



Доп. инфо. к семинару от 29.04.26

1. О возможном магнитном механизме уменьшения времени разгона реактора РБМК-1000 на ЧАЭС. Рухадзе А.А. , Уруцкоев Л.И., Филиппов Д.В.
2. Low-Energy Nuclear Transmutations and a Process that Ensures the Conservation of Angular Momentum. Liudmila Borisovna Boldyreva.
3. Взаимодействие ядер в низкоэнергетических ядерных реакциях. Болдырева Л. Б.,

УДК 621.039

Краткие сообщения по физике ФИАН, 2004. №1. с. 5 – 22.

О возможном магнитном механизме уменьшения времени разгона реактора РБМК-1000 на ЧАЭС.

Рухадзе А.А.* , Уруцкий Л.И.** , Филиппов Д.В.**

Аннотация

В работе показаны существенные противоречия между официальным заключением о причинах взрыва реактора на Чернобыльской АЭС и известными экспериментальными фактами. Период аварийного разгона реактора не удаётся объяснить в рамках существующих представлений о физике работы реактора. Выдвигается гипотеза о возможном магнитном механизме, приведшем к росту коэффициента реактивности реактора в ходе проведения испытаний по выбегу турбогенератора на IV блоке ЧАЭС.

Введение

Настоящая статья направлена на выяснение физического механизма взрыва реактора. Официальные объяснения сложно признать удовлетворительными: во-первых, как будет ниже показано, ряд вопросов остался без ответа, а во-вторых, официальные выводы, основанные на численном моделировании, противоречат экспериментальным фактам и аналитическим оценкам. В данной работе выдвигается гипотеза, что причиной аварии является изменение свойств распада ядер-излучателей запаздывающих нейтронов в ходе «выбега» турбогенератора. Несмотря на кажущуюся малую вероятность такого предположения, ряд ранее необъяснимых наблюдаемых экспериментальных фактов находит в этом случае свое простое и логичное объяснение.

На сегодняшний день, по мнению авторов, не имеет убедительных объяснений следующий ряд наблюдавшихся при Чернобыльской катастрофе фактов:

- Целостность конструкций в шахте реактора;
- Невозможность указать место расположения значительного количества топлива;
- Два взрыва с интервалом в 1÷2 сек.;
- Странное яркое свечение над шахтой реактора после взрыва;
- Нарушение изотопного состава в исследованных образцах топлива, в том числе сдвига в сторону ^{235}U [1, 2];
- Факт притяжения электрических кабелей к паропроводам.

• И главное, механизм разгона реактора: каким образом реактор с высокой степенью выгорания топлива (до 20 МВт·сут/кг) и отравленный ксеноном разогнался за 10 сек. с уровня 200 МВт (6% номинальной мощности) до мощности, превышающей номинальную в десятки раз. Почему стержни аварийной защиты не успели остановить разгон реактора? По проекту, скорость опускания стержней должна была быть достаточной для компенсации любого возможного аварийного разгона реактора на запаздывающих нейтронах, который мог произойти с характерным временем ~10 сек. (временем жизни ядер-излучателей запаздывающих нейтронов).

* Институт общей физики РАН

**РЭКОМ, РНЦ «Курчатовский институт»

Однако фактически разгон реактора происходил в три раза быстрее. Мощность 530 МВт зафиксирована приборами на 3-ей секунде [3], на 6-ой секунде зафиксирован сигнал срабатывания АЗ, которая была установлена во время испытаний на уровне 1600 МВт, далее разгон происходил по-видимому значительно быстрее и точная информация о мощности отсутствует. То есть первые 6 сек. мощность увеличивалась каждые 3 сек. в е раз.

Приведенные факты не укладываются в принятую официальную версию [3 – 6], в которой проведен анализ сценария возникновения и развития аварии, основанный на численном моделировании. Согласно этой версии основными причинами аварийной ситуации явились:

- Из-за отравления реактора перед аварией был значительно снижен оперативный запас реактивности до 6÷8 стержней, при минимальном разрешенном запасе в 30 стержней; сам по себе факт уменьшения оперативного запаса реактивности, конечно, не приводит к разгону реактора, но создает опасность неустойчивого состояния.
- Появление сильной неоднородности энерговыделения (плотности нейтронов) по высоте реактора вследствие движения вниз стержней аварийной защиты в условиях уменьшенного оперативного запаса реактивности привело к разгону реактора.
- Наличие высокого (по отношению к проектному) положительного парового коэффициента реактивности привело к значительному уменьшению времени развития такой неустойчивости. Паровым коэффициентом реактивности называют α_p – отношение изменения реактивности к изменению объемного содержания пара.

Оценим возможность изменения времени разгона реактора в рамках официальной модели аварии. Интенсивность размножения нейтронов в активной зоне реактора характеризуется коэффициентом размножения нейтронов K_p – это отношение количества нейтронов в одном поколении к их количеству в предыдущем. Избыточной реактивностью ρ называется величина $(K_p - 1)/K_p$. При $\rho = 0$ реактор находится в стационарном режиме, при $\rho < 0$ реакция замедляется, а при $\rho > 0$ – интенсивность реакции нарастает. При распаде ядра небольшая доля β запаздывающих нейтронов испускается ядрами-осколками через достаточно большой промежуток времени (~ 10 сек.). Для различных типов реакторов величина β колеблется от 0.2 до 0.7%, для рассматриваемого реактора РБМК на момент перед аварией $\beta = 0.45\%$. Хорошо известно, что состояние реактора описывается уравнениями кинетики [7]:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{T} n + \sum_i \lambda_i C_i, \quad \frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i n}{T} - \lambda_i C_i, \quad (1)$$

где C_i , λ_i и β_i соответственно – плотность, постоянная распада и доля ядер-излучателей запаздывающих нейтронов i -ой группы (β – среднее значение долей β_i); $T = 10^{-3}$ сек. – время жизни одного поколения мгновенных нейтронов. Для оценок можно пользоваться распространенным приближением одной эффективной группы запаздывающих нейтронов с $\lambda = 0.1 \text{ сек}^{-1}$ [7] и, следовательно, условием $\lambda \cdot T < \beta$. Для постоянной реактивности ρ несложно найти собственные решения линейной системы дифференциальных уравнений (1).

Анализируя собственные значения инкремента k соответствующего характеристического уравнения, легко заметить, что именно наличие запаздывающих нейтронов позволяет осуществлять регулирование реактора. Действительно, при малых ρ (а именно $0 < (\beta - \rho) \sim \beta$) из (1) получаем: $k = \lambda \cdot \rho / (\beta - \rho)$, то есть реактор разгоняется с характерным временем ~ 10 сек. – временем

жизни ядер-излучателей запаздывающих нейтронов. При больших значениях реактивности $\rho > \beta$ получаем: $k = (\rho - \beta)/T$, то есть разгон происходит на мгновенных нейтронах с характерным временем, меньшем 0.1 сек. Конечно, функция $k(\rho)$ непрерывна при всех значениях реактивности и может при некотором ρ принять значение $k \sim 3 \cdot \lambda \sim (3 \text{ сек.})^{-1}$, однако, в этой переходной области $\rho \leq \beta$ функция $k(\rho)$ растет очень быстро, то есть фазовый объем начальных условий такого решения мал. Другими словами, решение с $k \sim 3 \cdot \lambda$ неустойчиво в том смысле, что при небольших изменениях реактивности в процессе выбега, такое решение должно перейти на другую экспоненту с значительно отличающимся показателем, но во время аварии рост мощности происходил с постоянным инкрементом в течении двух периодов (6 сек.), что по-видимому говорит об устойчивости наблюдавшегося разгона.

Избыточная реактивность зависит от параметров среды, в том числе и от плотности теплоносителя γ . По вопросу о причинах разгона мощности в [3 – 6] утверждается, что при уменьшении плотности теплоносителя должен наблюдаться сильный рост избыточной реактивности реактора до 5β , (где β – доля запаздывающих нейтронов) – кривая «а» на рис.1 [4]. Там же представлена зависимость, полученная на стадии проектирования, согласующаяся с экспериментальными результатами, полученными в ходе испытаний реактора РБМК–1000 (кривая «б»).

Из сравнения рисунков видно, что ход кривых значительно различается в области малых γ . Расчетная кривая «б» рис.1 подтверждена результатами экспериментальных опытов, в то время как в экспериментальное обоснование расчетной кривой «а» положено единичное событие, произошедшее в 1986 году на IV блоке Чернобыльской АЭС. С научной точки зрения кривая «б» на рис.1 нам представляется более обоснованной. Заметим, что при избыточной реактивности $\rho > \beta$ происходит разгон реактора на мгновенных нейтронах. Следовательно, если приведенная в [4] зависимость $\rho(\gamma)$ «а» является истинной, то реактор можно разогнать, просто вылив весь теплоноситель. Тогда банальная авария в подаче воды должна приводить к неуправляемому разгону реактора на мгновенных нейтронах с периодом меньше 0.1 сек. (т.е. реактор превращается в «атомную бомбу»). Если это действительно так, то дальнейшая эксплуатация реакторов этого типа просто недопустима. Однако мы надеемся, что истинной все же является более разумная зависимость «б» рис.1, полученная конструкторами реактора, которые, будучи людьми аккуратными и ответственными не только рассчитывали, но и проверяли экспериментально все основные параметры системы на различных стадиях выгорания топлива.

По официальной версии [3 – 6] авария развивалась следующим образом: из-за локального увеличения мощности в условиях заниженного оперативного запаса реактивности (6÷8 стержней при минимальном запасе 30 стержней) произошел перегрев теплоносителя. Перегрев вызвал уменьшение плотности теплоносителя, что в свою очередь привело к росту избыточной реактивности – кривая «а» (рис.1). Рост реактивности привел к росту интенсивности реакции и увеличению мощности (выделяемая мощность пропорциональна плотности нейтронов). То есть это привело к развитию неустойчивости плотности нейтронов во времени. Ниже показывается, что время развития такой неустойчивости существенно превышает фактическое время разгона реактора, наблюдавшееся при аварии, даже если принять в качестве исходных данных весьма сомнительную расчетную зависимость «а» (рис.1) коэффициента избыточной реактивности от плотности теплоносителя. Заметим, что кроме парового коэффициента реактивности на динамику

развития неустойчивости оказывают влияние температурный и мощностной коэффициенты, которые приводят к уменьшению скорости роста реактивности [8].

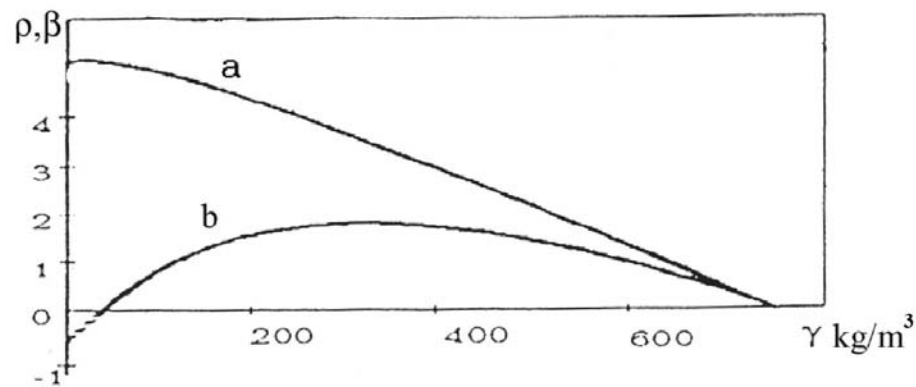


Рис 1. Зависимость избыточной реактивности от плотности теплоносителя в единицах β .

а – расчет после аварии; б – проектный расчет до аварии.

В работе [9] показано, что при аварии разгон реактора РБМК-1000 четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС происходил на запаздывающих нейтронах. Аргументация автора [9] основана на показаниях приборов, из которых следует, что первые 6 сек. разгон мощности происходил при неизменном избытке реактивности реактора $\rho \sim 0.5\beta$, причем первые 6 сек. мощность изменялась со временем приближенно по экспоненциальному закону $N = 200 \cdot e^{t/3}$ МВт, с характерным временем 3 сек. Далее разгон происходил по-видимому быстрее, через следующие 4 сек. был зарегистрирован сигнал резкого повышения давления газа в графитовой кладке реактора. Таким образом, по имеющимся фактическим данным разгон мощности реактора в целом продолжался $t \sim 10$ сек. Из этого факта в работе [9] был сделан вывод о том, что разгон реактора происходил с участием запаздывающих нейтронов, поскольку на мгновенных нейтронах он произошел бы примерно в 100 раз быстрее, и проследить его во времени по приборам на пульте управления было бы абсолютно невозможно.

Отсутствие разгона реактора на «мгновенных» нейтронах косвенно подтверждается отсутствием видимых повреждений стенок реактора, так называемой схемы «КЖ» (кожух). Этот факт был установлен в 1990 году сотрудниками «Комплексной экспедиции» ИАЭ, когда с помощью бурения скважин удалось через перископ визуально осмотреть внутреннюю поверхность реактора. Весь внутренний объем реактора оказался пуст, т.е. полностью отсутствовало содержимое реактора. Видимых деформаций и повреждений внутренней стенки реактора отмечено не было, более того, сохранилась даже краска на схеме «КЖ». Визуально было установлено, что лишь в юго-восточном квадранте на внутренней поверхности стенки наблюдались следы копоти. Этот факт ставит под сомнение версию о возникновении пожара в самом реакторе с последующим плавлением топлива. К такому же выводу пришли специалисты, исследовавшие фрагменты топлива [10].

Принимая во внимание все выше перечисленные аргументы, можно прийти к выводу о том, что общепринятый на сегодняшний день сценарий аварии [3, 4] не только не объясняет факты, но и находится с ними в прямом противоречии.

Анализ общепринятого механизма.

В рамках официальной версии причиной роста реактивности считается большой паровой коэффициент. Но в этом случае скорость роста реактивности пропорциональна плотности нейтронов и поэтому нейтронный поток растет значительно медленнее, чем при скачкообразном изменении реактивности, рассмотренном в [7]. Покажем, что даже при завышенной расчетной зависимости $\rho(\gamma)$ – кривая «а» на рис.1, рост мощности реактора в e раз с 200 Мвт до 530 Мвт не мог произойти быстрее, чем за 20 сек., тогда как фактически такой рост произошел за 3 сек.

Предположим, что выполняется завышенная зависимость $\rho(\gamma)$ – кривая «а» на рис.1, в этом случае паровой коэффициент реактивности α_ϕ не превышает:

$$\alpha_\phi = \frac{d\rho}{d\gamma} < \frac{6\beta}{75\%} = 3.6 \cdot 10^{-4} \%^{-1},$$

так как из данных [8] (с.34) следует, что для реактора, вышедшего на стационарный режим перегрузки топлива $\beta=0.0045$. Заметим, что даже в официальной информации [3] указывается меньший коэффициент $\alpha_\phi = 2 \cdot 10^{-4} \%^{-1}$.

По данным конструкторов [8] паропроизводительность реактора при номинальной мощности равна 1.5 т/с, а среднее содержание пара в теплоносителе на выходе 15%, при этом в реакторе находится одновременно не менее 30 т. теплоносителя, а скорость изменения плотности теплоносителя (паросодержания) пропорциональна мощности (плотности нейтронов).

Теплоноситель прокачивается через реактор восемью Главными Циркуляционными Насосами (ГЦН). В соответствии с программой испытаний на 4-ом блоке ЧАЭС четыре из них были запитаны от электрической сети 3-го энергоблока ЧАЭС. Эти четыре ГЦН должны были обеспечить нормальное охлаждение реактора даже при отключении энергоподачи от 4-ого блока, по крайней мере, до момента достижения 50% номинальной мощности, а разгон реактора начался с 6% номинальной мощности.

Если все же предположить, что движение теплоносителя через реактор было по каким-то причинам полностью остановлено (чего быть не могло), то даже в этом крайнем случае скорость изменения реактивности не превысит:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{d\gamma} \cdot \frac{d\gamma}{dt} < \frac{6\beta}{0.75} \cdot \frac{1.5 \text{ т} \cdot \text{с}^{-1}}{30 \text{ т}} \cdot \frac{W_0}{W_n},$$

где $W_0 = 200$ Мвт – начальная мощность реактора, с которой начался разгон, $W_n = 3200$ Мвт – номинальная мощность. Следовательно, для максимально возможной функции $\rho(t)$ получаем уравнение:

$$\frac{d\rho}{dt} = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{n}{n_0}, \quad (2)$$

где $\alpha < 0.025 \text{ сек}^{-1}$, n – плотность, а n_0 – начальная плотность нейтронов. Обратим внимание на то, что уравнение (2) выполняется локально, так как мы воспользовались лишь тем предположением,

что находящийся в замкнутом объеме теплоноситель выпаривается за счет выделяемой тепловой энергии.

Решая систему уравнений (1 – 2) в приближении одной эффективной группы запаздывающих нейтронов, учитывая начальные условия $\rho(0)=0$, $\rho'_t(0)=\alpha \cdot \beta$ и $\rho''_{tt}(0)=\alpha \cdot \beta \cdot \rho'_t(0)=0$, так как разгон начался из стационарного состояния, получаем уравнение:

$$\left(\frac{T}{\beta}\right) \frac{d^2 \rho}{dt^2} + \left(\frac{T\lambda}{\beta} + 1\right) \frac{d\rho}{dt} - \frac{\rho}{\beta} \cdot \frac{d\rho}{dt} - \frac{\lambda \rho^2}{2\beta} = (T\lambda + \beta) \cdot \alpha. \quad (3)$$

В рассматриваемом приближении ($T \cdot \lambda \ll \beta$ и $T \cdot \alpha \ll \beta$) это уравнение имеет точное решение:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot \alpha}{\lambda}} \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\lambda}{2 \cdot \alpha}} \cdot \frac{\rho}{\beta} \right) - \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \ln \left(1 + \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha} \left(\frac{\rho}{\beta} \right)^2 \right) = \alpha \cdot t. \quad (4)$$

При временах $t \ll \alpha^{-1} = 40$ сек. несложно записать приближение:

$$n(t) = n_0 \cdot \left[1 + \alpha \cdot t + \left(\frac{3}{2} \alpha^2 + \frac{\lambda}{2} \alpha \right) \cdot t^2 + o((\alpha \cdot t)^2) \right]. \quad (5)$$

Таким образом, в рамках принятых начальных условий рост мощности за первые 10 с. не мог быть больше чем в 1.5 раза. Этот результат согласуется с [7], так как в нашем случае первое время избыточная реактивность растет линейно со скоростью α . Поскольку при аварии реактор разгонялся каждые 3 сек. в e раз, то можно сделать вывод, что даже столь высокий паровой коэффициент реактивности, который взят за основу в [3, 4] – кривая «а» на рис.1 – не мог быть причиной разгона реактора при перегреве теплоносителя.

Учет всех групп запаздывающих нейтронов не изменит полученного результата: рост мощности реактора в e раз с 200 Мвт до 530 Мвт не мог произойти быстрее, чем за 20 сек., тогда как фактически такой рост произошел за 3 сек. Предлагаемые в [3 – 6] численные модели не объясняют скорость разгона мощности реактора. Это порождает сомнения и в правильности расчетов зависимости избыточной реактивности от плотности теплоносителя – кривая «а» на рис.1, которая является завышенной по отношению к проектной кривой «б» [8].

Рассмотрим далее утверждение [3] о разгоне реактора из-за пространственной неоднородности энерговыделения (плотности нейтронов). Во-первых, заметим, что характер взрывной разгерметизации реактора и разлета его конструктивных элементов свидетельствует, скорее всего, о достаточно однородном по объему увеличению плотности нейтронов [11]. Кроме того, уже в классических работах Ферми [12] было показано, что учет пространственной неоднородности при небольшой положительной избыточной реактивности приводит к затуханию высоких сильно неоднородных пространственных гармоник возмущений. При большой реактивности высокие пространственные гармоники растут, по крайней мере, медленнее основной. Действительно, первое уравнение (1) при учете пространственной неоднородности принимает следующий вид [12]:

$$\frac{dn}{dt} = D \cdot \Delta n + \frac{\rho - \beta}{T} n + \sum_i \lambda_i C_i, \quad (6)$$

где $D = L^2 / T$ – коэффициент диффузии нейтронов, T – как и раньше время жизни одного поколения мгновенных нейтронов, L – длина диффузии. Длина диффузии для графита $L \sim 50$ см., для воды ~ 3 см. При поиске собственных решений уравнений (6) в виде $n(t) = \varphi(x, y, z) \cdot f(t)$, учитывая, что на границе реактора можно считать $n = 0$, получаем:

$$\Delta \varphi = -q^2 \varphi, \quad (7)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - (qL)^2 - \beta}{T} n + \sum_i \lambda_i C_i,$$

где q – волновой вектор.

Видно, что учет неоднородности приводит к уменьшению реактивности на величину $(2\pi L/a)^2$, где a – длина волны пространственной гармоник возмущения. Другими словами, в уравнениях кинетики реактора из-за неоднородности пространственного распределения нейтронов появляется «диффузионный член». Он обуславливает сглаживание («размывание») пространственных неровностей плотности нейтронов.

Подытожим вышесказанное:

1. Официальные версии модели аварии противоречат зафиксированным фактам и современным физическим представлениям в следующих пунктах:

- зависимость реактивности от плотности теплоносителя завышена по сравнению с проектной;
- время развития неустойчивости, полученное аналитически из анализа уравнений, даже с учетом завышенной реактивности существенно превышает результаты численного моделирования;
- утверждение о сильной пространственной неоднородности противоречит характеру взрыва; но даже наличие неоднородности приводит к увеличению времени разгона, а не к его уменьшению.

2. До сих пор нет убедительного объяснения причин аварии на ЧАЭС, по-видимому, в рамках современного научного представления это сделать весьма проблематично.

3. Для объяснений столь высокой скорости разгона реактора, по нашему мнению, следует предположить, что при аварии могло проявиться новое физическое явление (или даже комплекс явлений).

Попробуем предложить возможный механизм разгона реактора, не противоречащий приведенным выше фактам.

β^- -распад в связанное состояние.

Несмотря на привычное представление о том, что ядерные процессы значительно отличаются от атомных по временному, пространственному и энергетическому масштабу, в физике известно много примеров тесной взаимосвязи ядерных и атомных явлений.

В работах [13 – 16] строится теория β^- -распада в связанное состояние электрона (при котором β^- -электрон не покидает атом, а занимает свободную орбиту). Обращается внимание [17] на то, что распад в связанное состояние дополнительно увеличивает фазовый объем конечных состояний и, следовательно увеличивает вероятность β^- -распада. В [15, 16] вычислены отношения постоянных распада (вероятностей β^- -распада) в связанное λ_b и в свободное состояние λ_c . Для полностью ионизованных тяжелых атомов при β^- -распадах с малыми энергиями, отношение λ_b/λ_c может достигать огромной величины $10^3 \div 10^4$. То есть наличие свободных электронных орбит может увеличить вероятности β^- -распада ядер в тысячи раз.

Теория β^- -распада в связанное состояние была экспериментально подтверждена в работах [18, 19]. Причем для ^{187}Re [19] полная ионизация уменьшила период полураспада в 10^9 раз ($4.3 \cdot 10^{10}$ лет для нейтрального атома; 33 года для полностью ионизованного ядра).

Расчет отношения вероятностей β^- -распада в связанное и в свободное состояние аналогичен классическому расчету отношения вероятностей К-захвата к вероятности позитронного β^+ -распада [20]. Пользуясь результатами [15, 16, 20] запишем следующее важное утверждение:

- *появление свободной электронной орбиты увеличивает постоянную β^- -распада λ любого разрешенного перехода на величину $\delta\lambda$ (в атомных единицах $\hbar = c = m_e = 1$):*

$$\frac{\delta\lambda}{\lambda} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{|\Psi_e(R)|^2 \cdot (E-1)^2}{f(Z, E)} \sim \frac{2\pi \cdot (\alpha \cdot Z)^3 \cdot (E-1)^2}{N^3 \cdot f(Z, E)}, \quad (8)$$

где $\Psi_e(R)$ – плотность электронных волновых функций в области ядра, E – энергия перехода, Z – заряд ядра, $f(Z, E)$ – интегральная функция Ферми:

$$f(Z, E) = \int_1^E F(Z, \varepsilon) \cdot \varepsilon \sqrt{\varepsilon^2 - 1} \cdot (E - \varepsilon)^2 d\varepsilon, \quad (9)$$

$\alpha = 1/137$ – постоянная тонкой структуры, N – главное квантовое число свободной орбиты. Второе равенство в (8) получено в приближении водородоподобной орбиты. Пользуясь известным приближением [20], что функция $f(Z, E)$ (9) растет с энергией быстрее, чем E^2 (для $E \gg 1$ можно воспользоваться приближением $f \sim E^5/30$), получаем из (8) оценку (для $N=1$):

$$\frac{\delta\lambda}{\lambda} \sim 60\pi \left(\frac{\alpha Z}{E} \right)^3, \quad (10)$$

Видим, что изменение $\delta\lambda/\lambda$ будет больше для переходов с меньшими энергиями E , то есть для переходов на более высокие (возбужденные) уровни дочернего ядра.

В работах [13 – 19] рассматривается β -распад в связанные состояния на орбиты, освободившиеся в результате ионизации атома. Однако это не единственный способ освободить электронные орбиты. В работах [21, 22] Б.Б.Кадамцев обратил внимание на перестройку атомных электронов в сильном магнитном поле. В [21] показано, что у тяжелых атомов в сильном магнитном поле электроны не стремятся занимать нижние энергетические уровни. То есть атом возбуждается, а ближайшие к ядру электронные орбиты освобождаются для β -распада в связанные состояния. Таким образом можно предположить, что если бы появилось сильное магнитное поле, то оно могло бы открыть дополнительные каналы β -распада в связанные состояния. На наличие сильного магнитного поля возможно указывает факт вырванных из стен электрических проводов. Возможная причина появления такого сильного магнитного поля будет рассмотрена позже, а сейчас рассмотрим, как β -распад в связанные состояния повлияет на долю запаздывающих нейтронов в реакторе.

Влияние изменения свойств распада ядер-излучателей запаздывающих нейтронов на реактивность.

В результате деления ^{235}U образуется большое количество осколков с атомными весами от $A=72$ до $A=160$. Массовые и зарядовые распределения осколков хорошо изучены. Большинство осколков являются нестабильными нейтронно-избыточными ядрами [23, 24]. Часть этих ядер (~ 50 ядер), являющихся источниками запаздывающих нейтронов, распадаются по следующей схеме (рис.2) [24].

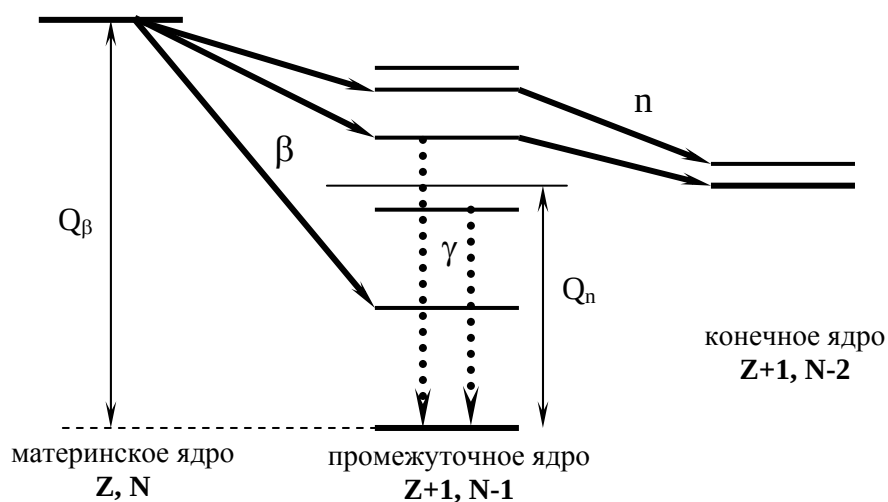


Рис.2 Схема распада ядра-излучателя запаздывающего нейтрона. Q_β – максимальная энергия β -распада, Q_n – энергия связи нейтрона в промежуточном ядре.

При β -распаде материнского ядра (излучателя запаздывающего нейтрона) по каналу с меньшими энергиями β -перехода образуется промежуточное ядро в возбужденном состоянии. При энергии возбуждения большей Q_n – энергии связи нейтрона – промежуточное ядро испускает нейтрон. Испускание нейтрона из промежуточного ядра происходит практически мгновенно, а время «запаздывания» определяется временем жизни материнского ядра. Заметим, что доля

запаздывающих нейтронов определяется β -распадами с малыми энергиями, их интенсивность для всех ядер-излучателей запаздывающих нейтронов не превышает 10% [24].

Для большинства промежуточных ядер энергия отделения нейтрона составляет $Q_n \sim 5 \div 7$ Мэв. Следовательно, так как энергия β -распада, приводящего к рождению нейтрона $Q_\beta - Q_n$ существенно меньше Q_β , то из оценки (10) видно, что при возникновении каналов распада в связанное состояние отношение $\delta\lambda_n/\lambda_n$ для нейтронного канала, идущего с малыми энергиями E будет существенно превышать $\delta\lambda_\beta/\lambda_\beta$ безнейтронного распада на низкие уровни:

$$\frac{\delta\lambda_n}{\lambda_n} > \frac{\delta\lambda_\beta}{\lambda_\beta}. \quad (11)$$

Доля запаздывающих нейтронов β пропорциональна отношению:

$$\beta \propto \frac{\lambda_n}{\lambda_n + \lambda_\beta}.$$

Несложно получить, что относительное изменение доли запаздывающих нейтронов составляет:

$$\frac{\delta\beta}{\beta} = \frac{\lambda_\beta}{\lambda} \cdot \left(\frac{\delta\lambda_n}{\lambda_n} - \frac{\delta\lambda_\beta}{\lambda_\beta} \right) > 0,$$

где $\lambda = \lambda_n + \lambda_\beta + \delta\lambda_n + \delta\lambda_\beta$. Следовательно:

- *появление свободной электронной орбиты атома-излучателя запаздывающих нейтронов приводит к увеличению доли запаздывающих нейтронов!*

В уравнениях (6) учитывались концентрации только тех ядер-излучателей запаздывающих нейтронов, которые испытали распад по нейтронному каналу, а осколки, испытавшие β -распад без излучения нейтрона, считались потерянными для процесса цепной реакции. Фактически те нейтроны, которые привели к образованию осколков, испытавших безнейтронный β -распад учитывались в увеличении потерь, то есть в уменьшении реактивности ρ .

Известно [24], что количество распадов с рождением нейтронов составляет не более $v_n \sim 10\%$ общего числа β -распадов ядра-излучателя запаздывающих нейтронов. В стационарном режиме работы реактора, так как доля запаздывающих нейтронов $\beta \sim 5 \cdot 10^{-3}$, постоянная распада ядер-излучателей $\lambda \sim 0.1 \text{ сек}^{-1}$, время жизни мгновенных нейтронов $T \sim 10^{-3} \text{ сек}$, из (1) получаем концентрацию всех ядер-излучателей запаздывающих нейтронов (включая и те ядра, которые испытают распад без рождения нейтрона):

$$C = v_n^{-1} \cdot \frac{\beta}{\lambda T} \cdot n \sim v_n^{-1} \cdot 50 \cdot n \sim 500 \cdot n,$$

то есть количество ядер-излучателей запаздывающих нейтронов более чем на два порядка превышает количество мгновенных нейтронов.

В реакторе постоянно находится огромное количество ядер-осколков, способных излучить нейтроны. Следовательно, нарушение в физике распада ядер-излучателей запаздывающих нейтронов может привести к значительным изменениям плотности нейтронов.

Для анализа поведения реактора при изменении постоянных β -распада λ запишем уравнения кинетики (1) в приближении одной группы запаздывающих нейтронов с учетом всего количества ядер-излучателей запаздывающих нейтронов (включая и те, распад которых не привел к образованию нейтрона):

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{T} n + \lambda_n \cdot C, \quad \frac{dC}{dt} = \frac{\beta_t \cdot n}{T} - (\lambda_n + \lambda_\beta) \cdot C, \quad (12)$$

где n – плотность нейтронов, ρ – реактивность реактора, β – доля запаздывающих нейтронов, $T = 10^{-3}$ сек. – время жизни одного поколения мгновенных нейтронов, C – плотность ядер-излучателей запаздывающих нейтронов, включая и те ядра излучатели, которые испытали β -распад без рождения нейтрона; λ_n – постоянная β -распада с рождением нейтронов, λ_β – постоянная β -распада без рождения нейтронов, $\beta_t = \beta \cdot (\lambda_n + \lambda_\beta) / \lambda_n$ – доля всех рождающихся ядер-излучателей запаздывающих нейтронов.

Рассмотрим поведение реактора, работающего в стационарном режиме, то есть с реактивностью $\rho=0$, причем реактивность по мгновенным нейтронам $\rho_{\text{мгн}} = -\beta_b$ остается постоянной (β_b – начальная доля запаздывающих нейтронов). Рассмотрим изменение $\lambda_\beta \rightarrow (\lambda_\beta + \delta\lambda_\beta)$ и $\lambda_n \rightarrow (\lambda_n + \delta\lambda_n)$, удовлетворяющее условию (11). Считая, что изменение происходит мгновенно (за время $\ll T$), из (12) получаем уравнение:

$$\frac{d^2 n}{dt^2} + \left[\frac{\beta_b}{T} + \lambda \right] \cdot \frac{dn}{dt} - \frac{\beta_b}{T} n \cdot \left[\delta\lambda_n \cdot \frac{\lambda_\beta}{\lambda_n} - \delta\lambda_\beta \right] = 0, \quad (13)$$

где $\lambda = (\lambda_n + \lambda_\beta + \delta\lambda_n + \delta\lambda_\beta)$, которое в первом порядке по $\delta\lambda$ описывает неустойчивость с инкрементом:

$$k = \lambda_\beta \cdot \left(\frac{\delta\lambda_n}{\lambda_n} - \frac{\delta\lambda_\beta}{\lambda_\beta} \right) \cdot \left(1 + \frac{\lambda \cdot T}{\beta_b} \right)^{-1}. \quad (14)$$

Из [24] известно, что основной вклад в рождение запаздывающих нейтронов дают осколки $Z \sim 35 \div 37$. Для безнейтронного канала энергия перехода $E_\beta \gg E_n \sim 1$ (в единицах энергии покоя электрона). Пользуясь очень грубой количественной оценкой (10), учитывая $T \cdot \lambda \ll \beta_b$, получаем:

$$k \sim \lambda \cdot \frac{\delta\lambda_n}{\lambda_n} \sim \lambda \cdot 60 \pi \left(\frac{\alpha \cdot 35}{1} \right)^3 \sim \pi \cdot \lambda \sim 0.3 \text{ s}^{-1}, \quad (15)$$

то есть при наличии распада в связанное состояние время увеличения мощности в e раз может быть ~ 3 сек. Конечно, это грубая оценка, но ее совпадение с периодом разгона реактора при аварии на ЧАЭС вряд ли является простым совпадением.

Итак, рассматриваемый механизм развития аварии сводится к следующему:

- воздействие сильного магнитного поля на активную зону реактора приводит к искажению электронных оболочек ядер-излучателей запаздывающих нейтронов с образованием свободных электронных орбит вблизи ядра;
- это делает возможным β^- -распад в связанное состояние, что приводит к увеличению постоянной распада $\lambda \rightarrow \lambda + \delta\lambda$;
- при этом относительное увеличение вероятности распадов на возбужденные уровни, приводящих к излучению нейтрона $\delta\lambda_n/\lambda_n$ существенно превышает $\delta\lambda_\beta/\lambda_\beta$ безнейтронных каналов распада;
- следовательно возрастает β – доля запаздывающих нейтронов,
- что в активной среде приведет к разгону реактора.

То есть в отличие от официальной версии [3] не реактивность увеличивается до 5β («а» на рис.1), а увеличивается сама доля запаздывающих нейтронов, то есть величина β .

Заключение.

Возникает резонный вопрос, что могло явиться причиной изменения свойств β -распада ядер-излучателей запаздывающих нейтронов в реакторе ЧАЭС? При испытаниях 26.04.86г. 8-ой турбогенератор был отключен от подстанции и служил источником тока для собственных нужд 4-го энергоблока ЧАЭС. Следует отметить, что первоначальная мощность выбегающего турбогенератора составляла 30 МВт, а сам выбег проходил ~ 40 сек и при случайном коротком замыкании одного из элементов электрической цепи могли возникнуть условия, схожие с экспериментальными условиями в работах [25, 26]. Наблюдающееся в экспериментах [25, 26] «странное излучение», по-видимому, вызвано электровзрывом металлической фольги в жидкости.

В работах [25, 26] для объяснения экспериментально наблюдаемых явлений в качестве рабочей гипотезы было высказано предположение об образовании магнитных монополей Лошака [27] (отличных от монополей Дирака) в момент паузы тока, возникающей при электровзрыве металлической фольги в жидкости. С точки зрения авторов работы [25] на основе выдвинутой гипотезы возможно объяснить регистрируемые с помощью ядерных эмульсий аномальные треки, наблюдающуюся трансформацию ядер и сдвиг мессбауэровских спектров ^{57}Fe . Основания для приписывания «странному излучению» магнитной природы заключаются в том, что во-первых форма треков меняется в зависимости от приложенного внешнего поля; во-вторых треки наблюдаются на расстоянии ~ 2 -х метров от установки, а электрически-заряженные частицы не могли пролететь такое расстояние в воздухе.

Обратим внимание на то, что в качестве гипотезы в работах [25, 26] рассматривается магнитный монополю Ж. Лошака [27] существенно отличающийся от известного магнитного монополя Дирака. Магнитный монополю Лошака возникает как следствие решения уравнения Дирака. Уравнение Дирака – уравнение, описывающее релятивистскую частицу со спином $\frac{1}{2}$ в электромагнитном поле. Лошак показал, что существуют две и только две фазовые калибровки решений уравнения Дирака, так как две и только две матрицы из 16 матриц базы Клиффорда одинаково коммутируют со всеми остальными: это единичная матрица и псевдоскалярная

матрица $\gamma_5 = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_4 = \begin{pmatrix} 0 & I \\ I & 0 \end{pmatrix}$ (I – единичная двумерная матрица). Единичная матрица определяет стандартную калибровку, приводящую к уравнению электрона. Матрица γ_5 определяет другую калибровку:

$$\Psi \rightarrow \exp\left(i \frac{e}{\hbar c} \gamma_5 \phi\right) \Psi, \quad B_\mu \rightarrow B_\mu + \partial_\mu \phi,$$

(B_μ – псевдопотенциал электромагнитного поля), которая приводит к уравнению для безмассовой частицы:

$$\gamma_\mu \nabla_\mu \Psi \equiv \gamma_\mu \left(\partial_\mu - i \frac{g}{\hbar c} \gamma_5 B_\mu \right) \Psi = 0.$$

Лошак показал, что решение указанного уравнения удовлетворяет правилам СРТ-симметрии Кюри для магнитного монополя. Заметим, что монополю Дирака этим правилам симметрии не удовлетворяет. Псевдоскалярность магнитного поля содержится в выражении заряда не через постоянную g , а через зарядовый оператор $G = g\gamma_5$ [27]. Представление Вейля уравнения Дирака диагонализует матрицу заряда G с собственными значениями g и $-g$, которые соответствуют двум собственным решениям; причем пространственная симметрия P обменивает эти два собственных решения (антимонополь – это образ монополя в «зеркале»).

Магнитный заряд, введенный Лошаком является лептоном, т.е. участником электро-слабых взаимодействий. Так как указанное уравнение монополя при нулевом магнитном заряде g совпадает с уравнением нейтрино, магнитный монополю Лошака может быть трактован как магнитно-возбужденное состояние нейтрино.

Такой монополю является безмассовым (или почти безмассовым), т.е. очень легким (с энергетической точки зрения) и может быть рожден при электромагнитных явлениях [25, 26]. Возможно (хотя это лишь гипотеза), что именно образовавшиеся в результате электровзрыва фольги магнитные заряды своим магнитным полем приводят к изменению физики распада ядер через искажение электронных оболочек. Эта гипотеза может объяснить наблюдаемое в [26] нарушение векового равновесия тория-234.

Если предположить, что магнитные монополи могли по каким-то причинам образоваться в момент выбега турбогенератора при испытаниях на ЧАЭС, то тогда они могли попасть в паропроводы, проходящие через турбогенератор. Поскольку кислород является парамагнетиком, то магнитные частицы могли образовать с кислородом так называемые «связанные состояния» и двигаться по паропроводам вместе с паром, как по волноводам. Расположенные рядом электрические кабели должны были бы притягиваться к «магнитному току», образованному монополями, движущимися по паропроводам. Попад в реактор, магнитные монополи могли повлиять своим сильным магнитным полем на электронные оболочки ядер-излучателей запаздывающих нейтронов. Это могло привести, как обсуждалось выше, к увеличению доли запаздывающих нейтронов и, следовательно, к росту реактивности. Возникновение двух последовательных взрывов в районе реактора в момент аварии, в рамках рассматриваемого

механизма, находит логичное объяснение, если учесть существующее различие в длине трубопроводов от машзала к северным и южным барабан-сепараторам.

Конечно, на сегодняшний день это только гипотеза, однако любая гипотеза имеет право на существование, если она объясняет некоторые факты, не укладывающиеся в рамки существующих представлений.

Авторы хотят отметить заслугу член-корреспондента РАН Кружилина Г.Н., чья пионерская работа [9] послужила отправной точкой размышлений над механизмом разгона реактора.

Литература:

1. Кузьмина И.Е., Лобач Ю.Н. Ядерное топливо и особенности формирования аэрозолей в объекте «Укрытие». Атомная энергия, 1997. т.82. №1. с. 39.
2. Соботович Э.В., Чебаненко С.И. Изотопный состав урана в почвах ближней зоны ЧАЭС. ДАН, 1990. с. 885.
3. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ. Атомная энергия 1986. т.61. №5. с. 302.
4. Адамов Е.О., Вазингер В.В., Василевский В.П. и др. Оценка качественных эффектов возможных возмущений во время аварии на ЧАЭС. – В сб.: Первая международная рабочая группа по тяжелым авариям и их последствиям. М.: Наука, 1990.
5. Адамов Е.О., Василевский В.П., Ионов А.И. и др. Анализ первой фазы развития аварийного процесса на четвертом блоке Чернобыльской АЭС. Атомная энергия, 1988. т. 64. №1. с. 24.
6. Афанасьева А.А., Федосов А.М., Дондерер Р. и др. Анализ аварии на Чернобыльской АЭС с учетом разрушения активной зоны. Атомная энергия, 1994. т. 77. №2. с. 87.
7. Шульц. М Регулирование энергетических ядерных реакторов. М.: ИЛ, 1957. с. 29 – 70.
8. Доллежалъ Н.А., Емельянов И.Я. Канальный ядерный энергетический реактор. М.: Атомиздат, 1980. с.22 – 23, 34, 50, 96 – 97.
9. Кружилин Г.Н. О характере взрыва реактора РБМК-1000 Чернобыльской АЭС. ДАН, 1997. т. 354. № 3. с. 331.
10. Андерсон Е.Б., Бураков Б.Е., Пазухин З.М. Плавилось ли топливо 4-го блока Чернобыльской АЭС. Радиохимия, 1992. №5, с. 155.
11. Киселев А.Н., Сурин А.И., Чечеров К.П. Послеаварийное обследование реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС. Атомная энергия, 1996. т. 80. №4. с. 240.
12. Ферми Э. Научные труды т.2. М.: Наука, 1972. с. 316 – 326.
13. Bahcall J.N. Theory of bound-state beta decay. Phys. Rev., 1961. v. 124. №2. p. 495.
14. Takahashi K., Yokoi K. Nuclear β -decays of highly ionized heavy atoms in stellar interiors. Nucl. Phys., 1983. v. A404. p. 578.
15. Takahashi K., Boyd R.N., Mathews G.J., Yokoi K. Bound-state beta decay of highly ionized atoms. Phys. Rev., 1987. v. C36. №4. p.1522.
16. Баткин И.С. К вопросу о β -распаде в связанные состояния. Известия АН СССР, сер. Физ., 1976. т. 40. №6. с. 1279.
17. Гареев Ф.А., Ратис Ю.Л. Захват виртуальных позитронов ядрами сильноионизированных атомов, как новый вид естественной радиоактивности. – в сб. Естествознание, экономика, управление. Самара, 2002. №3. с.103.

18. Jung M., Bosch F., Beckert K., et al. First observation of bound-state β^- decay. Phys. Rev. Lett., 1992. v. 69. №15. p.2164.
19. Bosch F., Faestermann T., Friese J., et al. Observation of bound-state β^- decay of fully ionized ^{187}Re : $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$ cosmochronometry. Phys. Rev. Lett., 1996. v. 77. №26. p. 5190.
20. Престон М. Физика ядра. М.: Мир, 1964. с. 388 – 403.
21. Кадомцев Б.Б. Тяжелый атом в сверхсильном магнитном поле. ЖЭТФ, 1970. т.58. №5. с. 1765.
22. Кадомцев Б.Б., Кудрявцев В.С. Вещество в сверхсильном магнитном поле. ЖЭТФ, 1972. т. 62. №1. с. 144.
23. Физические величины. Справочник под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е. З. М.: Энергоатомиздат, 1991.
24. Гангрский Ю.П., Далхсурен Б, Марков Б.Н. Осколки деления ядер. М.: Энергоатомиздат, 1986.
25. Уруцкоев Л.И., Ликсонов В.И., Циноев В.Г. Экспериментальное обнаружение «странного» излучения и трансформации химических элементов. Прикладная физика, 2000. №4. с. 83.
26. Волкович А.Г., Говорун А.П., Гуляев А.А., Жуков С.В., Кузнецов В.Л., Рухадзе А.А., Стеблевский А.В., Уруцкоев Л.И. Наблюдение эффектов искажения изотопного соотношения Урана и нарушения векового равновесия Тория-234 при электровзрыве. Краткие сообщения по физике ФИАН, 2002. №8. с. 45.
27. Лошак Ж. О возможности легкого, лептонного магнитного монополя, способного влиять на слабые взаимодействия. Прикладная физика, 2003. №3. с. 10.

Review Article

Open Access

Low-Energy Nuclear Transmutations and a Process that Ensures the Conservation of Angular Momentum

Liudmila Borisovna Boldyreva

State University of Management (Retired), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The aim of the article is to prove that Low-Energy Nuclear Transmutations may be performed by a process that emerges due to change in spin orientation of virtual photons created by quantum objects taking part in low-energy nuclear transmutations. According to Feynman's theory, virtual photon has the properties of spin vortex (precessing spin and electric dipole moment) and is produced in physical vacuum characterized by inner angular momentum. Interaction of virtual photons by means of interaction of their electric dipoles can result in inversion of one of the electric dipole moments and, consequently, in inversion of spin related to it.

The reorientation of spin of virtual photon means the reorientation of angular momentum in physical vacuum and, in accordance with the law of conservation of angular momentum, the processes compensating the changes in angular momentum emerge. The moment related to the inertial properties of the physical vacuum may be a characteristic of this process. This moment while acting on electric dipole moments of virtual photons of quantum objects can cause, firstly, the energy generation, and, secondly, the reorientation of these electric dipole moments in physical vacuum. The changes in orientations of electric dipole moments of virtual photons act on characteristics of quantum objects creating these virtual photons and in such a way on the structure of chemical elements containing these quantum objects. In such a way the transmutations of chemical elements can take place.

*Corresponding author

Liudmila Borisovna Boldyreva, State University of Management (Retired), Moscow, Russian Federation.

E-mail: boldyrev-m@yandex.ru

Received: October 15, 2025; **Accepted:** October 21, 2025; **Published:** November 10, 2025

Keywords: Virtual Photon, Electric Dipole Moment, Law of Angular Momentum Conservation, Inversion of Spin, Low-Energy Nuclear Transmutation

Introduction

The processes that determine the execution of low-energy nuclear reactions are analyzed in this work. Such physical processes are:

- 1) the creation of virtual photons by quantum objects which are features in electric and/or magnetic fields [1-2];
- 2) the inversion of electric dipole moment of one of the virtual photons and simultaneously inversion of its spin; the inversions are accompanied

by generation of energy [3];

- 3) the process compensating the change in angular momentum; the latter is a result of spin inversion.

The moment related to the inertial properties of the physical vacuum is the main characteristic of process that ensures the conservation of angular momentum. (This is the process similar to that which defines Newton's first law (law of inertia) [4]). This moment while acting on electric dipole moments of virtual photons of quantum objects can cause: firstly, the reorientation of these dipole moments in physical vacuum and, secondly, the energy generation. The changes in orientations of electric dipole moments of virtual photons act on characteristics of quantum objects creating these

Взаимодействие ядер в низкоэнергетических ядерных реакциях

Болдырева Л. Б., к.т.н, доцент

Аннотация

Условием проведения низкоэнергетической ядерной реакции является возможность слияния ядер с достаточно низкими энергиями. Препятствием к этому процессу является кулоновское отталкивание ядер, существующее вследствие одинакового знака их электрических зарядов.

В данной работе показано, что компенсация кулоновского отталкивания ядер (например, между соосными протонами в никель-водородной реакции) может быть результатом взаимодействия виртуальных фотонов, созданных протонами, составляющими ядра, участвующие в ядерной реакции. Концепция виртуальных фотонов была разработана лауреатом Нобелевской премии Р. Фейнманом в 1949 и одним из главных свойств этих фотонов является их способность дипольного электрического взаимодействия друг с другом. Кроме компенсации кулоновского взаимодействия ядер дипольное электрическое взаимодействие виртуальных фотонов может объяснить и образование “ядерных молекул”. Концепция виртуальных фотонов может объяснить также такие физические явления, сопровождающие низкоэнергетические ядерные реакции, как: “дефект масс”, излучение электромагнитных колебаний и объектов типа “шаровая молния”, генерацию сверхтекучего спинного тока.

Ключевые слова: низко-энергетические ядерные реакции; виртуальные фотоны; “масс дефект”; “ядерные молекулы”; шаровая молния; кулоновское взаимодействие.

Введение

Условием проведения низко энергетической ядерной реакции является возможность слияния ядер с достаточно низкими энергиями. Препятствием к этому процессу является кулоновское отталкивание ядер, вследствие одинакового знака их электрического заряда. Многочисленные эксперименты показали, что компенсация этого Кулоновского взаимодействия может происходить, например, в никель - водородном реакторе между соосными расположенными протонами при их “сдавливании” [1]. Возникает вопрос о природе сил, осуществляющих эту компенсацию. Пока этот вопрос не решён сложно проводить оптимизацию процесса компенсации.

В данной работе рассматривается решение этой проблемы, базируясь на модели силовых полей лауреата Нобелевской премии Р. Фейнмана (1949), в которой электрические и магнитные взаимодействия осуществляются так называемыми виртуальными фотонами [2]. Свойства виртуального фотона подобны свойствам фотона, также совершающего распространение электромагнитных взаимодействий, в частности, оба имеют прецессирующий спин S_v , то есть являются спинными вихрями в физическом вакууме [3].

В 2020 китайские учёные Ли Хао и др. [4] экспериментально подтвердили правомерность гипотезы Фейнмана. В среде, обладающей сверхтекучими свойствами и внутренним моментом количества движения, они обнаружили возможность образования “квантованных сверхтекучих вихревых линий под действием аксиальных потоков.” Таким образом, виртуальные фотоны можно рассматривать как спинные вихри, порождаемые движением квантовых объектов в физическом вакууме, обладающем внутренним моментом количества движения, то есть имеем: $\mathbf{u} \propto \boldsymbol{\omega}_v$, где $\mathbf{u}$ – скорость квантового объекта, $\boldsymbol{\omega}_v$ частота прецессии спина спинного вихря, образованного квантовым объектом.

На виртуальные фотоны не распространяется принцип неопределённости Гейзенберга. Неопределённость относится только к энергии $\Delta\varepsilon$ и количеству движения Δp , и не относится к моменту количества движения, то есть к характеристике спинных вихрей.

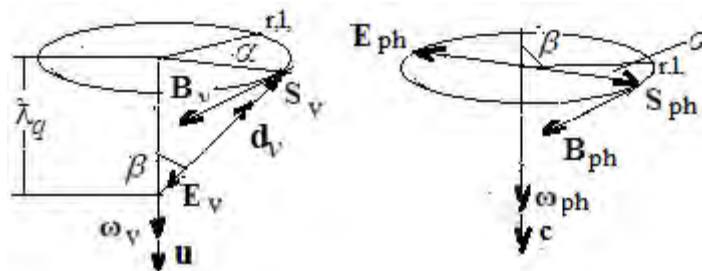
Свойства этих спинных вихрей подобны свойствам фотона, также совершающего распространение электромагнитных взаимодействий, поэтому Фейнман назвал эти спинные вихри виртуальными фотонами.

Данная работа содержит следующие разделы:

1. Свойства виртуальных фотонов.
2. Определение электрического дипольного момента виртуального фотона, создаваемого квантовым объектом.
 - 2.1. Электрический дипольный момент виртуального фотона, создаваемого электроном.
 - 2.2. Электрический дипольный момент виртуального фотона, создаваемого протоном.
3. Взаимодействие квантовых объектов за счёт взаимодействия виртуальных фотонов, создаваемых этими квантовыми объектами.
4. Свойства ядер при пространственном перекрытии создаваемых ими виртуальных фотонов.
 - 4.1. Сила притяжения между виртуальными фотонами в случае пространственного перекрытия создаваемых ими виртуальных фотонов.
 - 4.2. “Дефект массы”.
 - 4.3. Магнитная аномалия.
5. Образование “ядерных молекул”.
6. Излучения, сопровождающие разрушение виртуальных фотонов: электромагнитное излучение, генерация виртуальных частиц.
7. Дискуссия. Сверхтекучий спиновый ток в низкоэнергетических ядерных реакциях.
8. Заключение.

1. Свойства Виртуального Фотона, Создаваемого Квантовым Объектом

Сопоставим свойства виртуального фотона со свойствами фотона, базируясь на аналогии их функций: распространение электромагнитных взаимодействий. Характеристики виртуального фотона и фотона приведены на **Рис. 1а** и **Рис. 1б**, соответственно.



Схематическое изображение характеристик виртуального фотона (**Рис.1а**) и фотона (**Рис. 1б**).

ω_v частота прецессии спина S_v ; ω_{ph} частота прецессии спина S_{ph} ; E_{ph} и E_v -электрические составляющие, B_{ph} и B_v магнитные составляющие; u – скорости; β - углы дефлексии; d_v электрический дипольный момент. α -углы прецессии; r.l.- линии отсчёта. λ_q - размер виртуального фотона.

1) Угол β виртуального фотона определяется его скоростью u и скоростью света c :

$$\sin \beta = u / c . \quad (1)$$

Согласно экспериментам Вебера [5] угол β фотона определяется выражением: $\sin \beta = 1$. Из уравнения (1) следует, что при $u=c$ виртуальный фотон превращается в “реальный” фотон, что и наблюдается в эффекте П. А. Черенкова.

2) Виртуальный фотон, как и фотон, имеет электрическую составляющую E_v , связанную с её спином $E_v \uparrow \downarrow S_v$ и, согласно модели Фейнмана, с электрическим дипольным моментом виртуального фотона: $E_v \uparrow \downarrow d_v$. следовательно:

$$\mathbf{d}_v \uparrow\uparrow \mathbf{S}_v, \quad (2)$$

Наличие этого свойства у фотонов подтверждается экспериментально существованием поперечной оптической силы фотона: в параллельных пучках света пучки света с одинаковыми фазами – притягиваются, с противоположными фазами отталкиваются [6].

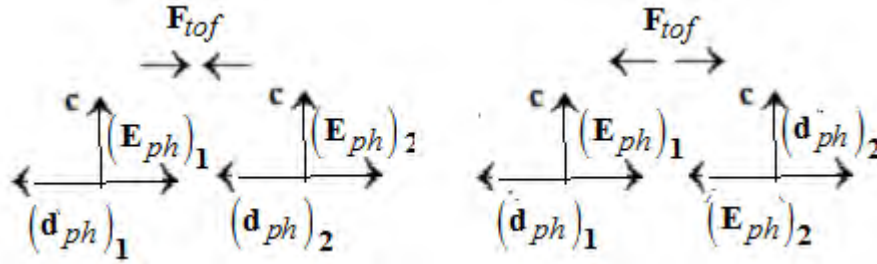


Рис. 2. Взаимодействующие пучки света. $(\mathbf{d}_{ph})_1$ и $(\mathbf{d}_{ph})_2$ – электрические дипольные моменты фотонов, $(\mathbf{E}_{ph})_1$ и $(\mathbf{E}_{ph})_2$ – электрические компоненты фотонов, c – скорость света, $\mathbf{F}_{tof}$ – поперечная оптическая сила.

3) Размер δ виртуального фотона равен длине волны λ_q волновой функции квантового объекта, создавшего этот фотон.

$$\delta = \lambda_q. \quad (3)$$

Постулированное Фейнманом совпадение свойств фотона со свойствами виртуального фотона, включают в себя и совпадение их волновых свойств. Согласно гипотезе де Бройля волновые свойства фотонов совпадают с волновыми свойствами квантовых объектов. Следовательно, волновые свойства квантовых объектов совпадают с волновыми свойствами создаваемых ими виртуальных фотонов.

4) Виртуальный фотон с прецессирующим спином обладает свойствами гороскопа. Следовательно, справедливо соотношение [7]:

$$\mathbf{M}_v = \omega_v \times \mathbf{S}_v, \quad (4)$$

где $\mathbf{M}_v$ момент, вызывающий прецессию спина $\mathbf{S}_v$ с частотой ω_v .

5) Так как электрическое поле электрически заряженного квантового объекта действует на электрический дипольный момент виртуального фотона, создаваемого этим объектом и следуемого за ним, то ориентация этого электрического дипольного момента определяется электрическим знаком квантового объекта и направлением его скорости $\mathbf{u}$. Следовательно, с учётом уравнения (2) и (4) соотношение $\mathbf{u} \square \omega_v$ может быть конкретизировано следующим образом:

$$\omega_v \uparrow\uparrow \eta \mathbf{u}, \quad (5)$$

где

$$\eta = \begin{cases} 1, & \text{для положительно заряженных квантовых объектов} \\ -1, & \text{для отрицательно заряженных квантовых объектов} \end{cases}. \quad (6)$$

Из закона сохранения момента количества движения следует [3]:

$$\omega_v \uparrow\uparrow \mathbf{S}_q, \quad (7)$$

где $\mathbf{S}_q$ - спин квантового объекта, создающего виртуальный фотон.

6) Так как свойства виртуального фотона аналогичны свойствам фотона масса виртуального фотона m_v определяется аналогично кинетической массе фотона: $m_{ph} = U_{ph} / c^2$, где U_{ph}

энергия фотона. Следовательно, масса виртуального фотона, создаваемого квантовым объектом, определяется выражением:

$$m_v = U_q / c^2, \quad (8)$$

где U_q энергия квантового объекта, создавшего виртуальный фотон.

2. Определение Электрического Дипольного Моента Виртуального Фотона, Создаваемого Квантовым Объектом

Согласно гипотезе Фейнмана виртуальный фотон состоит из двух электрически разноимённо заряженных виртуальных частиц. Обозначая заряд виртуальной частицы через q_v и используя уравнение (3), определяем электрический дипольный момент виртуального фотона d_v выражением:

$$d_v = q_v \lambda_q, \quad (9)$$

В квантовой механике длина волны λ_q волновой функции квантового объекта, определяется количеством движения p_q этого квантового объекта [8]:

$$\lambda_q = \hbar / p_q = \hbar / (m_q u), \quad (10)$$

где u и m_q соответственно скорость и масса квантового объекта, создавшего виртуальный фотон.

2.1. Электрический дипольный момент виртуального фотона, создаваемого электроном.

Результаты экспериментов, проведённых Кауфманом по отклонению бета-лучей, излучаемых радиом, показали, что масса электрона m_e имеет чисто электромагнитную природу. Предполагаем, что тоже самое справедливо для виртуальных частиц, составляющих виртуальный фотон, созданный электроном, то есть следующее справедливо:

$$2q_{ve} / m_{ve} = e / m_e, \quad (11)$$

where e – электрический заряд электрона; m_{ve} – масса виртуального фотона, создаваемого электроном, и равная сумме двух виртуальных частиц (с зарядом q_{ve}), составляющих виртуальный фотон. Определяя массу m_{ve} из выражения (8), принимаем во внимание, что в этом случае квантовым объектом является электрон, заменяем обозначение энергии квантового объекта U_q на U_e : то есть получаем $m_{ve} = U_e / c^2$. Тогда, решая совместно выражения (9)-(11) и, используя формулу для магнетон Бора $\mu_B = e\hbar / (2m_e c)$, получаем следующее выражение для электрического дипольного момента виртуального фотона, создаваемого электроном: $d_{ve} = \mu_B U_e / (p_e c)$. Если энергия U_e равняется кинетической энергии, тогда, используя выражения для $U_e = m_e u^2 / 2$ и для количества движения электрона $p_e = m_e u$, формулу для d_{ve} можно представить в виде:

$$d_{ve} = \mu_B u / (2c). \quad (12)$$

Решая совместно выражение для p_e и уравнения (9)-(10) и (12) можно получить для этого случая выражение для электрического заряда виртуальной частицы, составляющей виртуальный фотон, создаваемый электроном: $q_{ve} = \mu_B m_{ve} c / \hbar$.

Доказательством правомерности определения электрического дипольного момента виртуального фотона формулой (12) является возможность объяснения с использованием этой формулы спин-орбитального взаимодействия электрона в атоме водорода.

С этой целью рассмотрим момент $\mathbf{M}_e$, действующий в электрическом поле $\mathbf{E}_n$ ядра атома водорода на электрический диполь, d_{ve} , создаваемый электроном атома:

$$\mathbf{M}_e = \mathbf{d}_{ve} \times \mathbf{E}_n. \quad (13)$$

Так как для скорости u электрона в атоме водорода справедливо $u \ll c$, из условий (1)-(2) и (4)-(6) следует: $\mathbf{d}_{ve} \uparrow \uparrow \mathbf{u}$. Используя последнее условие и уравнение (12) в уравнении (13), мы получаем для электрона: $|\mathbf{M}_e| = |\mu_B (\mathbf{u} \times \mathbf{E}_n) / (2c)|$. Выражение для $\mathbf{M}_e$ совпадает с максимальным значением энергии спин-орбитального взаимодействия U_{s-o} электрона в атоме водорода, выведенное Л. Томасом, базируясь на главных требованиях релятивистской инвариантности [9]: $(U_{s-o})_{\max} = |\mu_B (\mathbf{u} \times \mathbf{E}_n) / (2c)|$.

2.2. Электрический дипольный момент виртуального фотона, созданного протоном.

Протон, подобно электрону, имеет электрический заряд и может возникать при распаде фотона [10], то есть подобно фотону он имеет электромагнитную природу. Следовательно, можно принять, что для протона можно ввести уравнение, аналогичное выражению (11) для электрона:

$$2q_{vp} / m_{vp} = e / m_p, \quad (14)$$

где q_{vp} электрический заряд виртуальной частицы, составляющей виртуальный фотон с массой m_{vp} ; m_p масса протона. Базируясь на уравнении (8), выражение для массы m_{vp} виртуального фотона, создаваемого протоном, может быть записано как:

$$m_{vp} = U_p / c^2, \quad (15)$$

где U_p энергия протона, создающего виртуальный фотон с массой m_{vp} . Решая совместно уравнения (1)-(2) and (14)-(15), и выражение для ядерного магнетона Бора $\mu_N = e\hbar / (2m_p c)$, получаем формулу для электрического дипольного момента виртуального фотона, создаваемого протоном: $d_{vp} = \mu_N U_p / (p_p c)$.

Если энергия U_p протона (с массой m_p и скоростью u) равна кинетической энергии, тогда, используя в уравнении для d_{vp} выражение $U_p = m_p u^2$ для энергии и выражение $p_p = m_p u$ для количества движения, получаем следующую формулу для электрического дипольного момента виртуального фотона, создаваемого протоном:

$$d_{vp} = \mu_N u / (2c). \quad (16)$$

Используя выражение $p_p = m_p u$ и уравнения (9) - (10) в уравнении (16), следующее выражение для q_{vp} может быть выведено:

$$q_{vp} = \mu_N m_p u^2 / (2c\hbar). \quad (17)$$

3. Взаимодействие Протонов Посредством Электрического Дипольного Взаимодействия Виртуальных Фотонов, Создаваемых Этими Протонами.

Используя уравнение (16) рассмотрим электрическое диполь-дипольное взаимодействие виртуальных фотонов, создаваемых протонами, двигающимися со скоростью u . Схематическое изображение виртуальных фотонов, создаваемых протонами, приведено на Рис. 3.

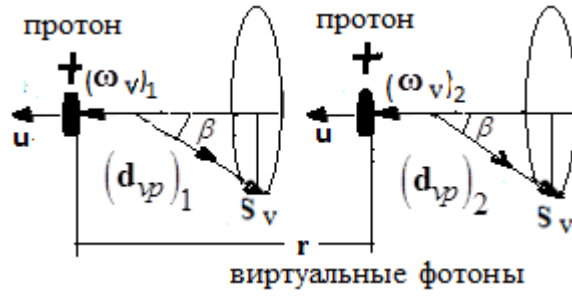


Рис. 3. Схематическое изображение виртуальных фотонов, создаваемых протонами. $(d_{vp})_1$ и $(d_{vp})_2$ - электрические дипольные моменты виртуальных фотонов; $(\omega_v)_1$ и $(\omega_v)_2$ частоты прецессии спинов S_v ; u - скорость протонов; r расстояние между протонами; β - углы дефлексии.

Сила притяжения F_a , действующая между виртуальными фотонами, создаваемыми протонами, определяется выражением [11]:

$$F_a = 6(d_{vp})_1(d_{vp})_2 \cos^2 \beta / r^4, \quad (18)$$

где $(d_{vp})_1 \cos \beta$ и $(d_{vp})_2 \cos \beta$ являются проекциями взаимодействующих протонов на направление u ; r - расстояние между протонами.

Кроме силы F_a , сила F_b действует между протонами. Здесь $F_b = 3(d_{vp})_1(d_{vp})_2 \sin^2 \beta / r^4$, где $(d_{vp})_1 \sin \beta$ and $(d_{vp})_2 \sin \beta$ являются проекциями электрических дипольных моментов of взаимодействующих протонов на направление, перпендикулярное u . Так как проекции электрических дипольных моментов совершают прецессионное движение, то в случае $(\omega_v)_1 \neq (\omega_v)_2$ среднее значение F_b равняется нулю.

Используя уравнения (1), (10) и (16) и при условии $r = \lambda_q$, выражение (18) можно представить в следующем виде:

$$F_a = 6\mu_N^2 m_p^4 u^6 (1 - u^2 / c^2) / (4c^2 \hbar^4). \quad (19)$$

Можно определить скорость, при которой F_a имеет максимальное значение. Для этого находим значение u , при которой $\partial^2 F_a / \partial^2 u = 0$. Результат:

$$u \approx 0.6 \cdot c = 1.8 \cdot 10^8 \text{ м/с}. \quad (20)$$

Длина волны протона λ_q в этом случае определяется согласно уравнению (10):

$$\lambda_q = \hbar / (m_p u) = 10^{-27} / (1.672 \cdot 10^{-24} \cdot 0.6 \cdot 3 \cdot 10^{10}) = 0.33 \cdot 10^{-15} \text{ м}. \quad (21)$$

Использование уравнения (20) в уравнении (19) приводит к следующему значению для силы $F_a = 3.3 \cdot 10^1 \text{ Н}$. Сила Кулоновского отталкивания F_q между двумя протонами с зарядами e определяется как: $F_q = e^2 / \lambda_q^2$. При использовании уравнения (21) и значений всех используемых констант получаем $F_q = e^2 m_p^2 u^2 / \hbar^2 = 2.3 \cdot 10^3 \text{ Н}$. Таким образом, отношение

F_a / F_q определяется как: $F_a / F_q \approx 8.8 \cdot 10^6 / 2.3 \cdot 10^8 \approx 3.8 \cdot 10^{-2}$. Из полученного значения F_a / F_q следует, что в рассмотренном случае сила F_a не является силой, компенсирующей Кулоновское взаимодействие между протонами (силой F_q).

4. Свойства Ядер при Пространственном Перекрытии Создаваемых ими Виртуальных Фотонов.

Рассмотрим теперь случай, когда последовательность коаксиальных протонов подлежит сжатию (как в никель-водородном реакторе). Результатом этого сжатия является изменение размеров и структуры виртуальных фотонов, создаваемых взаимодействующими протонами. На **Рис. 4** представлены варианты схематического изображения пространственного перекрытия виртуальных фотонов, созданных парой протонов. Вариант (а) - характеристики взаимодействующих виртуальных фотонов: ω_v - частоты прецессии и спина S_v ; d_{vp} - электрические дипольные моменты. Вариант (b) – графическое изображение аннигиляции виртуальных частиц, составляющих пространственно перекрывающиеся виртуальные фотоны

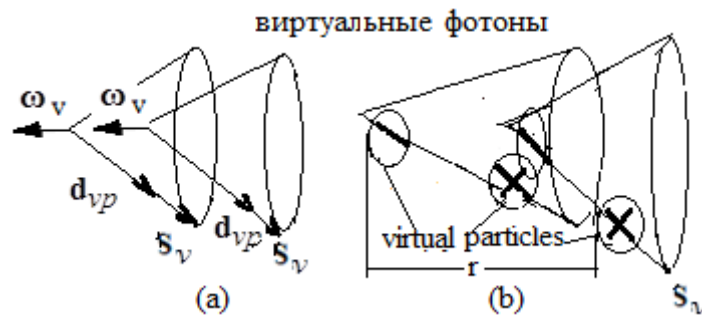


Рис. 4. Вариант (а) - характеристики взаимодействующих виртуальных фотонов: ω_v - частоты прецессии и спина S_v ; d_{vp} - электрические дипольные моменты. Вариант (b) – результат аннигиляции: $\ominus$ и $\oplus$ электрически заряженные “виртуальные частицы” в виртуальных фотонах.

Имеется три следствия пространственного перекрытия виртуальных фотонов: увеличение силы притяжения между квантовыми объектами, создавшими эти виртуальные фотоны, “масс дефект” и магнитная аномалия. Рассмотрим эти следствия.

4.1. Сила притяжения между виртуальными фотонами в случае пространственного перекрытия создаваемых ими виртуальных фотонов.

Как показано на Рис. 3 в этом случае сила притяжения F_a между виртуальными протонами - это сила не между электрическими дипольными моментами d_{vp} (выражение (19)) а между зарядами q_{vp} ($F_a = q_{vp}^2 / r^2$ где r – расстояние между электрически заряженными виртуальными частицами). Таким образом, в этом случае с использованием уравнения (17) для q_{vp} сила F_a определяется как:

$$F_a = \left(\mu_N m_p u^2 / (2c\hbar) \right)^2 / r^2 = 3.1 \cdot 10^{-32} / r^2 \text{ Н.} \quad (22)$$

При определении силы F_q между протонами необходимо принять во внимание, что вследствие аннигиляции виртуальных частиц в виртуальных фотонах, создаваемых взаимодействующими протонами, расстояние между этими протонами может уменьшиться

почти в два раза (до величины $\lambda_q / 2$). Тогда, сила отталкивания F_q определяется как:

$$F_q = 4e^2 / \lambda_q^2 = 4 \cdot (4.8 \cdot 10^{-10} / 10^{-12})^2 = 9.2 \text{ Н.}$$

Расстояние r в уравнении (22) определяем из равенства: $F_a = F_q$: тогда: $r = 5.8 \cdot 10^{-19} \text{ м}$, или, согласно уравнению (21), $r \approx 10^{-4} \lambda_q$, то есть:

$$r < \lambda_q \quad (23)$$

Примечания:

1) Уравнение (22) правомерно только при условии, что расстояние между взаимодействующими виртуальными частицами много больше размеров этих частиц. Не исключено, что это условие не выполняется для найденного значения r и тогда истинная величина F_a много больше величины, рассчитанной по формуле (22).

4.2. “Дефект массы”

Частичная аннигиляция виртуальных частиц в виртуальных фотонах, создаваемых взаимодействующими протонами, приводит к уменьшению полной массы рассматриваемой пары виртуальных фотонов, то есть: $(m_{vp})_t < (m_{vp})_1 + (m_{vp})_2$, где $(m_{vp})_1$ и $(m_{vp})_2$ обозначают массы виртуальных фотонов до аннигиляции; $(m_{vp})_t$ - суммарная масса виртуальных фотонов после аннигиляции. Таким образом, неравенство (23) сопровождается потерей массы взаимодействующих виртуальных частиц. Значение

$$\Delta m_{vp} = (m_{vp})_t - (m_{vp})_1 - (m_{vp})_2 \quad (24)$$

называется “дефектом массы”. Если каждое из взаимодействующих виртуальных фотонов “теряет” одну электрически заряженную виртуальную частицу (Рис. 4), то масса каждого виртуального фотона уменьшается в два раза. Следовательно, в соответствии с уравнением (24) при $(m_{vp})_1 = (m_{vp})_2 = m_{vp}$ “дефект массы” будет равен начальной массе виртуального фотона, то есть: $\Delta m_{vp} = m_{vp}$. Согласно уравнению (15), энергия, связанная с “дефектом массы”: $m_{vp} c^2$, равна энергии протона: U_p .

4.3. Магнитная аномалия

Вышерассмотренный способ компенсации кулоновского взаимодействия между протонами (частичная аннигиляция виртуальных фотонов, создаваемых взаимодействующими объектами) имеет место и при образовании куперовской пары электронов в сверхпроводниках [12]. В сверхпроводниках это явление сопровождается или полным выталкиванием магнитного поля при сверхпроводимости в полном объеме, (эффект Мэйснера) или его проникновением только в виде вихревых линий (“нити Абрикосова”) при существовании в веществе сверхпроводящих и не сверхпроводящих областей. Следовательно, магнитная аномалия должна сопровождать и “сдавливание” цепочки протонов в никель-водородном ядерном реакторе.

5. Образование “Ядерных Молекул”

Диполь-дипольное взаимодействие может приводить к созданию молекул из ядер (так называемых “ядерных молекул”). Рассмотрим несколько примеров “ядерных молекул”.

1) Известный “захват” электрона протоном может выполняться диполь дипольным взаимодействием виртуальных фотонов, создаваемых электроном и протоном (см. Рис. 5). В этом случае сила кулоновского взаимодействия (зарядов) протона и электрона равна:

$F1=e^2/r1^2$ компенсируется силой отталкивания $F2$, возникающей вследствие диполь-дипольного взаимодействия виртуальных фотонов, создаваемых электроном и протоном:

$$F2=6(d_{vp})_1 \cdot (d_v)_2 \cos^2 \beta / r1^4.$$

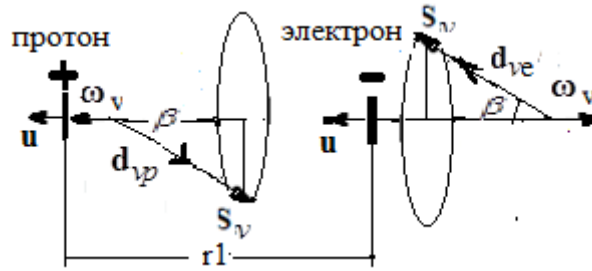


Рис. 5. Схематическое изображение виртуальных фотонов, создаваемых протоном и электроном. ω_v - частоты прецессии спинов S_v ; d_{vp} и d_{ve} - электрические дипольные моменты виртуальных фотонов, создаваемых протоном и электроном, соответственно; u - скорости; β - углы дефлексии.

Примечание. Кроме диполь-дипольного взаимодействия виртуальных фотонов, создаваемых электроном и протоном, возможно взаимодействие виртуального фотона (создаваемого электроном) как электрического диполя, с электрическим полем протона.

2) Перспективным с точки зрения выполнения холодного ядерного синтеза является “захват” электрона двумя протонами, см. **Рис. 6**. В этой конфигурации кулоновская сила между любыми двумя протонами компенсируется не только силой диполь-дипольного взаимодействия между виртуальными фотонами, создаваемыми этими квантовыми объектами и электронами, но и силой электрического взаимодействия электронов и протонов как зарядов.

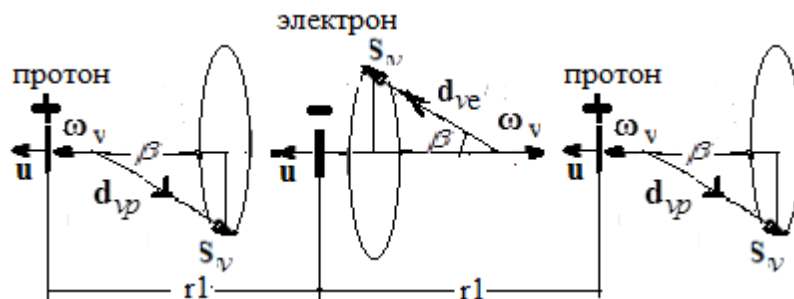


Рис. 6. Схематическое изображение виртуальных фотонов, созданных протонами и электроном. ω_v - частоты прецессии спинов S_v ; d_{vp} и d_{ve} - электрические дипольные моменты виртуальных фотонов, создаваемых протонами и электроном, соответственно; u - скорости протонов и электрона; β - углы дефлексии.

На **Рис. 7** представлена последовательность виртуальных фотонов, создаваемых соосно расположенными протонами. Отметим, что в этой последовательности, согласно уравнениям (5)-(7), ориентация скоростей протонов и электронов в одном направлении означает также ориентацию в одном направлении частот прецессии ω_v и спинов S_v виртуальных фотонов, создаваемых этими протонами и электронами.

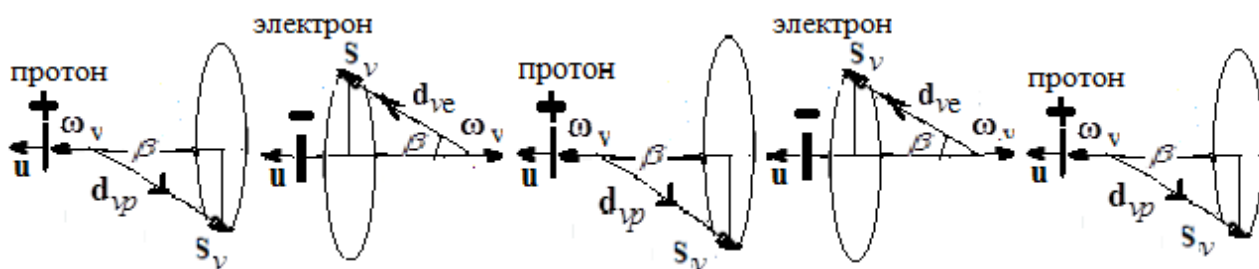


Рис. 7. Последовательность соосных протонов с создаваемыми ими виртуальными фотонами. ω_v - частоты прецессии спинов S_v ; d_{vp} - электрические дипольные моменты; β углы дефлексии; u – скорость протонов.

Последовательность протонов, представленная на рис. 7, может быть преобразована в циклическую конфигурацию. Пример такой конфигурации, состоящей из протонов и создаваемых ими виртуальных фотонов, приведён на **Рис. 8**. Стрелками показаны направления электрических дипольных моментов виртуальных фотонов, создаваемых рассматриваемыми протонами. Красной стрелкой отмечены электроны.



Рис. 8. Циклическая конфигурация последовательности протонов и электронов, и созданных ими виртуальных фотонов. Стрелками показаны направления электрических дипольных моментов виртуальных фотонов. Квантовые объекты, отмеченные красными стрелками, являются электронами. Остальные являются протонами.

3) На рис. 9 приведена схема циклической конфигурации последовательности одних протонов, без встраивания в эту цепочку электронов (см. рис.9).



Рис. 9. Стрелками показаны направления электрических дипольных моментов виртуальных фотонов, создаваемых протонами,

4) На **Рис. 10** приведён пример “ядерной молекулы”, составленной из одноименно заряженных квантовых объектов (из четырёх протонов), в которой между любыми двумя соседними (строго по вертикали и строго по горизонтали) протонами действует сила притяжения, обусловленная электрическим диполь-дипольным взаимодействием виртуальных фотонов, создаваемых этими протонами.

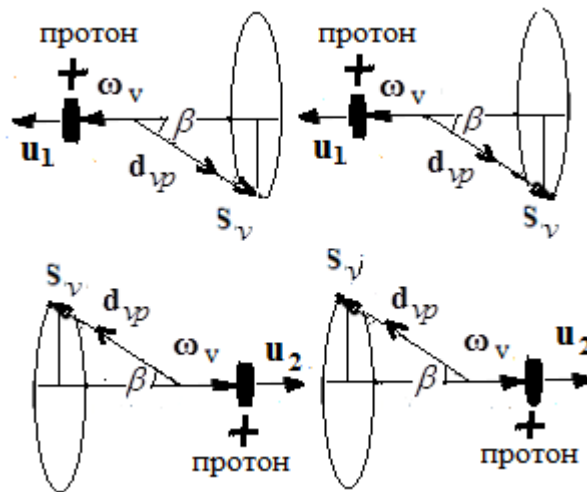


Рис. 10. Схематическое изображение виртуальных фотонов, создаваемых четырьмя протонами. u_1 и u_2 скорости протонов; ω_v - частоты прецессии спинов S_v ; d_{vp} электрические дипольные моменты; β углы дефлексии.

6. Излучения, Сопровождающие Разрушение Виртуальных Фотонов: Электромагнитное Излучение, Генерация Виртуальных Частиц.

Имеется несколько способов разрушения виртуальных фотонов.

1) Согласно уравнению (1) при скорости u виртуального фотона, равной скорости света c , свойства виртуального фотона будут идентичны свойствам фотона и этот фотон излучается. То есть, возникает эффект Вавилова-Черенкова. Большая часть Черенковского излучения лежит в ультрафиолетовой части спектра ($7.5 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$); видимую часть Черенковского излучения составляет ярко синее излучение ($4.5 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 5.1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$). Эти данные не противоречат спектру электромагнитного излучения, наблюдаемого в процессе холодного ядерного синтеза [13].

2) Аналогично распаду фотона в электрических полях тяжёлых ядер на противоположно заряженные объекты (например, на электрон и позитрон) [8] распад виртуального фотона в электрических полях на противоположно заряженные “виртуальные частицы” также может иметь место. Схематическое изображение распада виртуального фотона дано на **Рис. 11**.

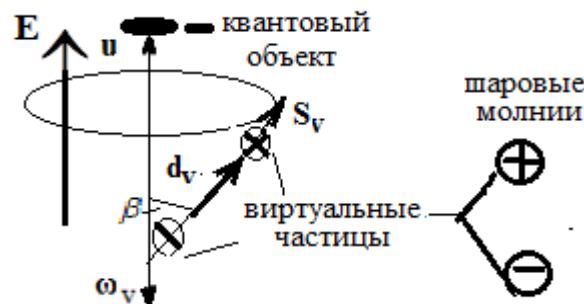


Рис. 11. Результаты распада виртуального фотона в электрическом поле, на виртуальные частицы, подобные шаровым молниям. E - напряжённость электрического поля; u - скорость квантового объекта; ω_v - частота прецессии спина S_v ; d_v - электрический дипольный момент виртуального фотона, созданного квантовым объектом; β угол дефлексии.

Излучение ядерным реактором “виртуальных частиц” наблюдалось в экспериментах и классифицировалось в ряде работ как излучение “шаровых молний” [14]. Снимок излучаемого ядерным реактором объекта, имеющего вид шаровой молнии, приведён на **Рис. 12**.

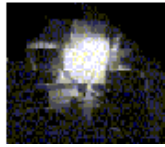


Рис. 12. Снимок объекта, излучаемого в течение активирования низко-энергетической ядерной реакции (размер несколько см).

Примечание. В процессе проведения ядерной реакции между протонами возможен распад одного протона в электрическом поле другого протона с возникновением новых элементов.

7. Дискуссия. Сверхтекучий Спиновый Ток в Низкоэнергетических Ядерных Реакциях

Так как компенсация кулоновского взаимодействия между протонами в ядерном реакторе осуществляется в результате электрического диполь-дипольного взаимодействия виртуальных фотонов, создаваемых этими протонами, для стабильного функционирования ядерного реактора необходимо существование процессов, поддерживающих определенное взаимное направление этих электрических дипольных моментов. Такой процесс существует – это сверхтекучий спиновый ток.

Сверхтекучий спиновый ток возникает между объектами, имеющими прецессирующие спины, и стремится выровнять соответствующие характеристики этих спинов (углы прецессии и дефлексии). Таким образом сверхтекучий спиновый ток осуществляет передачу угловых моментов [15], связанных со спинами (**Рис. 13**).

Значение сверхтекучего спинового тока I_z , возникающего между виртуальными фотонами вдоль ось z . (**Рис. 13**), определяется как: $I_z = -b_1(\alpha_1 - \alpha_2) - b_2(\beta_1 - \beta_2)$, где b_1 и b_2 - коэффициенты, зависящие от β_1 и β_2 ; $b_1 > 0$, $b_2 > 0$. Результатом действия этого тока являются следующие неравенства: $|\alpha_1 - \alpha_2| \geq |\alpha'_1 - \alpha'_2|$ и $|\beta_1 - \beta_2| \geq |\beta'_1 - \beta'_2|$, где α'_1 и α'_2 , а также β'_1 и β'_2 - значения соответственно углов прецессии и углов дефлексии спинов взаимодействующих спиновых структур после действия сверхтекучего спинового тока.

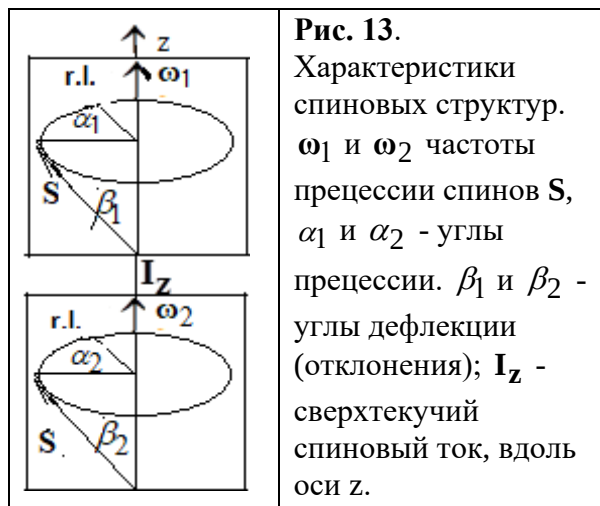


Рис. 13. Характеристики спиновых структур. ω_1 и ω_2 частоты прецессии спинов S , α_1 и α_2 - углы прецессии. β_1 и β_2 - углы дефлексии (отклонения); I_z - сверхтекучий спиновый ток, вдоль оси z .

Рис. 13. Характеристики виртуальных фотонов, определяющие сверхтекучий спиновый ток вдоль оси z , I_z : α_1 и α_2 - углы прецессии, определяемые от линии отсчёта $r.l.$; β_1 and β_2 - углы дефлексии (отклонения); ω_1 и ω_2 - частоты прецессии; S – спины.

Таким образом, в цепочке протонов в никель –водородном реакторе будет сохраняться ориентация частот ω_v прецессии спинов виртуальных фотонов, создаваемых этими протонами, вдоль одной прямой. Согласно уравнениям (2), (4) и (7) будет сохраняться и определённое взаимное направление как электрических дипольных моментов d_v виртуальных фотонов, так и спинов S_q , создающих эти фотоны, протонов, то есть протоны будут соосными.

Сверхтекучий спиновый ток не экранируется электрическими и магнитными экранами и может наблюдаться вне реактора. Наряду с электромагнитным излучением и шаровыми молниями сверхтекучий спиновый ток является составной частью излучения ядерного реактора.

Именно излучением этого вида можно объяснить возникновение на поверхностях различных материалов треков, имеющих вихревую форму и треков близнецов (возникают, если скорость сверхтекучего спинного тока больше скорости сжатия среды, где распространяется ток). Примеры треков приведены на **Рис. 14** [14].

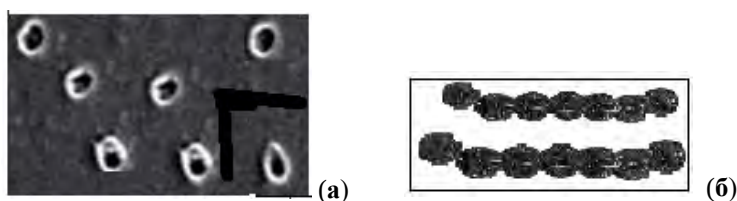


Рис. 14. Фотографии треков, возникающих на поверхностях различных материалов под действием излучения ядерных реакторов. Вариант (а) - “вихревые” треки; вариант (б) треки –“близнецы”.

Наблюдаемое последствие ядерного реактора [14] может объясняться гироскопическими свойствами виртуальных фотонов (вследствие наличия спинов), создаваемых ядрами, участвующими в реакциях.

8. Заключение

1. Компенсация Кулоновского взаимодействия между ядрами в целях последующего ядерного слияния (например, между соосными протонами в никель-водородном реакторе) может осуществляться в результате электрического взаимодействия виртуальных фотонов, создаваемых взаимодействующими протонами.
2. При взаимодействии квантовых объектов пространственное перекрытие создаваемых ими виртуальных фотонов с противоположно ориентированными электрическими дипольными моментами может иметь место. Этот процесс сопровождается уменьшением суммарной массы этих виртуальных фотонов (“дефектом массы”), и возможностью возникновения магнитной аномалии в окрестности этих виртуальных фотонов.
3. Возможно образование комплексов из многих ядер (так называемых “ядерных молекул”), за счёт электрического диполь-дипольного взаимодействия виртуальных фотонов, создаваемых этими ядрами.
4. Если скорость виртуальных фотонов приобретает значение, равное скорости света, происходит трансформация виртуального фотона в фотон. Таким образом возникает эффект Вавилова-Черенкова, то есть электромагнитное излучение.
5. В электрическом поле возможен распад виртуальных фотонов на составляющие его положительно и отрицательно заряженные, так называемые “виртуальные частицы”. Эти комплексы излучаются в процесс ядерных реакций и могут классифицироваться как “шаровые молнии”.
6. Сохранение определенного взаимного направления дипольных моментов виртуальных фотонов, создаваемых взаимодействующими протонами, может осуществляться сверхтекучим

спиновым током. Этот ток может определять и некоторые свойства излучения ядерного реактора.

9. Литература

1. Чижев В.А. О работе никель-водородного контейнера и физическая модель-гипотеза возникновения “странного” излучения.// XVI международная конференция Финслеровы обобщения теории относительности. "МИС-РТ"-2021, Сборник №76: с. 95-111, <http://ikar.udm.ru/mis-rt.htm>.
2. Feynman R. Space-time approach to quantum electrodynamics. //Phys. Rev., 1949, v. 76, p.769-789.
3. Болдырева Л.Б. Теория спиновых вихрей в физическом вакууме, состоящем из квантовых осцилляторов. //М. ЛЕНАНД 2022, 280с. ISBN 978-5-9710-9460-9.
4. Li H., Chong L., Zhang-Ying Y., Wen-LY. Quantized Superfluid Vortex Filaments Induced by the Axial Flow Effect. //Chin. Phys. Lett. 2020, v,37, №3, 030302 (1-4)p. DOI: 10.1088/0256-307X/37/3/030302.
5. Weber M., Kelvin L. Three Photon Annihilations of Positrons and Positronium in Solids with Two Detectors in Coincidence. //Radiat. Phys. Chem. 2000, v.58, №5-6, p. 749-775.
6. Li Mo, Pernice W., Xiong C., Baehr-Jones T., Hochberg M. and Tang H. Harnessing optical forces in integrated photonic circuits”. //Nature 2008, 456(7221), p. 480-484. DOI:10.1038/Nature 07545.
7. Седов Л.И. Механика Сплошных Сред //1994, том 1-2. с. 538-560, Издательство “Наука”.
8. Вихман Э. Квантовая физика. // Берклеевский курс физики, 1977, т. IV, 415с., Изд-во “Наука”..
9. Thomas L. The Kinematics of an Electron with an Axis. //Phil. Mag. 1927, v.3, №1, p.1-22.
10. SHIP collaborations: a.magnan@imperial.ac.uk, Sensitivity of the SHIP experiment to dark photons decaying to a pair of charged particles (Regular article. Experimental physics). //The European Physical Journal C, 2021, v.81, №5, p. 451-467, <https://doi.org/10.1140/epjc/s19952-021-09224-3>.
11. Парсел Э. Электричество и Магнетизм. //Берклеевский курс физики, 1975, т.2, 440с. Издательство “Наука”. УДК 537.0(075.8).
12. Boldyreva L.B. Superconductivity and its properties: Cooper pairs, Meissner effect, London moment, Gravitomagnetic and Gravitoelectric processes. //Journal of Physics & Optics Sciences 2024, т.6, №12, p.1-9. DOI.ORG/10.47363/JPSOS/2024(6)285 ISSN2754-4753.
13. Баранов Д.С, Зателепин В.Н, Панчелюга В.А, Шишкин А.Л. Перенос “темного водорода” атомарным веществом. Методы диагностики “темного водорода”.//РЭНСИТ, 2021, т.13, №3, p.319-328, DOI: 10.17725/rensit.2021.13.319.
14. Жигалов В.А., Забавин С.Н., Пархомов А.Г., Соболев А.Г., Тимербулатов Т.Р. Статистика и структура треков странного излучения от двух типов реакторов LENR. //Журнал Формирующихся Направлений Науки, 2018, Выпуск №21-22, с. 19-25, <http://www.unconv-science.org/n21/Zhigalov/>.
15. Дмитриев В.В. Спиновая сверхтекучесть в ^3He . Конференции и симпозиумы. // Успехи физических наук, 2005, т.175, №1, с. 85-92. PACS number: 67.57.-z.67.57.Lm.

References

1. Chizhov V.A. O rabote nikel'-vodorodnogo kontejnera i fizicheskaya model'-gipoteza vozniknoveniya “strannogo” izlucheniya. [About operation of nickel - hydrogen batteries and physical model - hypothesis of occurrence of ‘strange’ radiation.] XVI mezhduнародnaya konferenciya Finslerovy obobshcheniya teorii otnositel'nosti. "MIS-RT"-2021 [XVI international conference. FERT 2020. “MIC-PT”-2021], Collection №76-5. size 304p, p. 111, <http://ikar.udm.ru/mls=rt.htm>.
2. Feynman R. Space-time approach to quantum electrodynamics. //Phys. Rev., 1949, v. 76, p.769-789.

3. Boldyreva L.B. A theory of spin vortices in a physical vacuum consisting of quantum oscillators. //Cambridge Scholars Publishing, 2021, 250 pp.
<https://www.cambridgescholars.com/product/978-1-5275-6455-8>.
4. Li H., Chong L., Zhang-Ying Y., Wen-LY. Quantized Superfluid Vortex Filaments Induced by the Axial Flow Effect. //Chin. Phys. Lett. 2020, v,37, №3, 030302 (1-4)p. DOI: 10.1088/0256-307X/37/3/030302.
5. Weber M., Kelvin L. Three Photon Annihilations of Positrons and Positronium in Solids with Two Detectors in Coincidence. //Radiat. Phys. Chem. 2000, v.58, №5-6, p. 749-775.
6. Li Mo, Pernice W., Xiong C., Baehr-Jones T., Hochberg M. and Tang H. Harnessing optical forces in integrated photonic circuits”. //Nature 2008, 456(7221), p. 480-484. DOI:10.1038/Nature 07545.
7. Sedov L.I. A Course in Continuum Mechanics. //1994, v.2, p. 538-560, Nauka Publishing House.
8. Wichmann E. Quantum Physics. //Berkeley physics course, 1971, v.IV, 416p. New York: McGraw-Hill Book company.
9. Thomas L. The Kinematics of an Electron with an Axis. //Phil. Mag. 1927, v.3, №1, p.1-22.
10. SHIP collaborations: a.magnan@imperial.ac.uk, Sensitivity of the SHIP experiment to dark photons decaying to a pair of charged particles (Regular article. Experimental physics). //The European Physical Journal C, 2021, v.81, №5, p. 451-467, <https://doi.org/10.1140/epjc/s19952-021-09224-3>.
11. Purcell E.M. Electricity and Magnetism. //Berkeley physics course, 1965, v.2, 440p. New York: McGraw-Hill Book company.
12. Boldyreva L.B. Superconductivity and its properties: Cooper pairs, Meissner effect, London moment, Gravitomagnetic and Gravitoelectric processes. //Journal of Physics & Optics Sciences 2024, т.6, №12, p.1-9. DOI.ORG/10.47363/JPSOS/2024(6)285 ISSN2754-4753.
13. Baranov D.S., Panchelynge V.A., Zatelepin V.N., Zhishiin A.L. Perenos “temnogo vodoroda” atomarnym veshchestvom. Metody diagnostiki “temnogo vodoroda”. [Transfer of “dark hydrogen” by atomic matter. The methods of diagnostic of “dark hydrogen”], RENSIT [RENSIT], 2021, vol. 13, №3): p. 319-328, DOI: 10.17725/rensit.2021.13.319.
14. Zhigalov V.A., Zabavin S.N., Parchomov A.G., Sobolev A.G., Timerbulatov T.R. Statistika i struktura trekov strannogo izlucheniya ot dvuh tipov reaktorov LENR [Track statistics and structure of “strange” radiation from two types of reactors LENR.]. ZHurnal Formiruyushchihsya Napravlenij Nauki [International Journal of Unconventional Science], 2018. Release №21-22, p. 19-25, <http://www.unconv-science.org/n21/Zhigalov/>.
15. Dmitriev V.V., Fomin I.A. Homogeneously precessing domain in $^3\text{He-B}$: formation and properties. //Journal of Physics: Condensed Matter, 2009, v.21, №16, 164202 (9 pp).

Взаимодействие Ядер в Низкоэнергетических Ядерных Реакциях

Болдырева Людмила Борисовна,

Учёная степень: к.техн.н, учёное звание: доцент.

Должность (до выхода на пенсию) доцент Государственного Университета Управления (109542, Москва, Рязанский проспект, 99).

Адреса автора. Электронный адрес: boldyrev-m@yandex.ru; почтовый адрес 119571 Москва, ул. 26 Бакинских Комиссаров, дом 7, корп. 6, кв 28_

virtual photons and in such a way on the structure of chemical elements containing these quantum objects. Thus, the transmutations of chemical elements can take place.

In the next sections, the above physical processes determining the execution of low-energy nuclear reactions will be considered in detail.

1. Creation of Virtual Photons by Quantum Object

1.2. The properties of virtual photon

In 1965, R. F. Feynman won the Nobel Prize for his hypothesis about creation by quantum objects, that are features in electric and magnetic fields, of objects having properties of photon [1]: spin S_v and electric dipole moment d_v (as follows from experiments with so-called Transverse Optical Force, photon has an electric dipole moment [5]):

$$d_v \uparrow\uparrow S_v. \quad (1)$$

Feynman called the object proposed by him “virtual photon”.

Some properties of virtual photon are similar to properties of spin vortex [2]. Similar to properties of spin vortex, spin S_v performs precession motion with frequency ω_v defined according to property of gyroscopes [6] as:

$$M_v = \omega_v \times S_v, \quad (2)$$

where M_v is a moment causing precession; and:

$$\omega_v \uparrow\uparrow S_q, \quad (3)$$

where S_q is a spin of quantum object that creates virtual photon.

As the charge of quantum object acts on electric dipole moment d_v of virtual photon created by this quantum object and following it, the following is valid with taking into account Eqs (1) and (2):

$$\omega_v \uparrow\uparrow \eta u, \quad (4)$$

$$\eta = \begin{cases} 1, & \text{for positively charged of quantum objects} \\ -1, & \text{for negatively charged of quantum objects} \end{cases}, \quad (5)$$

where u is velocity of quantum object.

Figure 1 contains schemas of virtual photons created by both negatively and positively charged quantum objects with taking into account that the size of virtual photon is equal to wavelength λ_q of quantum object creating the virtual photon [1].

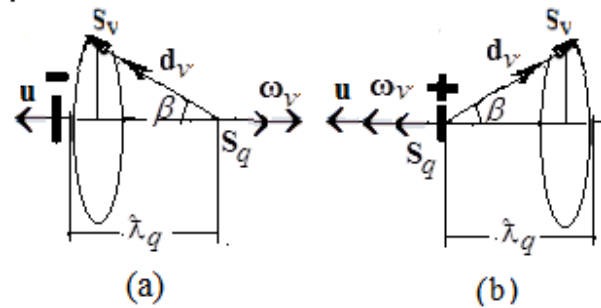


Figure 1. Schemas of virtual photons created by both negatively (variant (a)) and positively (variant (b)) charged quantum objects. d_v are electric dipole moments; ω_v are frequencies of precession of spins S_v ; β are angles of deflection; u and S_q are velocities and spins of quantum objects; λ_q are sizes of virtual photons.

The angle of deflection β is determined by speed u of quantum object and by speed of light c [2]:

$$\sin \beta = u / c. \quad (6)$$

1.2. Definition of expressions for electric dipole moments of virtual photons created by electron and proton, respectively d_{ve} and d_{vp}

Based on the results of experiments conducted by Kaufmann [7] on the deflection of beta-rays emitted by radium, which showed that the mass of electron m_e is purely of an electromagnetic nature, we assume that the same is valid for the virtual particle (with mass $m_v/2$ and charge q_v) that, according to hypothesis of Feynman, makes up the virtual photon with mass m_v : that is, the following holds: $e / m_e = 2 q_v / m_v$ (e is the electric charge of electron). From the latter expression we obtain the expression for q_v :

$$q_v = e m_v / (2 m_e). \quad (7)$$

As, according to Feynman's hypothesis, the properties of virtual photon are similar to the properties of photon, the mass of virtual photon will be defined similar to kinetic mass of photon $m_{ph}: m_{ph} = U_{ph} / c^2$, where U_{ph} is photon energy, c is the speed of light. Consequently, the mass of virtual photon m_v may be defined as:

$$m_v = U_q / c^2, \quad (8)$$

where U_q is the energy of quantum object creating the virtual photon.

In general, electric dipole moment d_v of virtual photon is defined by the electric charge q_v of virtual particle that constitutes virtual photon (according to Feynman hypothesis [1]) and size of virtual photon λ_q :

$$d_v = q_v \cdot \lambda_q. \quad (9)$$

Note. Essentially, the formula (9) unites classical mechanics (electric dipole moment and electric charge) with quantum concept (wavelength of wave function of quantum object defined by its moment p_q [8]):

$$\lambda_q = \hbar / p_q. \quad (10)$$

Solving together Eqs (7)-(10) and using the formula for Bohr magneton $\mu_B = e\hbar / (2m_e c)$, we obtain the following expression for electric dipole moment d_v of virtual photon created by quantum object:

$$d_v = \mu_B U_q / (c p_q). \quad (11)$$

If the energy of the quantum object (with mass m_q and velocity u) is equal to its kinetic energy

$(U_q = m_q u^2 / 2)$ and taking into account $p_q = m_q u$, the equation (11) can be rewritten in the form:

$$d_v = \mu_B u / (2c). \quad (12)$$

The equation (12) can be extended to electric dipole moment of electron d_{ve} if speed u is equal to the speed of electron u_e :

$$d_{ve} = \mu_B u_e / (2c). \quad (13)$$

The equation (12) can be extended as well to electric dipole moment of proton d_{vp} if the speed u is equal to the speed of proton u_p and the magneton of Bohr $\mu_B = e\hbar / (2m_e c)$ is replaced by nuclear magneton μ_N :

$$d_{vp} = \mu_N u_p / (2c). \quad (14)$$

1.3. Energy characteristic of virtual photon

The interaction of virtual photons is characterized by energy W_v , moment M_v , force F_v . These characteristics in the CGS system can be determined by the following expressions [9]:

$$W_v = \left((\mathbf{d}_{v1} \mathbf{d}_{v2}) r^2 - 3(\mathbf{d}_{v1} \mathbf{r})(\mathbf{d}_{v2} \mathbf{r}) \right) / r^5, \quad (15)$$

$$\mathbf{M}_v = \left[\mathbf{d}_{v2}, \left(\left(3\mathbf{r}(\mathbf{d}_{v1} \mathbf{r}) - \mathbf{d}_{v1} r^2 \right) / r^5 \right) \right], \quad (16)$$

where r is the distance ($\mathbf{r}$ is vector of distance) between virtual photon.

If mutual orientation of electric dipole moments of virtual photons is parallel or antiparallel, force F_v between them is determined as:

$$\mathbf{F}_v = \begin{cases} k \mathbf{d}_{v1} \mathbf{d}_{v2} / r^4 - \text{attractive if } \mathbf{d}_{v1} \uparrow \downarrow \mathbf{d}_{v2} (k=3) \text{ or } \mathbf{d}_{v1} \rightarrow \rightarrow \mathbf{d}_{v2} (k=6). \\ k \mathbf{d}_{v1} \mathbf{d}_{v2} / r^4 - \text{repulsive if } \mathbf{d}_{v1} \uparrow \uparrow \mathbf{d}_{v2} (k=-3) \text{ or } \mathbf{d}_{v1} \leftarrow \leftarrow \mathbf{d}_{v2} (k=-6). \end{cases} \quad (17)$$

Equations (15)-(17) are valid if distance r between interacting virtual photons is much greater than their size $\tilde{\lambda}_q$, that is:

$$\tilde{\lambda}_q \ll r. \quad (18)$$

Let us analyze energy characteristics of virtual particle in more detail using as an example the energy property of molecule of hydrogen, see Figure 2.

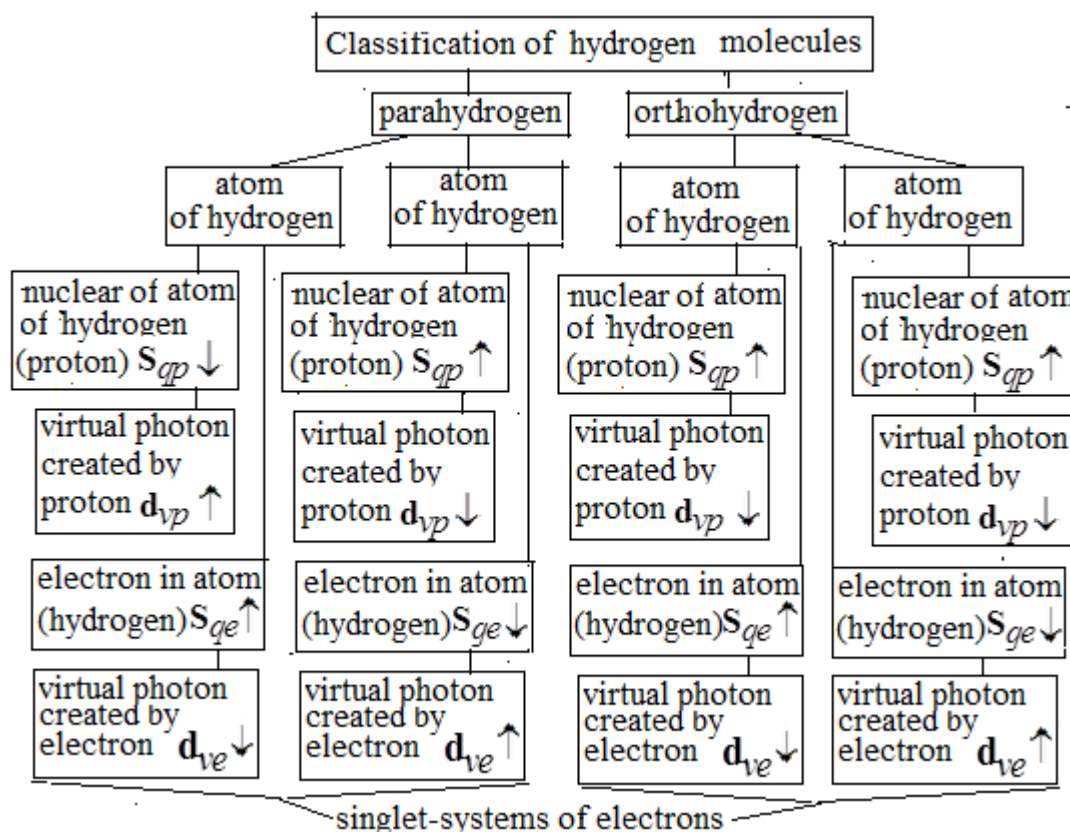


Figure 2. The schematic image of hydrogen structure. The hydrogen consists of molecules of two types: parahydrogen and orthohydrogen. S_{qp} - spins of protons (nuclei of atoms of hydrogen molecules); d_{vp} - electric dipole moments of virtual photons created by protons; S_{ge} - spins of electrons; d_{ve} - electric dipole moments of virtual photons created by electrons.

Let us consider the features [10] of the diagram in Figure 2.

1) There exist two spin forms of molecular hydrogen: parahydrogen ($p\text{-H}_2$) containing two protons with the opposite orientations of their spins; and orthohydrogen ($o\text{-H}_2$) containing two protons with the same spin orientation. According to Eqs (1)-(3), the spin of proton S_{qp} is related to electric dipole moment d_{vp} of virtual photon created by proton by condition:

$$d_{vp} \uparrow \downarrow S_{qp}. \quad (19)$$

2) Protons that make up the molecule of parahydrogen (have antiparallel spins S_{qp}) create virtual photons that, according to Eq. (19), have oppositely oriented electric dipole moments d_{vp} . The schematic representation of virtual photons created by nuclei of parahydrogen (protons) with antiparallel spins S_{qp} is shown in Figure 3. According to definition of parahydrogen and Eqs. (17) and (19), attractive force F_{vp+} acts between virtual photons created by protons of parahydrogen and consequently between these protons. According to Eq. (17) and

(14), if condition (18) is fulfilled, F_{vp+} is determined as $F_{vp+} = 3 \left(\mu_N u_p / (2cr_{vp}^2) \right)^2$. With taking into account the data of parahydrogen [3, 11]:

$$u_p = 1.85 \cdot 10^5 \text{ cm/s}, r_{vp} = 0.74 \cdot 10^{-8} \text{ cm}.$$

$$F_{vp+} = 3 \cdot 10^{-25} \text{ dyne.} \quad (20)$$

Let us check in this case the feasibility of condition (18): $\lambda_q = \hbar / (m_p \cdot u_p) = 0.32 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$, where m_p is mass of proton. Thus $\lambda_q < r_{vp} = 0.74 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$. Consequently, the condition (18) is fulfilled approximately.

Note to Eq.20. As follows from Fig.3, the expression (20) must contain multiplier $\cos^2 \beta$, where, according to Eq. (6), $\cos^2 \beta = 1 - \sin^2(u/c)$. Since in the considered case $\cos^2 \beta = 1 - 10^{-10} \approx 1$, we can ignore this multiplier.

According to Eq. (15), the interaction energy in this case, W_{vp+} , will be negative:

$$W_{vp+} < 0. \quad (21)$$

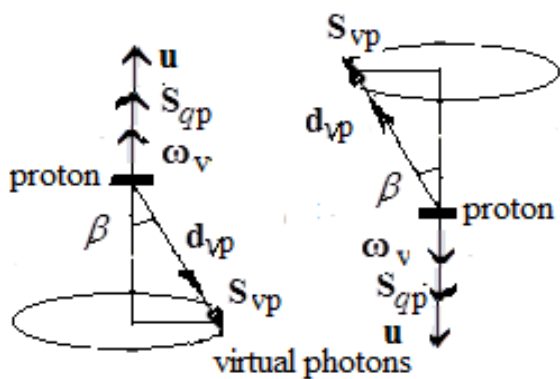


Figure 3. The schematic image of virtual photons created by nuclei (protons) that constitute parahydrogen. S_{qp} are spins of protons constituting parahydrogen. The characteristics of virtual photons: S_{vp} are spins; d_{vp} are electric dipole moments; ω_v are frequencies of precession; β are angles of the deflection; u are velocities.

3) Protons constituting orthohydrogen (have parallel spins S_{qp}) create virtual photons that, according to Eq. (19), have uniformly oriented electric dipole moments d_{vp} . The schematic image of virtual photons created by nuclei (protons) that constitute orthohydrogen is shown in Figure 4.

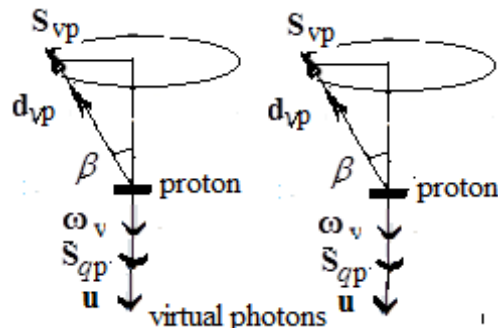


Figure 4. The schematic image of virtual photons created by protons with parallel spins (S_{qp}) constituting orthohydrogen. Characteristics of the virtual photons: S_{vp} are spins; d_{vp} are electric dipole moments; ω_v are frequencies of precession; β are angles of deflection; u are velocities.

According to definition of orthohydrogen and Eqs. (17) and (18), repulsive force F_{vp-} acts between virtual photons created by protons of orthohydrogen and consequently between these protons. Force F_{vp-} is determined by the same formula as F_{vp+} (Eq. (14)); and let us assume as well that force F_{vp-} has the same order of magnitude as F_{vp+} (Eq. (20)):

$$F_{vp-} = F_{vp+} = 3 \cdot 10^{-25} \text{ dyne.} \quad (22)$$

Note to Eq.(20) is valid in this case as well.

According to Eq. (15), the interaction energy of virtual photons created by protons of orthohydrogen W_{vp-} will be positive:

$$W_{vp-} > 0. \quad (23)$$

4) Every atom of hydrogen contains an electron with spin S_{qe} . According to Eqs (1)-(3), the spin of electron is related to electric dipole moment

$\mathbf{d}_{ve}$ of virtual photon created by electron by condition:

$$\mathbf{d}_{ve} \uparrow \downarrow \mathbf{S}_{qe}. \quad (24)$$

Let us consider the variant where electrons created by atoms of the same molecule (parahydrogen or orthohydrogen) have opposite orientations of their spins $\mathbf{S}_{ve}$ (Fig. 5), that is they are in the singlet state.

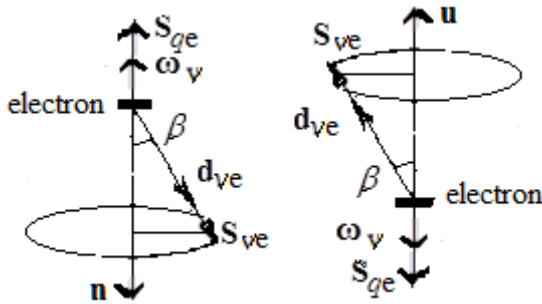


Figure 5. The schematic image of virtual photons created by electrons with antiparallel spins ($\mathbf{S}_{qe}$). Characteristics of the virtual photons: $\mathbf{d}_{ve}$ are electric dipole moments; ω_v are frequencies of precession of spins $\mathbf{S}_{ve}$; β are angles of deflection; $\mathbf{u}$ are velocities.

According to Eqs. (17) and (24), attractive force $\mathbf{F}_{ve+}$ acts between virtual photons created by electrons and consequently between these electrons. According to Eqs (13) and (17) (if condition (18) is fulfilled), $\mathbf{F}_{ve+}$ is determined as:

$\mathbf{F}_{ve+} = 3 \left(\mu_B u_e / (2cr_{ve}^2) \right)^2$. With taking into account electron data: $u_e = 2.2 \cdot 10^8 \text{ cm/s}$, $r_{ve} = 0.37 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$ [3, 11], we obtain:

$$\mathbf{F}_{ve+} = 3 \cdot 10^{-11} \text{ dyne} \quad (25)$$

Let us check in this case the feasibility of the condition (18): $\lambda_q = \hbar / (m_e \cdot u_e) = 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$.

Thus $\lambda_q > r_{vp} = 0.37 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$. Consequently, the condition (18) is hardly fulfilled in this case.

We assume that Note to Eq.(20) is valid in this case as well.

According to Eq. (15), the interaction energy in this case W_{vp+} will be negative:

$$W_{vp+} < 0. \quad (26)$$

From comparison of forces $\mathbf{F}_{vp-}$ (Eq. (22)) and $\mathbf{F}_{ve+}$ (Eq. (25)) it follows that repulsive force $\mathbf{F}_{vp-}$ between virtual photons created by protons of orthohydrogen is less than attractive force $\mathbf{F}_{ve+}$ acting between virtual photons created by electrons in the singlet state. It follows also from comparison (in parahydrogen) of force $\mathbf{F}_{vp+}$ (Eq. (20)) and repulsive force $\mathbf{F}_{ve-}$ which could act between virtual photons created by electrons in the triplet state (Eqs (13) and (17)) that attractive force $\mathbf{F}_{vp+}$ between virtual photons created by protons of parahydrogen is less than repulsive force $\mathbf{F}_{ve-}$ which could act between virtual photons created by electrons in the triplet state. Thus, the following conclusion can be drawn: the absolute value of force (denote it $\mathbf{F}_{vp}$) acting between virtual photons created by protons in the above considered cases is less than the absolute value of force (denote it $\mathbf{F}_{ve}$) acting between virtual photons created by electrons in the above considered cases, that is:

$$\mathbf{F}_{vp} < \mathbf{F}_{ve}. \quad (27)$$

It follows from inequality (27) that a hydrogen molecule (both parahydrogen and orthohydrogen) is formed if electrons of this molecule are in the singlet state that is with antiparallel spins (an attractive force acts between them) and is not formed if electrons of this molecule are in the triplet state, that is with parallel spins (a repulsive force acts between them in this case). This conclusion is in accordance with experimental data.

2. The Inversion of Electric Dipole Moment and Spin of Virtual Photon Created by Nucleus of Orthohydrogen

As follows from Figure 2, the four of pairs of virtual photons exist in a hydrogen molecule:

1) a pair of virtual photons created by the nuclei (protons) of parahydrogen (Figure 3);

- 2) a pair of virtual photons created by the nuclei (protons) of orthohydrogen (Figure 4);
- 3) a pair of virtual photons created by the electrons related to nuclei (protons) of orthohydrogen (Figure 5);
- 4) a pair of virtual photons created by the electrons related to nuclei (protons) of parahydrogen (Figure 5).

According to Eq. (16), in every pair the moment $\mathbf{M}_v$ can cause the inversion of electric dipole moment of one of the virtual photons of the pair; the inversion is accompanied by a change in the energy of these virtual photons. According to Eqs (21), (23) and (26), the inversion is produced with energy emission only in orthohydrogen pair (Figure 4). In this case the inversion of electric dipole moment $\mathbf{d}_{vp}$ of virtual photon created by proton constituting one of the atoms of a hydrogen molecule occurs; according to Eqs (23) and (15)), the value of energy changes from positive to negative. According to Eqs. (1)-(3), the inversion of electric dipole moment $\mathbf{d}_{vp}$ of virtual photon means the inversion of both virtual photon spin $\mathbf{S}_{vp}$ and spin $\mathbf{S}_{qp}$ of proton creating this virtual photon. This process is observed in experiments [3] and is called “ortho-para conversion” (orthohydrogen transforms into parahydrogen).

3. The Physical Processes Generated by Inversion of Virtual Photon Spin

The schema illustrating inversion of spin $\mathbf{S}_{vp}$, spin $\mathbf{S}_{qp}$ and electric dipole moment $\mathbf{d}_{vp}$ of virtual photon created by nucleus of orthohydrogen (by proton) is shown in Figure 6.

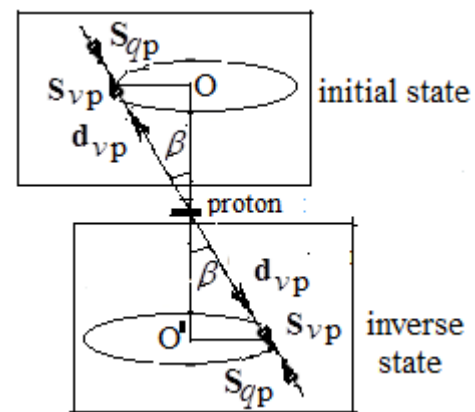


Figure 6. The schema illustrating the process of inversion of spin $\mathbf{S}_{vp}$ and electric dipole moment $\mathbf{d}_{vp}$ of virtual photon created by nucleus (proton) of orthohydrogen and also inversion of spin of nucleus (proton) $\mathbf{S}_{qp}$ in orthohydrogen.

As a result of inversion of virtual photon spin $\mathbf{S}_{vp}$, the projection of this spin on axis OO' changes by an amount $2S_{vp} \cos \beta$; the angle of rotation of spin equals π . Due to action of the law of conservation of angular momentum, a process that ensures the conservation occurs in physical vacuum [4]. The following theory exists: the time derivative of the angular momentum of the system relative to chosen area of physical vacuum equals the vector sum of moments ($\mathbf{M}_{in}$) of external forces in this area. In general, the following formula is valid:

$$\mathbf{M}_{in} = \gamma \partial \mathbf{S}_v / \partial t, \quad (28)$$

where γ is a proportionality coefficient.

The moment $\mathbf{M}_{in}$ can act on spins of virtual photons created by surrounding quantum objects; thus, a chain reaction of spin inversions may occur. The action of moment $\mathbf{M}_{in}$ can result in the following processes.

- 1) The generation of energy at inversion of spins of virtual photons created, for example, by protons of orthohydrogen.
- 2) The possibility of change in the elemental composition of the surrounding objects. For example,

the inversion of electric dipole moment (spin as well) of one of the two virtual photons created by electrons can transform the states of these electrons: from triplet into singlet and back.

3) The action of moment $\mathbf{M}_{in}$ can lead to change in energy levels of atoms. Let us consider the case where atomic electrons are in p -state, that is electric dipole moments (respectively $\mathbf{d}_1$ and $\mathbf{d}_2$) of virtual photons created by these electrons are oriented as $\mathbf{d}_1 \rightarrow \mathbf{d}_2$ [9, 10]. If moment $\mathbf{M}_{in}$ changes the orientation of $\mathbf{d}_1$ and $\mathbf{d}_2$ by $\pi/2$, the following takes place: $\mathbf{d}_1 \uparrow \uparrow \mathbf{d}_2$. The next variants are possible: (1) the emerging triplet state of considered electrons is transformed into singlet state $\mathbf{d}_1 \uparrow \downarrow \mathbf{d}_2$ with emission of energy; (2) the repulsive force arises between electrons in triplet state and they can leave atom.

4) According to (1)-(3), uniform spin inversion of virtual photons can lead to magnetization of quantum objects creating these virtual photons. This theoretical conclusion is confirmed by experimental data [12].

5) In accordance with determination $\mathbf{M}_{in}$ (Eq. (28)) the effectivity of influence $\mathbf{M}_{in}$ increased at using catalysts increasing the velocity of process [3]. It is in accordance with the successful use of Ni and Cu in low-energy nuclear reactions [3, 12].

Note. The fundamental role of law of conservation of angular momentum in low-energy nuclear reactions does not exclude the possibility of description of some characteristics of nuclear transmutation in low-temperature plasma from the viewpoint of other laws of conservation: laws of conservation of energy, momentum, charges (lepton, baryon, electric [13]).

4. Discussion

Every virtual photon has precessing spin $\mathbf{S}_v$ which is characterized by frequency of precession ω_v , angle of precession α and angle of deflection β (Figure 7).

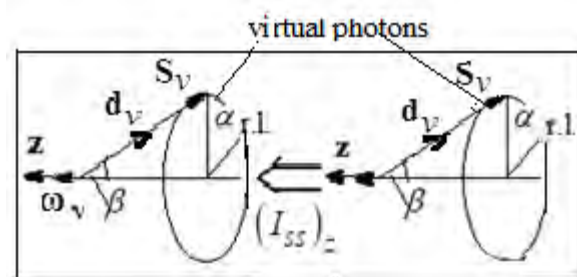


Figure 7. Schematic image of characteristics of virtual photons. ω_v are frequencies of precession of spins $\mathbf{S}_v$; β are angles of deflection; α are angles of precession; r.l. are reference lines; z is axis; $(\mathbf{I}_{ss})_z$ are spin supercurrent; $\mathbf{d}_v$ are electric dipole moments.

Spin supercurrent $(\mathbf{I}_{ss})_z$ can emerge between the virtual photons and its value is determined as:

$$(\mathbf{I}_{ss})_z = -g_1 \partial \alpha / \partial z - g_2 \partial \beta / \partial z, \quad (29)$$

where g_1 and g_2 are coefficients depending on β [14-16]. Thus, spin supercurrent equalizes orientations of spins, that is it performs a function similar to that of a moment $\mathbf{M}_{in}$.

It is shown in [17] that some properties of so-called “strange radiation” characterizing the Low-Energy Nuclear Transmutations are explained by action of spin supercurrent.

- 1) A spin supercurrent does not arise between quantum objects creating virtual photons having total zero spin. The most probable is the emergence of a spin supercurrent in substances that have “free” quantum objects, such as in metals containing “free” electrons.
- 2) The spin supercurrent is not an electric and is not a magnetic process.
- 3) Spin supercurrent is capable to magnetize the substance.
- 4) By definition spin supercurrent transforms angles of precession and deflection, consequently, the emerging tracks on the surface of various materials may have a vortex form [18].



Figure 8. The tracks emerging on the surface of various materials and having vortex form.

5) If spin supercurrent causes the contraction of the medium where it spreads and the speed of spin supercurrent is greater than the speed of spreading this contraction, then the action of spin supercurrents can result in appearance of periodically repeating jumps in density.



Figure 9. The possible structure of twin-tracks in experiments with low-energy nuclear reactions.

6) The “strange radiation” can exist after the end of nuclear reaction. That is, after action takes place. It may be related to gyroscopic properties of spins.

7) Some effects related to the nuclear reaction can occur not only in the nuclear reactor but in the region surrounding the reactor. These phenomena can exist due to long-range character of spin supercurrent.

Conclusion

The following physical processes can determine Low-Energy Nuclear Transmutations.

- 1) The creation by quantum objects (which are features in electric and magnetic fields) of virtual photons having spin and electric dipole moment.
- 2) Inversion of one of the parallel oriented electric dipole moments of virtual photons with generation of energy. (For example, transformation of hydrogen molecule from orthohydrogen form into parahydrogen form.) Simultaneously with inversion of electric dipole moment created by virtual photon, the inversion of spin of this virtual photon also takes place.

Note. These processes may exist as well without hydrogen atoms.

3) The inversion of spin of the virtual photon means the change in orientation of angular momentum in physical vacuum. In this case, due to existence of law of conservation of angular momentum, the process of compensation of this change occurs. Such a process can be a moment $\mathbf{M}_{in}$ related to the inertial properties of the physical vacuum. $\mathbf{M}_{in}$ can act on the orientation of electric dipole moments of virtual photons created by quantum objects that make up the experimental setup, and by such way influence the structure of molecules containing those quantum objects. That is, the action of moment $\mathbf{M}_{in}$ can lead to the transmutation of chemical elements.

Note. The considered process can begin not only from ortho-para conversion of hydrogen atom. It may exist without a hydrogen atom at all.

4) One particle cannot be a result of nuclear reaction, otherwise it is impossible to comply with the law of conservation of angular momentum [13].

5) The nuclear reactions are a result of interaction of a large number of particles and consequently they must be investigated by laws of thermodynamics. This conclusion is consistent with many theoretical works [19, 20].

References

1. Feynman R (1949) Space-time approach to quantum electrodynamics. Phys Rev 76: 769-789.
2. Boldyreva LB (1921) A Theory of Spin Vortices in a Physical Vacuum Consisting of Quantum Oscillators. Cambridge Scholars Publishing. <https://www.cambridgescholars.com/product/978-1-5275-6455-8>.
3. Matsumoto M, Espenson JH (2005) Kinetics of the Interconversion of Parahydrogen and Orthohydrogen Catalyzed by Paramagnetic Complex Ions. Journal of the American Chemical Society 127: 11447-11453.
4. Boldyreva LB (2024) The First Law of Newton. Formula and Consequences. Changes in Weight and Forward Motion of Rotating Bodies. Journal of Physics & Optics Sciences 6: 1-10.

5. Li M, Pernice WHP, Xiong C, Baehr-JT, Hochberg M, et al. (2008) Harnessing optical forces in integrated photonic circuits. *Nature* 456: 480-484.
6. Sedov LI (1971-1972) A Course in Continuum Mechanics, v. 1-4. Groningen: Wolters-Noordhoff.
7. Kaufmann W (1902) Die elektromagnetische Masse des Elektrons. *Phys Z* 4: 54-56.
8. Wichmann E (1971) Quantum Physics. Berkeley physics course, v. IV, New York: McGraw-Hill Book company.
9. Purcell E (1965) Electricity and Magnetism. Berkeley physics course, v. 2. New York: McGraw-Hill Book company.
10. Boldyreva LB (2025) A Description of the Properties of Electrons in an Atom without Mathematical Tools of Wave-Particle Dualism. *Journal of Physics & Optics Sciences* 7: 1-9.
11. Richardson OW (1934). Molecular hydrogen and its spectrum. Yale University, New Haven, Connecticut. 343 pp.
12. Parkhomov AG, Zabavin SN, Temirbulatov TR, Alabin KA, Andreev SN et al. (2017) Nickel-hydrogen reactors: heat release, isotopic and elemental composition fuel. *RENSIT*. 9: 74-93.
13. Filippov DV, Urutskoev LI (2004) On the possibility of nuclear transformation in low-temperature plasma from the viewpoint of conservation laws. *Annales de la Fondation Louis de Broglie* 29: 1187-1205.
14. Borovic-Romanov AS, Bunkov YM, Dmitriev VV, Mukharskii YM, Sergatskov DA (1989) Investigation of Spin Supercurrents in $^3\text{He-B}$. *Phys Rev Lett* 62: 1631-1634.
15. Bunkov YM (2009) Spin Superfluidity and Coherent Spin Precession. *Journal of Physics: Condensed Matter* 21: 164201 (6 pp).
16. Dmitriev VV, Fomin IA (2009) Homogeneously precessing domain in $^3\text{He-B}$: formation and properties. *Journal of Physics: Condensed Matter* 21: 164202 (9 pp).
17. Boldyreva LB (2021) Spin Supercurrent as a “Strange” Radiation in Low-Energy Nuclear Reactions. *International Journal of Physics* 9: 280-285.
18. Zhigalov VA, Parkhomov AG, Zabavin SN, Sobolev AG, Timerbulatov TR (2018) Track statistics strange radiation from operating reactors LENR. <https://e-catworld.com/wp-content/uploads/2018/10/Strange-Radiation.pdf>.
19. Baranov DS, Zatelepin VN (2019) Long-range operation in heat exchange processes. *Academy of Trinitarism, M., El. № 77-6567, publ.25816*, 22.10.2019.
20. Parkhomov AG (2023) Thermodynamic approach to the explanation of cold nuclear transmutations. *Proceedings of the 27-th Russian conference of cold nuclear transmutation of chemical elements and ball lightning, Moscow*: 181-186.

Copyright: ©2025 Liudmila Borisovna Boldyreva. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.