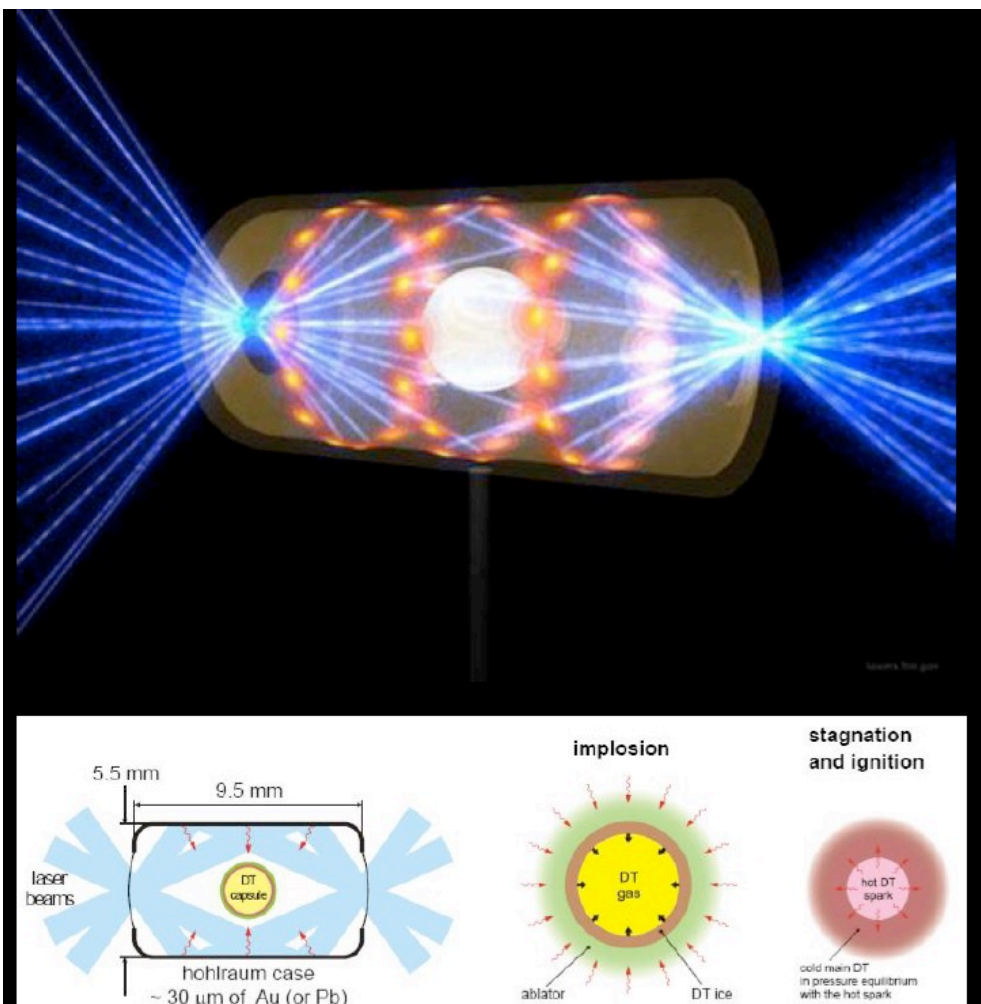


А.Д. Сахаров. Спогади:

«У 1960-1961 рр. я ще раз виступив з пропозицією, що належить до керованої термоядерної реакції. В цей час надійшли повідомлення про створення Майманом в США першого лазера на рубіні. Я виступив на об'єкті з доповіддю, в якій обгрунтовував можливість використання лазера для збудження термоядерної реакції в маленьких кульках, що містять термоядерне паливо, і обтиснених за рахунок гідродинамічних ефектів при імпульсному нагріванні лазерним променем зовнішньої поверхні кульок. У доповіді було дано оцінки необхідних параметрів цих пристроїв. Надалі оцінки були уточнені в серії чисельних розрахунків на ЕОМ, проведених моїми співробітниками (особливо Микитою Анатолійовичем Поповим). В якості можливих областей використання цього принципу я називав енергетику і термоядерні імпульсно-реактивні двигуни космічних кораблів майбутнього».



Інерційний лазерний синтез



Дякую за увагу!



Едвард Теллер та А.Д. Сахаров на 80-річному ювілеї Теллера. Вашингтон, листопад 1988 г.



З'їзд народних депутатів 1989 р. Коли залунав гімн СРСР він не встав-єдиний у всьому залі