

Проект АWAKE в ЦЕРНЕ и токамака Т-15 МД в Сарово (Россия) в свете реальной электродинамики Максвелла

Аннотация: В статье поднимается вопрос о пересмотре классической электродинамики Максвелла и отказе от калибровки Лоренца. Авторы проектов АWAKE и устройства для термоядерного синтеза токамака Т-15 руководствуются в своих расчетах классической электродинамикой Максвелла, отличной от реальной электродинамики. В Курчатовском институте, после 60 лет бесплодных и очень затратных усилий, поняли бесперспективность дальнейших попыток длительного удержания плазмы при температуре миллионы градусов с помощью замкнутой магнитной ловушки и перешли к реализации нового гибридного токамака Т-15МД, в котором при значительно более низкой температуре, совмещаются ядерная и термоядерная энергетика.

Ключевые слова: протон, электрон, векторное поле, скалярное поле, продольная сила, поперечная сила, токамак

1. Вступление

В ЦЕРН впервые в мире экспериментально доказали: ускорение пучка электронов в плазме с помощью протонного драйвера возможно. В интервью руководителя проекта АWAKE Эдды Гшвентер ««Это фантастика»: новый метод ускорения частиц работает», (сентябрь 2018) дается объяснение сути поставленного эксперимента: «При классической схеме пучок электронов в коллайдере ускоряется под воздействием электромагнитного поля. В нашем эксперименте в плазме летит пучок протонов, он создает волну и тем самым обеспечивает ускорение летящего следом пучка электронов, это называется кильватерным ускорением. Пучок электронов с энергией 19 МэВ пролетел в плазме десять метров и увеличил энергию до 2 ГэВ, то есть более чем в 100 раз. Это значит, что был достигнут средний темп ускорения — 200 МэВ/м.» [1]. Эксперимент проводила коллаборация АWAKE, от России в нем принимал участие Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (ИЯФ СО РАН). В будущем ученые надеются, что новый метод позволит существенно уменьшить размеры коллайдеров, ведь сейчас по этому параметру ускорители достигли своего предела. Протонные пучки, генерируемые Большим Адронным Коллайдером (БАК), будут использоваться в первых новых мини-ускорителях частиц. Эдда Гшвентер указывает на то, что энергия пучка протонов очень большая — она составляет килоджоуль, — поэтому очень выгодно использовать его в качестве драйвера. В других экспериментах, например BELLA, в качестве драйвера используют лазер, его энергия намного меньше, всего несколько джоулей. Однако, использование заряженных протонов в качестве драйвера для ускорения электронов, по сравнению с фотонами имеет и еще одно преимущество. Оно заключается в появлении электродинамической продольной силы, позволяющей эффективно ускорить поток электронов при движении пучка протонов. Это силовое электромагнитное взаимодействие может характеризоваться величиной изменения потенциала \bar{A} и волновой функции частицы. Взаимодействие было обнаружено в 1956г. в экспериментах Аронова-Бома, при этом электроны, движущиеся поперек бесконечно длинного соленоида при включенном электрическом токе, испытывают отклонение траектории, несмотря на то, что за пределами соленоида магнитное поле при классическом его определении равно нулю ($\mathbf{H}=0$). Профессор Р.Фейнман объясняет этот эффект взаимодействием частицы с векторным потенциалом \mathbf{A} [2]. Экспериментально обнаруженное явление силового взаимодействия движущихся электронов с полем векторного потенциала \mathbf{A} в опытах Аронова-Бома, было подтверждено и в более поздних экспериментах японских ученых в 1984 [3]. В ходе экспериментов было обнаружено изменение фазы волновой функции движущегося заряда при отсутствии и наличии в исследуемом пространстве поля векторного потенциала \mathbf{A} , при полном отсутствии в этом пространстве магнитного поля \mathbf{H} . Положительные результаты экспериментов соответствовали только

однозначной величине векторного потенциала \mathbf{A} , сопоставляемой с однозначными же параметрами элементарного тока. Изменение фазы волновой функции векторным потенциалом \mathbf{A} определяется выражением:

$$\Delta\varphi = q/\hbar \int \mathbf{A} ds, \quad (1)$$

где интеграл берется вдоль траектории движения частицы. Эксперимент Ааронова-Бома заставляет пересмотреть устоявшиеся представления об одних поперечных магнитных силах Лоренса и признать наличие продольных сил магнитного взаимодействия. Существование электродинамической продольной силы подтверждается не только эффектом Ааронова-Бома, но и кильватерным ускорением потока электронов в коллайдере пучком релятивистских протонов. Механизм этого кильватерного ускорения пучком заряженных протонов отличается от кильватерного ускорения электронов лазерным излучением. Для объяснения природы электродинамической продольной силы необходимо пересмотреть уравнения электродинамики Максвелла. Максвелл ошибочно применил теорему Остроградского-Гаусса не только для покоящихся зарядов, но и для движущихся (теорема Гаусса является одним из уравнений Максвелла). В результате этого произвольного предположения динамическое состояние движущихся электрических зарядов просто заменяется их статическим состоянием. Закон Кулона справедлив только для неподвижных зарядов [4]. Не инвариантность уравнений электродинамики связана с предположением о реальности существования квантового вакуума (темной материи) и с существованием эффектов запаздывающих потенциалов и деформаций электрического поля движущихся зарядов в поляризованной среде. Полная инвариантность уравнений электродинамики допустима только в абсолютно пустом пространстве СТО Эйнштейна.

2. Новая Электродинамика

2.1 Парадоксы и противоречия в классической электродинамике Максвелла

Еще в начале 20-ого века стало ясно, что электродинамика Максвелла требует пересмотра и дальнейшего совершенствования. Но прошло более 100 лет, а эта задача не выполнена и сегодня. В результате уравнения Максвелла оказались отделены от исходной модели среды, в которой токи проводимости и смещения играли вполне определенную физическую роль. С этого момента электродинамика Максвелла лишилась практически любой возможности своего дополнения, изменения и совершенствования. В настоящее время в электродинамике накопилось много противоречий и парадоксов, которые в рамках теоретических представлений не имеют объяснения. Вот некоторые из них:

- Парадоксальна роль токов смещения в индукции магнитного поля движущегося заряда, поскольку в электродинамике господствует представление об индукции магнитного поля только токами переноса $\mathbf{j}_p(\mathbf{r}) \neq 0$:

$$\text{rot}\mathbf{H} = 4\pi/c \mathbf{j}_p, \quad \text{div}\mathbf{H} = 0 \quad (2)$$

Что такое токи смещения? Максвелл называл составляющую $\mathbf{j}_{см} = 1/4\pi (d\mathbf{E}/dt)$ в своих уравнениях «током смещения», имея в виду, что электрическое поле создается в светоносном эфире за счет относительного движения (поляризации) составляющих его разноименно заряженных частиц, образующих диполь. С одной стороны токи смещения представляют собой физическую реальность, так как без них невозможно понять работу простейшего конденсатора, с другой токи смещения – это математическая формальность, с помощью которой оказывается возможным сделать уравнения Максвелла симметричными. С одной стороны магнитные свойства токов смещения принимаются эквивалентными магнитным свойствам токов переноса, с другой стороны магнитные поля движущихся зарядов определяются почему-то, только токами переноса, как будто токи смещения при этом отсутствуют [5];

- Парадоксально, но уравнения Максвелла в своей дифференциальной форме оказываются не приемлемыми для описания явления электромагнитной индукции при работе обычного трансформатора, так как вихревые электрические поля $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ индукции, в пространстве около трансформатора, индуцируются вне зависимости от наличия в этом же пространстве изменяемых во времени магнитных полей $\mathbf{H}(\mathbf{r})$, т.е. при условии: $d\mathbf{H}/dt = 0$. Другими словами, для любой точки пространства \mathbf{r} около трансформатора для дифференциальных уравнений Максвелла,

индукция вихревого электрического поля E должна вообще отсутствовать. Однако, реальность существования магнитных полей в электрически восприимчивой среде (ϵ_0, μ_0) для любой точки пространства около обмотки намагничивания первичного контура легко установить, поместив в это пространство обмотку намагничивания второго замкнутого контура. В результате магнитного взаимодействия с первичным полем, во вторичном контуре генерируется энергия, которую можно зарегистрировать. Этот эффект физик-изобретатель Андрей Мельниченко использовал для создания своего «трансгенератора» с КПД > 100% , работающего вопреки всем законам как классической электродинамики Максвелла, так и квантовой электродинамики. В статье «И все-таки она светится» А.Мельниченко описывает простой опыт с двумя лампочками ясно и зримо показывающий, что «энергия вторичного магнитного поля, снимаемого с одного или нескольких вторичных контуров с ферритовыми сердечниками, отделенными от первичной обмотки диэлектриком, дает существенную прибавку к электроэнергии, получаемой от источника тока» [5]. При замыкании первичного контура, в нем загорается лампочка, точно такая же лампочка загорается и во вторичном контуре, отделенном от первичного небольшим промежутком, но горит она без всяких затрат энергии первичного контура. Дополнительную «даровую» энергию в «трансгенераторе» Андрей Мельниченко объясняет возмущениями среды в пространстве между ферромагнитными сердечниками с обмотками, разделенными относительно небольшими зазорами из диэлектрика (2-3мм.). Ферритовые сердечники, помещенные в это поле, усиливают электромагнитные характеристики среды (ϵ, μ) за счет резонансной спиновой поляризации доменов. Замена ферритовых сердечников на сердечники из электротехнической стали может усилить эффект генерации тока во вторичном контуре в десятки раз, поскольку в ферритах электромагнитная индукция достигает не более 0,4 – 0,5 Тл, а в электротехнической стали магнитная индукция достигает 1,5 – 2 Тл и более. Это подтверждают эксперименты А.Мельниченко. Кроме того, значение энергии вторичного магнитного поля сильно зависит от размера зазора между сердечниками и формой самого сердечника, поскольку оно связано с внешним слоем активной зоны и краевыми эффектами, в которых вакуум (темная материя) играет решающую роль. Здесь мы видим связь с эффектом Казимира, но эффект разделения магнитных полей и генерации энергии с участием квантовой модели вакуума не был полностью исследован. Расстояние между пластинами, на которых заметно влияние силы Казимира, составляет $r \approx 10^{-9}$ м., а расстояние, на котором взаимодействуют разделенные магнитные поля, составляет $r \approx 10^3$ м. Это указывает на то, что поляризация вакуума под действием магнитного момента превышает поляризацию вакуума под действием электрического. В работе [6] получено следующее соотношение между влиянием магнитных ($F_m = 2I^2 / c^2 r$) и электрических ($F_d = F_c$) сил на поляризацию вакуума:

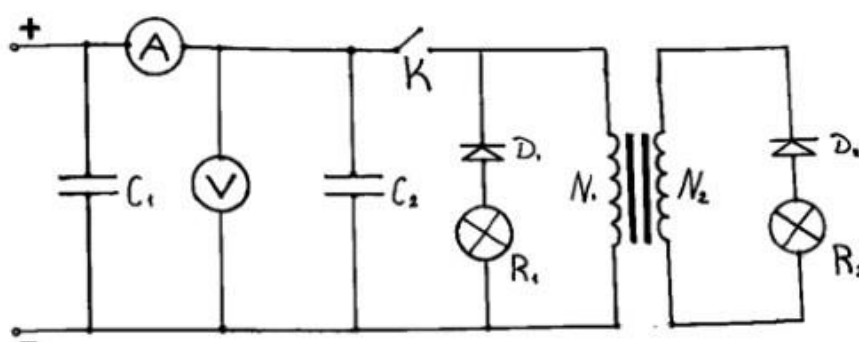
$$\frac{F_m}{F_c} \approx \frac{8e^2 r^3}{3\mu_0^2 v^2} 10^{-24} \approx 10^2, \quad (3)$$

$F_m > F_c$ при $r^3/v^2 < 10^{-24} \text{ м} \cdot \text{с}^2$, где v - скорость электрона проводимости.

Этот эффект, частично описанный Майклом Фарадеем двести лет назад, в наше время может послужить толчком для создания принципиально новой электротехники на основе работ российского физика Андрея Мельниченко (рис 1) [6].



Установка в работе. На переднем плане различные (по обмоткам и зазорам) варианты трансгенераторов магнитного поля



Электрическая принципиальная схема эксперимента

$C_1=C_2=6000$ мкФ:

R_1, R_2 — лампы накаливания

$R_1=100$ Вт, $U_{ном}=36$ В

$R_2=60$ Вт, $U_{ном}=36$ В

Лампы R_1 и R_2 работают в режиме перенакала, $R_1=110-115$ Вт, $R_2=70-73$ Вт

K — управляющий транзистор

D_1, D_2 — блокирующие диоды

N_1, N_2 — обмотки

$N_1=50-70$ витков

$N_2=100-170$ витков

Зазор между N_1 и $N_2 \sim 1,5-2,5$ мм

Рисунок 1. Установка А.Мельниченко в работе

- Опираясь на факт реального существования токов смещения $j_{см}$ в физической среде около движущегося заряда $j_{см} = 1/4\pi \partial E/\partial t$, сотрудник Томского политехнического Университета Г.В. Николаев, установил функциональную взаимосвязь этих токов с индуцируемыми ими магнитными полями:

$$\begin{aligned} H_{\perp} &= 1/C \int 2j_{см} \parallel / r_0 = 1/C \int ev/r^2 \sin\varphi, \\ H_{\parallel} &= 1/C \int 2j_{см}^{\perp} / x_0 = 1/C \int ev/r^2 \cos\varphi, \end{aligned} \quad (4)$$

где:

$$\begin{aligned} j_{см} \parallel &= \int s_0 j_{см} \parallel dS, \\ j_{см}^{\perp} &= \int s \sigma j_{см}^{\perp} dS, \\ (j_{см} &= j_{см} \parallel + j_{см}^{\perp}) \end{aligned} \quad (5)$$

Поверхность S_0 ограничивает аксиальный поток тока смещения $j_{см} \parallel$. На ее внешней поверхности определяется напряженность магнитного поля H_{\perp} .

Поверхность $S\sigma$ ограничивает радиальный поток тока смещения $j_{см}^{\perp}$. На ее внешней поверхности определяется напряженность магнитного поля H_{\parallel} [5];

Формализм поля векторного потенциала A оказывается хорошо применим для описания явления электромагнитной индукции тока в проводнике вне сердечника трансформатора, ибо вне сердечника при условии $dH/dt = 0$ реализуется условие $dA/dt \neq 0$.

Г.В. Николаевым, через однозначную величину векторного потенциала \mathbf{A} , движущегося заряда e_0 , при ($v \ll c$) $\mathbf{A} = ev/cr$, в пространстве около него, экспериментально было обнаружено два типа магнитных полей :

$$\text{векторного } \mathbf{H}_T = \text{rot}\mathbf{A} \quad (6)$$

$$\text{скалярного } \mathbf{H}_p = -\text{div}\mathbf{A} \quad (7)$$

и продольная сила магнитного взаимодействия, отличная от поперечных сил Лоренца[5];

- Сам Максвелл указывал на наличие трудностей с применением своих уравнений к незамкнутым электрическим токам и отдельным элементам тока. Трудности эти заключаются в том, что для незамкнутых токов одна, не равная нулю пространственная производная $\text{rot}\mathbf{A} = \mathbf{H}$ векторного потенциала \mathbf{A} , уже не может определять его полностью. Обнаруживается существование еще другой, не равной нулю, пространственной производной $\text{div}\mathbf{A} \neq 0$ этого же векторного потенциала \mathbf{A} . В общем случае векторный потенциал \mathbf{A} можно представить в виде суммы вихревой и потенциальной компонент $\mathbf{A} = \mathbf{A}_g + \mathbf{A}_p$. Оказывается, что прямолинейный бесконечный ток не создает скалярного магнитного поля, а элемент тока конечной длины создает как векторное магнитное поле $\mathbf{H}_g = \text{rot}\mathbf{A}_g$, так и скалярное магнитное поле $\mathbf{H}_p = -\text{div}\mathbf{A}_p$. Поскольку изолированный элемент тока трудно себе представить, так как для этого необходимы исток и сток зарядов, представляет интерес конфигурация полей в более реальном случае замкнутых токов, в частности для этих целей может служить тороид или «бублик» токамака [7];

- Как известно, в случае движения заряженной частицы в плоском конденсаторе с приложенным постоянным напряжением возникает классическое равноускоренное движение $x = at^2$. В УТК профессор Л.Сапогин обнаружил такое же решение и для уравнения с осциллирующим зарядом. Более того, он показал, что и для уравнения Шредингера возникает физически похожее решение [8]. Пусть потенциал в уравнении Шредингера равен $U(x) = rx$. Тогда полное уравнение Шредингера примет вид:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi(x,t)}{dx^2} - rx\Psi(x,t) + i\hbar \frac{d\Psi(x,t)}{dt} = 0 \quad (8)$$

Будем искать решение этого уравнения в виде:

$$\Psi(x,t) = b \exp\left(i \frac{m\alpha^2 t^2}{2\hbar} - i \frac{m\alpha x}{\hbar}\right) \quad (9)$$

Такой вид волновой функции обусловлен тем, что скорость в энергии $\hbar\omega = mv^2/2$ и импульсе $\hbar k = mv$ была заменена на $v = at$. Подставляя (9) в (8) получим:

$$-2m\alpha^2 t^2 + (m\alpha - r)x = 0 \quad (10)$$

Равенство удовлетворяется при:

$$x = \frac{2m\alpha^2}{m\alpha - r} t^2 \quad (11)$$

Если в (11) наложить требование $r \rightarrow 0$ (отсутствие потенциала), то возникает частное решение, в котором частица может двигаться с постоянным ускорением $2a$, генерируя энергию неизвестно откуда. Это явление остается, если даже потребовать $r \rightarrow 0$ непосредственно в уравнении (8) [8].

Нечто подобное происходит и в классической электродинамике. Если при ускорении заряда учитывать также силу его воздействия самого на себя, то возникает сила торможения излучением или сила лучистого трения Планка. Она пропорциональна третьей производной координаты x по времени и экспериментально давно обнаружена. Если записать уравнение движения заряда в отсутствии внешних полей (действие поля заряда само на себя), то будем иметь следующее уравнение движения:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{2e^2}{3c^3} \frac{d^3x}{dt^3} \quad (12)$$

Легко видеть, что это уравнение, кроме понятного частного решения $v = dx/dt = \text{const}$, имеет общее решение, в котором ускорение частицы α оказывается неограниченно экспоненциально возрастает со временем по абсолютно неизвестной причине [8]:

$$\alpha = \frac{d^2x}{dt^2} = C \exp\left[\frac{3mc^3 t}{2e^2}\right] \quad (13)$$

Л.Ландау и М.Лифшиц в своей классической книге «Теория поля» по этому поводу пишут следующее: «Может возникнуть вопрос о том, каким образом электродинамика, удовлетворяющая закону сохранения энергии, может привести к абсурдному результату, в котором свободная частица неограниченно увеличивает свою энергию. Корни этого находятся в бесконечной электромагнитной «собственной массе» элементарных частиц» [9]. Я позволю себе, не согласится с классиками. В новой физике признание квантового вакуума (темной материи) в теориях квантовой электродинамики (КЭД) и квантовой хромодинамики (КХД) приводит к нарушению симметрий, законов сохранения и запретов в Стандартной модели.

2.2 Модернизация классической электродинамики Максвелла

Модернизация уравнений электродинамики Максвелла базируется на постулировании дополнительного магнитного поля, которое порождает силу, отличную от поперечных сил Лоренца и действует вдоль направления протекания тока в плазменном шнуре коллайдера.

Выражение для плотности потока электромагнитной энергии имеет вид:

$$\mathbf{S} = (\mathbf{E} \times \mathbf{H}_r) + (\mathbf{E} \times \mathbf{H}_p) \quad (14)$$

Генерация продольного взаимодействия происходит при изменении элемента тока, который порождает не только вихревое магнитное поле, но и скалярное магнитное поле. Изменение скалярного магнитного поля эквивалентно образованию электрических зарядов, изменение которых, в свою очередь, порождает потенциальное электрическое поле. Продольная волна распространяется вдоль оси торойда в плазменном шнуре коллайдера. Опираясь на результаты экспериментов [10], предлагается отказаться от калибровки Лоренца, а вместо этого принять выражение для плотности потока электромагнитной энергии в виде:

$$\mathbf{S} = -\operatorname{div} \mathbf{A} - \lambda \varepsilon_0 \mu_0 d\phi/dt \quad (15)$$

Очевидно, введенные таким образом потенциалы допускают значительную гибкость в использовании уравнений Максвелла. В классическом случае полагается $\mathbf{S} = 0$. При использовании калибровки (15) при $\lambda=0$ получается кулоновская калибровка, а при $\lambda=1$ имеем калибровку Лоренца. Если не предполагать равенства нулю выражения для \mathbf{S} , то при $\lambda=0$ скалярное поле приобретает смысл нового продольного магнитного поля. Дальнейшие преобразования производятся стандартным образом, что в итоге позволяет получить следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} d\mathbf{E}/dt - \operatorname{rot} \mathbf{H} - \operatorname{grad} S &= 0, \\ d\mathbf{H}/dt + \operatorname{rot} \mathbf{E} &= 0, \\ \operatorname{div} \mathbf{E} - dS/dt &= 0, \\ \operatorname{div} \mathbf{H} &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Для простоты восприятия уравнений (16) рассмотрен случай отсутствия токов и зарядов и принято $\varepsilon_0 = \mu_0 = 1$ [7].

Продольные электромагнитные волны, существующие в ограниченных структурах (типа волноводов) или в материальных средах (плазме) предлагается назвать продольной электромагнитной E-волной [7]. Это такая волна, у которой напряженность магнитного поля равна нулю, а вектор напряженности электрического поля направлен вдоль направления распространения плотности потока энергии. Это некоторая скалярная функция $\mathbf{S}_{E//} = \alpha \mathbf{E}$, где $\alpha = \alpha(x, y, z, t)$. Аналогично определяется продольная H-волна, порождающая поток энергии $\mathbf{S}_{H//} = \beta \mathbf{H}$. Дифференциальные уравнения для обобщенного электромагнитного поля могут быть получены из представлений о векторе Пойнтинга. Вектор Пойнтинга для электромагнитной волны общего вида, включающего как обычные поперечные моды, так и продольно поляризованные моды, может быть представлен в виде:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} + \alpha \mathbf{E} + \beta \mathbf{H} \quad (17)$$

Соответствующая этому вектору плотность энергии выражается в виде:

$$W = 1/2 (\mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2) + W_{E//} + W_{H//} \quad (18),$$

где $W_{E//}$ и $W_{H//}$ - дополнительные энергии.

Строгий вывод выражения для дополнительных энергий и дифференциальные уравнения для обобщенного электромагнитного поля приведены в работе [7].

Профессор В.Аксенов в статье [11] предлагает еще одну модификацию уравнений Максвелла с несилловыми электромагнитными полями для тороидальных электрических токов, без учета токов смещения. Модифицированное уравнение Аксенова пролило свет на проблему скин-эффекта в несилловых магнитных полях [11].

3. Реальная электродинамика токамаков

Токамак представляет собой замкнутую тороидальную камеру с магнитными катушками, предназначенную для магнитного удержания плазмы с целью достижения условий, необходимых для протекания управляемого термоядерного синтеза. Для создания магнитной ловушки используется комбинация магнитных полей: сильного тороидального поля \mathbf{B}_T и более слабого (в сто раз) полоидального поля \mathbf{B}_p , а также поля \mathbf{B}_i тока I , протекающего по плазменному шнуру (Рисунок 2).

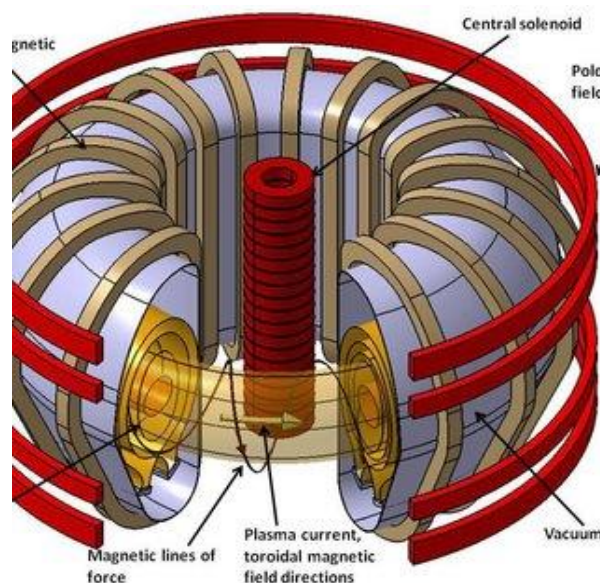


Рисунок 2. Закрытая плазменная ловушка (токамак).

Наличие \mathbf{B}_i необходимо для стабильного удержания плазмы. Считается, что плазма устойчива в токамаке, если выполняется критерий Шафранова – Крускаля:

$$\mathbf{B}_T / \mathbf{B}_i > R/\alpha \quad (19)$$

где R - радиус окружности плазменного кольца,

α – радиус поперечного сечения плазменного шнура.

Однако, работы главного научного сотрудника Сибирского отделения РАН профессора В.В.Аксенова [11,12], позволили установить, что сложная конфигурация силовых линий магнитного поля внутри токамака отличается от тороидальной, в результате чего частицы горячей плазмы в «бублике» токамака устремляются по силовым линиям магнитного поля произвольной топологии к стенкам токамака и разрушают его. В токамаке при попытке удержать сильно нагретую проводящую плазму используется сильное тороидальное магнитное поле внутри «бублика» токамака. Согласно развитой профессором В.В.Аксеновым электродинамики, магнитное поле внутри токамака подчиняется следующим уравнениям:

$$\mathbf{H}_T = \nabla \times (\mathbf{Q}\mathbf{r}), \quad \mathbf{H}_p = \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Q}\mathbf{r}),$$

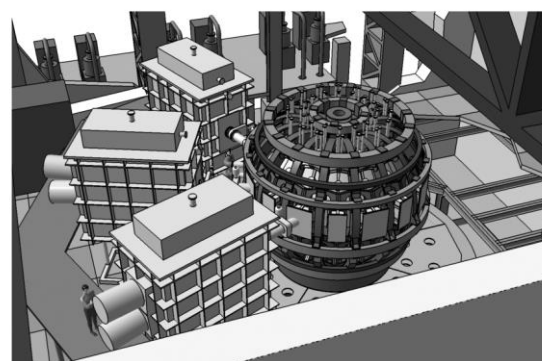
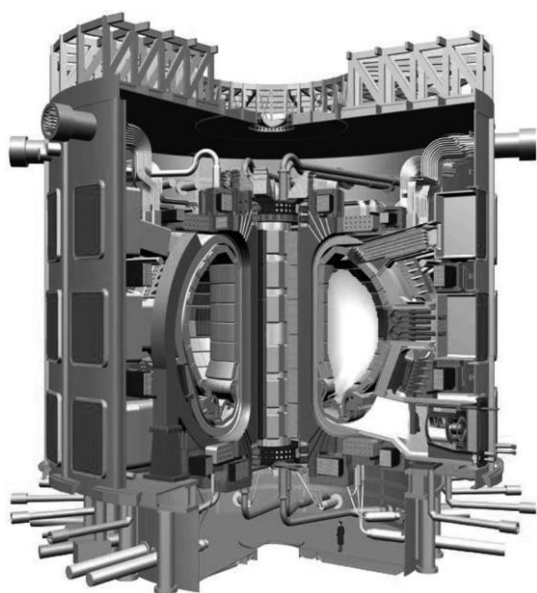
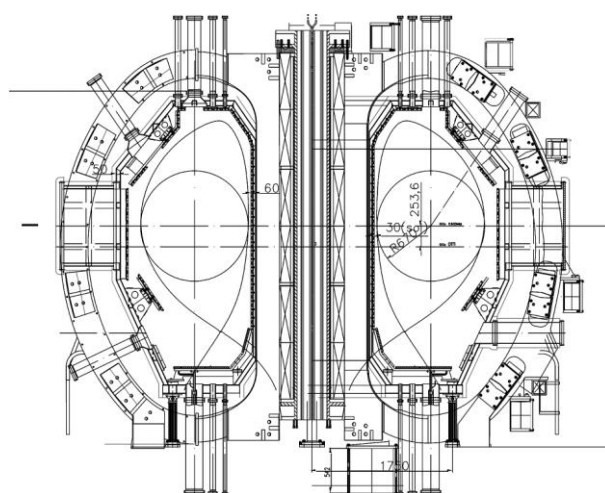
$$\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p, \quad \nabla \times \mathbf{H}_p = \chi \mathbf{H}_T \quad (20)$$

при этом, эффект самогенерации сильным тороидальным магнитным полем \mathbf{H}_T полоидального магнитного поля \mathbf{H}_p и наоборот возможен только в проводящей среде, когда параметр $\chi \neq 0$ [11]. Здесь Q – скалярная функция трех или четырех переменных, если учесть временную зависимость, а \mathbf{r} – радиус-вектор. Вихри несиллового тороидального магнитного поля создают силовое полоидальное магнитное поле и наоборот. Это один из вариантов так называемого динамо-возбуждения магнитного поля. Чем напряженнее тороидальное магнитное поле, создаваемое обмотками тороида, а оно в токамаке достигает 3-5 Тл, тем интенсивнее будет

созданное им дополнительное полоидальное магнитное поле. Фактически происходит самовозбуждение и бесконтрольное нарастание магнитного поля различной топологии, отличной от тороидальной, за счет самого магнитного поля внутри токамака, при появлении в нем проводящей плазмы. Это приводит к неконтролируемой неустойчивости плазменного шнура. Процесс самовозбуждения будет нарастать практически мгновенно за счет взаимной генерации выше упомянутых магнитных полей. При этом с ростом температуры внутри токамака скорость диффузии также будет нарастать за счет падения проводимости в плазменном шнуре и роста полоидального поля внутри токамака. Изложенный выше подход к описанию электродинамики в токамаке требует более тщательного анализа с привлечением уравнения Больцмана, описывающего поведение частиц плазмы при повышении температуры в сложном магнитном поле, отличном от тороидального, возникающего в токамаке из-за самовозбуждения. В.В. Аксенов провел оценку самовозбуждения в большой модели МТР (Рис.3 ТМ-15 а) согласно своим уравнениям (20) электродинамики. Результаты выглядят следующим образом [11]:

Если принять $\nabla^* \approx 1/L$, где L – линейный размер плазменного шнура внутри токамака, то $(1/L) \cdot \mathbf{H}_p \approx (\gamma/\eta) \cdot \mathbf{H}_t$, $(1/L) \cdot \mathbf{H}_t \approx \mathbf{H}_p$ (21)
 где γ – скорость диффузии поля в плазме тора,
 η – магнитная вязкость

a



b

Полоидальный разрез реактора ИТЭР

Поперечный разрез Токамака ТМ-15 (а)

Рисунок 3

Пусть малый радиус плазменного шнура $R = 2\text{м}$, тогда $L = 2\pi R = 4\pi \text{ м}$, а напряженность тороидального магнитного поля $|\mathbf{H}_t| = 5\text{Тл}$. Возбуждаемая тороидальным магнитным полем напряженность дополнительного полоидального магнитного поля будет порядка $|\mathbf{H}_p'| = 5/4\pi\text{Тл} \sim 0,4\text{Тл}$. При этом оценка скорости диффузии по первоначальным магнитным полям следующая:

$$\gamma = (\eta/L)(|\mathbf{H}_p|/|\mathbf{H}_t|) \quad (22)$$

Дополнительное тороидальное магнитное поле будет прирастать на величину

$$\mathbf{H}_t' = (\eta/L\gamma) \mathbf{H}_p' = (\mathbf{H}_t/\mathbf{H}_p) \mathbf{H}_p' \quad (23)$$

В работе [11] взаимная генерация силовых и несиловых магнитных полей оформляется В.Аксеновым в строго математических формулах, а возникновение этих полей определяется

теоремой о полных электрических токах в сферических областях. Все вышеизложенное указывает на ошибочность сосредоточение исследований только на магнитных полях и отказа от изучения электрических токов при расчете электродинамики токамаков. В Курчатовском институте, после 60 лет бесплодных и очень затратных усилий, наконец поняли бесперспективность дальнейших попыток создания токамака, используя синтез легких ядер дейтерия и трития, реализуемой на солнце термоядерной реакции $1^2\text{H} + 1^3\text{H} \rightarrow 2^4\text{He} + 0^1\text{n} + 17,6 \text{ [МэВ]}$, при температуре в сотни миллионов градусов. В городе Саров завершает модернизацию токамака Т-15 – прототипа будущих гибридных реакторов, сейчас термоядерщики ждут ключевые элементы нового токамака Т-15МД: вакуумной камеры с уже смонтированной магнитной системой. Хотя проект называется модернизацией, по сути это будет первая за последние 20 лет новая термоядерная установка в России. Гибридный токамак Т-15МД будет работать на тории, который стоит дешевле, а запасы его больше, чем у урана. Основное его отличие от термоядерного реактора заключается в том, что для получения энергии гибриднему реактору не нужно получать сверхвысокие температуры. Согласно техническому описанию, установка Т-15МД будет иметь вытянутую конфигурацию плазменного шнура с аспектным отношением 2.2, током плазмы 2 МА в тороидальном магнитном поле 2 Т с квазистационарной системой дополнительного нагрева суммарной мощностью до 20 МВт. Установка рассчитана на длительность импульса до 30 секунд, в отличие от модернизированного токамака ТМ-15, в котором в 2015г время удержания плазмы в стационарном режиме составило менее 1с.(в проекте было заложено время 5-10с). Новый Т-15МД будет «теплым»: 16 его магнитов сверхпроводимость не используют и охлаждения не требуют, их катушки намотаны из обычного медного проводника с добавлением менее чем 1% серебра. Такое «легирование» не ухудшило электропроводность, но сделало проводник прочным, как сталь. Если прежде, при работе холодного токамака, происходило быстрое разрушение магнитов, то теперь «теплые» магниты из серебросодержащей меди способны создать и выдержать достаточно высокое магнитное поле в 2 тесла. Гибридный термоядерный реактор получает энергию и от распада атома (как обычная атомная станция) и от синтеза, то есть он сочетает в себе принципы ядерной и термоядерной энергетики. В настоящее время работы по модернизации установки Т-15МД переходят в фазу подготовки к физическому пуску токамака. Видимо, такое же решение будет принято и для Международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР во Франции на базе токамака. В июле 2020 года президент Франции Эммануэль Макрон в торжественной обстановке открыл начало работ по монтажу реактора (ИТЭР). В проекте ИТЭР длительность удержания плазмы планируется довести до 3000с.

4. Заключение

Сегодня перед физиками стоит вопрос какие научно-технические проекты им выбрать для новых коллайдеров, позволяющих сократить его размеры и стоимость, и при этом реализовать нужную энергию для потоков элементарных частиц или токамаков, предназначенных для магнитного удержания плазмы с целью достижения условий, необходимых для протекания управляемого термоядерного синтеза.

Если бы БАК обнаружил новую частицу за пределами Стандартной модели или устройство термоядерного и холодного синтеза показало бы свою эффективность, физики знали бы, какой проект им выбрать. Это был бы разумный выбор, но он может быть реализован только при обновлении современной научной парадигмы.

Литература

1. Edda Gshwendtner, This is the fantastic: the new method of particle acceleration works - Naked Science N9, September (2018)
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэнде М. Фейнмановские лекции по физике, М.: Мир, 1977
3. Данос М. Эффект Аронова-Бома, квантовая механика электрического трансформатора. Физика за рубежом, Серия Б, Москва: Мир, 1984.

4. Sapogin, L.G., Dzhanibekov, V.A., Mokulsky, M.A., Ryabov, Yu.A., Savin, Yu.P. and Utchastkin, V.I., About the Conflicts between the Unitary Quantum Theory and the Special and General Relativity Theories. - Journal of Modern Physics, 6, pp. 780-785, (2015).
5. Николаев Г.В. Современная электродинамика и причины ее парадоксальности. Перспективы построения непротиворечивой электродинамики. Теория, эксперименты, парадоксы.- Томск (2003)
6. Konstantinov Stanislav, "Polarization of Vacuum", Open Access Journal of Physics, Volume 2, Issue 3, pp. 15-24, (2018)
7. Агеев И.М., Шишкин Г.Г., Продольные волны,- Москва: МАИ, (2014)
8. Сапогин Л.Г., Рябов Ю.А., Бойченко В.А. «Унитарная Квантовая Теория и новый источник энергии», Москва: Сайне-Пресс, 2008.
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика, теория поля, том 2, Изд-во «Физматгиз», (1960).
10. K.J. von Vlaenderen and A.Waser , Generalization of classical electrodynamics to admit a scalar field and longitudinal waves ,-Hadronic journal, 24, 609-628, 2001
11. Аксенов В.В. , Несиловые и силовые магнитные поля, М.: Известия ВУЗов, Физика, №3, 2016.
12. Аксенов В.В., Тороидальное разложение векторного потенциала магнитного поля и его приложения, М.: ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия. №6, 2015