

## О возможном физическом механизме Чернобыльской аварии и несостоятельности официального заключения.

Лошак Ж.\*, Рухадзе А.А.\*\*, Уруцкоев Л.И.\*\*\*, Филиппов Д.В.\*\*\*

\*) Фонд им.Луи де Бройля, Париж, Франция.

\*\*) Институт общей физики АН, Москва.

\*\*\*) РЭКОМ, РНЦ «Курчатовский институт», Москва.

*В работе показаны существенные противоречия между официальным заключением о причинах и механизме Чернобыльской аварии и известными экспериментальными фактами. Наряду с этим утверждается, что период аварийного разгона реактора не удаётся объяснить в рамках существующих представлений о физике реактора. Выдвигается непротиворечивая гипотеза о возможном образовании магнитных зарядов в ходе проведения испытаний по выбегу турбогенератора на IV блоке ЧАЭС и их влиянии на рост коэффициента реактивности.*

### Введение

Несмотря на то, что с момента Чернобыльской аварии прошло 17 лет, сам физический механизм аварии продолжает оставаться окруженным завесой тайны. Общепринятую точку зрения на механизм аварии сложно признать удовлетворительной. Во-первых, официальные выводы, основанные на результатах численного моделирования, находятся в прямом противоречии с аналитическими оценками инкремента неустойчивости. Во-вторых, без объяснения остался целый ряд экспериментальных фактов, полученных разными группами исследователей уже позднее в результате тщательного изучения состояния пост-аварийного блока. Ряд таких, мало известных фактов приведен в настоящей статье. В-третьих, как следует из многочисленных свидетельских показаний, авария начала развиваться с момента возникновения внештатной ситуации в машинном зале. Существующая на сегодня точка зрения на физический механизм аварии полностью игнорирует этот факт.

Анализ первого обстоятельства приводит к неутешительному выводу о том, что в рамках существующих представлений о физике реактора не удастся непротиворечиво объяснить период аварийного разгона реактора. Учет второго и третьего обстоятельств наводит на мысль о поиске дополнительного механизма деления урана, каким-то образом связанного с событиями в машинном зале, т.е. с электромагнитными явлениями. Именно эти простые логические соображения и послужили основанием для проведения экспериментальных исследований, которые могли бы послужить моделью для понимания физического механизма Чернобыльской аварии. Эксперименты проводились на базе Курчатовского института в течение 5 лет. Часть полученных экспериментальных результатов была опубликована [1, 2]. Для объяснения столь неожиданных экспериментальных результатов была предложена гипотеза магнитных монополей. Возможность существования легких магнитных монополей, являющихся, возможно, магнитно-возбужденными состояниями нейтрино, была предсказана Жоржем Лошаком как раз незадолго до Чернобыльской аварии [3 – 5]. Если такие монополи существуют, то их рождение можно ожидать при мощных электромагнитных процессах в конденсированных средах. И если мы теперь вспомним, что турбогенератор является мощным электротехническим устройством, то мысль о «несанкционированном» образовании «магнитных нейтрино» в результате случайного короткого замыкания не представляется столь уж безумной как может показаться на первый взгляд. Более того, как показано в статье, эта идея позволяет построить непротиворечивую гипотезу о механизме Чернобыльской аварии и с ее помощью объяснить ряд фактов, которые ранее не имели объяснения. Не следует забывать, что, поскольку (слава богу!) событие 26 апреля 1986 года неповторимо, а значит и не исследуемо, то любой сценарий аварии всегда будет носить ранг гипотезы. А любая внутренне непротиворечивая гипотеза имеет право на существование.

### Основные физические принципы работы реактора.

В основе работы реактора лежит цепная ядерная реакция деления ядер урана. Внутри активной зоны при поглощении ядром урана нейтрона происходит распад этого ядра на два или более осколков. При этом процессе деления освобождается большое количество энергии  $\sim 200$  Мэв на каждый акт. В каждом акте деления рождается два-три нейтрона, способных вызвать деление следующих ядер урана. Рожденные нейтроны могут быть поглощены не только ядрами урана (что приводит к продолжению цепной реакции), но и другими ядрами (замедлителя, теплоносителя), находящимися в активной зоне. Кроме того, нейтроны могут покинуть активную зону и прервать участие в цепной реакции. Минимальное условие поддержания цепной реакции состоит в том, чтобы каждый акт деления приводил к рождению хотя бы одного вторичного нейтрона, который в свою очередь вызовет деление следующего ядра урана. В стационарном режиме работы реактора количество рождаемых нейтронов равно количеству поглощенных.

Интенсивность размножения нейтронов в активной зоне реактора характеризуется коэффициентом размножения нейтронов  $k$  – это отношение количества нейтронов в одном поколении к их количеству в предыдущем. Обычно, для характеристики реактора пользуются величиной, называемой реактивностью  $\rho$ , которая определяется как  $(k-1)/k$ . При  $\rho=0$  реактор находится в стационарном режиме, при  $\rho<0$  цепная реакция прекращается, а при  $\rho>0$  – интенсивность реакции экспоненциально нарастает. Реактивность  $\rho$  зависит от конструкции реактора и параметров среды. Для управления реактивностью реактора  $\rho$  используют стержни поглотители. Внедрение стержней в активную зону приводит к увеличению поглощения нейтронов и, следовательно, к уменьшению реактивности  $\rho$ , а извлечение управляющих стержней приводит, соответственно, к увеличению реактивности  $\rho$ .

При любом изменении реактивности в положительную сторону следует экспоненциальное возрастание скорости реакции. При распаде ядра подавляющее большинство нейтронов вылетает из ядра практически мгновенно. Если бы мгновенными были все испускаемые нейтроны, то время релаксации для воспроизводства нейтронов составляло бы  $\sim 10^{-3}$  сек. В этом случае даже очень малые изменения реактивности приводили бы к резким изменениям скорости реакции, и управление реактором было бы практически невозможно. Однако, небольшая доля  $\beta$  (доля запаздывающих нейтронов) испускается ядрами-осколками через достаточно большой промежуток времени ( $\sim 10$  сек.). Сам факт существования запаздывающих нейтронов для атомной энергетики не менее жизненно важен, чем для рыб, живущих в Сибирских озерах наличие максимума плотности воды при  $4^\circ\text{C}$ . Для различных типов реакторов величина  $\beta$  колеблется от 0.2 до 0.7 %, для рассматриваемого реактора РБМК на момент перед аварией  $\beta=0.45$  %.

В простейшем приближении одной эффективной группы запаздывающих нейтронов, при постоянной реактивности  $\rho<\beta$ , уравнение, описывающее рост количества нейтронов в активной зоне совпадает с уравнением движения шарика «S» (рис.1) на горке «P» в вязкой среде (см. уравнение (а.2) приложения 1):

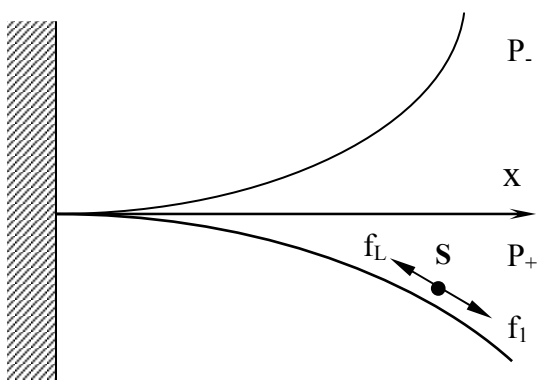


Рис.1. Механическая модель уравнений кинетики реактора.

$$m \cdot a = f = (k \cdot \rho) \cdot x - (\beta - \rho) \cdot v, \quad (1)$$

где  $x$  – плотность нейтронов, аналог «координаты шарика»,  $v = dx/dt$  – «скорость»,  $a = d^2x/dt^2$  – «ускорение шарика». Горка «P» на рис.1. представляет собой упругую пластинку. При нулевой реактивности  $\rho=0$  – горка горизонтальна и шарик покоится, при отрицательной реактивности  $\rho<0$  горка поднимается вверх (P.) и «шарик» катится влево (реакция останавливается). При положительной реактивности  $\rho>0$  горка «загнута» вниз (P+), «шарик» скатывается с горки под действием силы  $f_1=(k \cdot \rho) \cdot x$ , причем «крутизна горки» пропорциональна реактивности  $\rho$ -и «расстоянию»  $x$ . В этом случае при  $\beta>\rho>0$  последний член правой части (1) описывает пропорциональную скорости тормозящую «силу

вязкости» -  $f_L$  (рис.1); при  $\rho=\beta$  вязкость отсутствует, а при  $\rho>\beta$  последний член уравнения (1) не тормозит, а ускоряет разгон «шарика». Процесс регулирования реактора сводится к изменению реактивности  $\rho$  («наклона горки») таким образом, чтобы «шарик» находился в заданном месте. Обратим внимание, что процесс регулирования существенно упрощается наличием «силы вязкости» в уравнении (1), которая появляется исключительно благодаря существованию запаздывающих нейтронов. Даже малая доля запаздывающих нейтронов  $\beta$  создает диапазон варьирования реактивности  $\rho<\beta$ , в котором возможно управление реактором. При  $\rho>\beta$ , как уже отмечалось, «вязкость» отсутствует, что соответствует неконтролируемому разгону реактора на мгновенных нейтронах. Важное требование надежности реактора заключается в том, чтобы ни при каких условиях реактор не попал в неуправляемый режим  $\rho>\beta$ .

### Факты о характере разгона реактора при аварии на ЧАЭС и анализ возможных неустойчивостей.

Реактивность зависит от параметров среды, в том числе и от плотности теплоносителя. Чисто качественно такую зависимость понять не сложно. Дело в том, что вода, являясь теплоносителем (т.е. средой, которая и отбирает тепло от топлива) одновременно играет и роль замедлителя нейтронов. Если мы увеличим процентное содержание пара в теплоносителе (т.е. в воде) или как говорят реакторщики «запарим» реактор, то нейтроны будут замедляться менее эффективно, их средняя скорость возрастет, а реактивность увеличится. Паровым коэффициентом реактивности называют  $\alpha_p$  - отношение изменения реактивности к изменению объемного содержания пара. По вопросу о причинах разгона мощности авторы [6 – 10], исходя из новых расчетных моделей, утверждают, что при уменьшении плотности теплоносителя должен наблюдаться сильный рост реактивности реактора до  $5\beta$  – кривая на рис.2а [8]. На рис.2б представлена зависимость, полученная на стадии проектирования [11] согласующаяся с экспериментальными результатами, полученными в ходе испытаний реактора РБМК-1000, взятыми из [12].

Из сравнения рисунков видно, что ход кривых значительно различается в области малых  $\gamma$ . Расчетная кривая (рис.2б) подтверждена результатами экспериментальных опытов, в то время как в экспериментальное обоснование расчетной кривой (рис.2а) положено единичное событие, произошедшее в 1986 году на IV блоке Чернобыльской АЭС. Никто не станет отрицать, что событие 26 апреля 1986 года на Чернобыльской АЭС имело колоссальную значимость и последствия, однако, с научной точки зрения кривая на рис.2б представляется более обоснованной. Напомним, что при реактивности  $\rho>\beta$  происходит разгон реактора на мгновенных нейтронах. Следовательно, если приведенная в [6] зависимость  $\rho(\gamma)$  является истиной, то реактор можно разогнать, просто вылив весь теплоноситель. Это противоречит здравому смыслу и выводам конструкторов реактора, которые, будучи людьми аккуратными и ответственными не только рассчитывали, но и проверяли экспериментально все основные параметры системы.

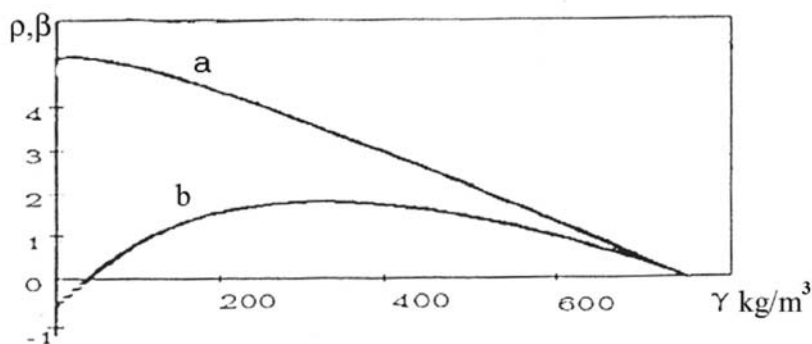


Рис.2. Зависимость реактивности от плотности теплоносителя в единицах  $\beta$ .  
а – расчет после аварии; б – проектный расчет до аварии.

По официальной версии авария развивалась следующим образом: из-за локального увеличения мощности произошел перегрев теплоносителя. Перегрев вызвал уменьшение плотности теплоносителя, что в свою очередь привело к росту реактивности (рис.2а). 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.

Как будет далее показано, время развития такой неустойчивости существенно превышает фактическое время разгона реактора, наблюдавшееся при аварии, даже если принять в качестве исходных данных весьма сомнительную расчетную зависимость (рис.2а) коэффициента реактивности от плотности теплоносителя. Заметим, что кроме парового коэффициента реактивности на динамику развития неустойчивости оказывают влияние температурный (за счет эффекта Доплера) и мощностной коэффициенты, которые приводят к уменьшению скорости роста реактивности [12]. Именно по этой причине в реальных экспериментах тяжело реализовать внесение положительной реактивности, большей  $\beta$ .

В работе [13] весьма убедительно показано, что при аварии разгон реактора РБМК-1000 четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС происходил на запаздывающих нейтронах. Аргументация автора [13] 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 мощность изменялась со временем приближенно по экспоненциальному закону  $N = 200 \cdot e^{t/3}$  Мвт, с периодом 3 сек. Еще через 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 [13] был, совершенно справедливо, 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». На рис.3 представлен фрагмент внутренней поверхности реактора, сделанный с помощью телекамеры через скважину, пробуренную из помещения № 605 сквозь биологическую защиту реактора. Визуально было установлено, что лишь в юго-восточном квадранте на внутренней поверхности стенки наблюдались следы копоти. Этот факт ставит под большое сомнение версию о возникновении пожара в самом реакторе с последующим плавлением топлива. К такому же выводу пришли специалисты, исследовавшие фрагменты топлива [14].

Принимая во внимание все выше перечисленные аргументы и факты, можно прийти к неутешительному выводу о том, что общепринятый на сегодняшний день сценарий аварии [6, 7] не только их не объясняет, но и находится с ними в прямом логическом противоречии.

В рамках официальной версии причиной роста реактивности называется 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, который рассмотрен в [13]. Предположим, что выполняется зависимость  $\rho(\gamma)$  – кривая на рис.2а, в этом случае паровой коэффициент реактивности  $\alpha_\phi$  (отношение изменения реактивности к изменению объемного содержания пара) не превышает:

$$\alpha_\phi = \frac{d\rho}{d\gamma} < \frac{6\beta}{75\%} = 3.6 \cdot 10^{-4} \%^{-1}, \quad (2)$$

так как из данных [12] следует, что для реактора, вышедшего на стационарный режим перегрузки топлива  $\beta = 0.0045$ . Заметим, что даже в официальной информации [7] указывается меньший коэффициент  $\alpha_\phi = 2 \cdot 10^{-4} \%^{-1}$ .

По данным конструкторов [12] паропроизводительность реактора при номинальной мощности равна 1.5 т/с, 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. Следовательно, в любом случае эти четыре ГЦН должны были обеспечить нормальное охлаждение реактора, по крайней мере, до 50% номинальной мощности, а разгон реактора начался с 6% номинальной мощности.

Если 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:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{d\gamma} \cdot \frac{d\gamma}{dt} < \frac{6\beta}{0.75} \cdot \frac{1.5mc^{-1}}{30m} \cdot \frac{W}{W_0}, \quad (3)$$

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

$$\frac{d\rho}{dt} = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{n}{n_0}, \quad (4)$$

где  $\alpha < 0.025$  сек<sup>-1</sup>,  $n$  – плотность, а  $n_0$  – начальная плотность нейтронов. Обратим внимание на то, что уравнение (4) выполняется локально, так как мы воспользовались лишь тем предположением, что находящийся в замкнутом объеме теплоноситель выпаривается за счет выделяемой тепловой энергии.

В приложении 1 показано, что в рамках принятых начальных условий рост мощности за первые 10 с. не мог быть существенно больше 1.5 раза. Этот результат согласуется с решениями [15], так как в нашем случае первое время реактивность растет линейно со скоростью  $\alpha$ . Так как 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 [6] – кривая на рис.2а, не мог быть причиной разгона реактора при перегреве теплоносителя.

Рассмотрим далее утверждение [6] 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 [16]. Кроме того, уже в классических работах Ферми [17] было показано, что учет пространственной неоднородности при небольшой положительной реактивности приводит к затуханию высоких пространственных гармоник. При большой реактивности высокие пространственные гармоники растут, по крайней мере, медленнее основной. В приложении 1 показано, что, 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 являются сомнительными и противоречат физическим представлениям в следующих пунктах:

- зависимость реактивности от плотности теплоносителя завышена и противоречит проектной;
- утверждение о сильной пространственной неоднородности противоречит характеру взрыва и фундаментальным представлениям, изложенным в классических работах Ферми;
- время развития неустойчивости, полученное аналитически из анализа уравнений существенно превышает результаты численного моделирования.

2. Так как до сих пор нет убедительного объяснения причин аварии, то видимо, в рамках современного научного представления это сделать весьма проблематично.

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

### Экспериментальные работы.

Известно, что помимо нейтронного существуют и другие механизмы деления урана, например – под действием медленных мюонов [18]. Теоретически рассмотрен механизм деления ядер урана под действием магнитных монополей [19]. В работе [19] высказывается предположение о том, что монополь-ядерное взаимодействие является столь сильным, что монополь, проходящий близко к ядру, может индуцировать деление  $U^{238}$ .

В работе [1] для объяснения экспериментально наблюдаемых явлений в качестве рабочей гипотезы было высказано предположение об образовании магнитных монополей в момент паузы тока, возникающей при электровзрыве металлической фольги в жидкости. С точки зрения авторов работы [1] на основе выдвинутой гипотезы возможно объяснить регистрируемые с помощью ядерных эмульсий аномальные треки, наблюдающуюся трансформацию ядер и сдвиг мессбауэровских спектров  $Fe^{57}$ .

Для подтверждения выдвинутой гипотезы об образовании монополей авторами работы [2] были проведены эксперименты по обнаружению индуцированного деления  $U^{238}$  под действием магнитных монополей. Результатом экспериментов явилось установление факта изменения первоначального изотопного соотношения урана в пользу  $U^{235}$  под действием «странного» излучения.

Отмеченное в [2] падение удельной активности урана в результате электровзрыва металлической фольги, скорее всего, связано с трансформацией ядер урана. Однако, учитывая, что предсказанные в [3 – 5] монополи являются лептонами, то можно предположить, что они должны оказывать заметное влияние на  $\beta$ -распад. В экспериментах [2] зарегистрированы заметные искажения периодов  $\beta$ -распада изомерных ядер  $Th^{234m}$ , являющихся дочерними продуктами  $U^{238}$ .

Эти эксперименты показывают, что вероятности распадов  $\beta$ -активных ядер, возможно, не являются абсолютно неизменными. Так как в реакторе постоянно находится огромное количество атомов, способных излучить запаздывающие нейтроны (количество активных атомов-излучателей в 50 раз больше количества нейтронов, см. приложение 2), то нарушение в физике распада атомов-излучателей запаздывающих нейтронов может привести к значительным изменениям плотности нейтронов. Другими словами изменение физики распада может привести к изменению  $\beta$ - доли запаздывающих нейтронов (приложение 2).

Проведенные эксперименты явились серьезным аргументом в пользу существования магнитных монополей и серьезной поддержкой высказанной в [1] гипотезы. Экспериментальные результаты [1, 2] показывают, что при электровзрывах металлических фольг в жидкостях наблюдается трансформация ядер, сопровождающаяся искажением природного изотопного соотношения ряда элементов. Трансформация ядер принципиально отличается от ядерных реакций: затраченные и выделяемые энергии малы - не превышают 10кэв на родившийся атом. Было сделано предположение, что процесс трансформации ядер является существенно коллективным явлением, т.е. его нельзя рассматривать как большое количество двух-частичных столкновений.

В попытке научиться анализировать наблюдаемое явление, была построена численная модель аналогичная [20], которая на основе фундаментальных законов сохранения:

- барионного заряда (количество нуклонов);
- электрического заряда;
- лептонного заряда;
- энергии,

находит такие ансамбли ядер, которые были бы наиболее близки к начальному ансамблю по суммарной энергии. Энергии связи ядер брались из [21].

Модель в качестве элементарного акта трансформации рассматривает обмен нуклонами внутри кластера, состоящего из исходных ядер, при котором изменение энергии (на один элементарный акт) не превышает 10-30 кэв. Результатом расчета является распределение появившихся и исчезнувших в результате процесса трансформации изотопов. В результате расчетов удастся получать комбинации, которые отличаются от исходной на энергию  $\sim 0.01$ кэв/атом, т.е. практически совпадают, так как это величина точности измерения энергии связи ядер.

При сравнении результатов численного моделирования и экспериментальных данных было показано, что чем больше размер кластера элементарного акта модели, тем ближе результаты расчетов к экспериментальным данным, что подтверждает предположение о коллективности процесса. Кроме того, замечено, что если в качестве исходных берутся ансамбли из стабильных изотопов, то и ближайшие к ним ансамбли состоят именно из стабильных изотопов, что соответствует экспериментальным данным.

На основе численного эксперимента было предположено, что если произвести взрыв титановой фольги при наличии ванадия, то, возможно, будут наблюдаться следующие качественные эффекты:

- появление гелия (в исходных компонентах гелий отсутствовал);
- появление малораспространенного изотопа  $\text{Ar}^{36}$  (в природе 0.34%);
- и появление изотопа  $\text{Fe}^{57}$  (в природе 2.2%).

Причем, именно появление  $\text{Fe}^{57}$  отличало ванадий от других элементов.

Проведенный эксперимент с солями ванадия в воде дал подтверждение по всем трем пунктам, что вряд ли можно отнести к совпадениям. Моделирование процесса трансформации для ядер урана, показывает, что возможен сдвиг изотопного соотношения урана в сторону обогащения  $\text{U}^{235}$ . Кроме того, при моделировании всегда появляется большое количество водорода, причем не гидролизного, а именно родившегося в результате ядерной трансформации.

Из вышесказанного предлагаются следующие гипотезы развития аварии под действием излучения, наблюдаемого в экспериментах [1, 2]:

- нарушение в физике распада атомов-излучателей запаздывающих нейтронов, приводящее к усилению нейтронного канала распада;
- обогащения топлива изотопом  $\text{U}^{235}$ .

Такой механизм разгона реактора должен привести к значительному изотопному искажению соотношения  $\text{U}^{235}$  и  $\text{U}^{238}$  в сторону увеличения изотопа  $\text{U}^{235}$ . Известно, что на момент аварии количество  $\text{U}^{235}$  соответствовало эффективному обогащению 1,1%. Измерения изотопного соотношения урана в почвах ближайшей зоны ЧАЭС, приведенные в [22], показали, что наблюдается существенный сдвиг до 27% в пользу обогащения  $\text{U}^{235}$ . Эти результаты были перепроверены в лабораториях, руководимых академиком АН Украины Н.П. Щербаком, и проверка подтвердила справедливость первоначально полученных результатов [22].

К сожалению, масс-спектрометрические исследования топлива четвертого блока ЧАЭС в течение 10 лет после аварии проводились разрозненными группами, их результаты не систематизированы. В работе [23] представлены результаты экспериментальных исследований дисперсных фаз аэрозолей и вторичных урановых минералов. Из работы следует, что наблюдаемое изотопное соотношение  $\text{U}^{235}$  и  $\text{U}^{238}$  соответствует обогащению ~2%, но не может быть отнесено к свежему топливу, т.к. соотношение  $\text{Pu}^{239}/\text{U}^{235}$  составляет ~2,5, а должно было бы быть в 5 раз меньше. Такое несоответствие велико и не может быть объяснено методическими погрешностями. Несмотря на малочисленность результатов, они констатируют увеличение изотопного соотношения в сторону  $\text{U}^{235}$ , что является серьезным аргументом в пользу выдвинутой гипотезы.

### **Возможная роль магнитного монополя в развитии аварии.**

Возможность существования в природе магнитных зарядов широко обсуждается в физике с момента выхода работы П. Дирака [24]. Многочисленные неудачи экспериментального обнаружения магнитных зарядов значительно снизили энтузиазм исследователей, но при построении Теорий Великого Объединения возник новый интерес к так называемым «тяжелым» монополям или ТВО-монополям [25, 26]. По современным воззрениям магнитные монополи могли образовываться на ранних стадиях эволюции Вселенной и до наших дней могли сохраниться так называемые «реликтовые» монополи. Относительно ТВО-монополей теоретически предсказан ряд очень интересных эффектов [27], в том числе и разрыв нуклонов [28], т.е. процесс, идущий с нарушением закона сохранения барионного заряда. Около 20 лет назад появились работы Ж. Лошака [3 – 5], в которых магнитный монополь возникает как следствие решения уравнения Дирака. Лошак [3] обнаружил, что уравнение Дирака в представлении Вейля допускает псевдовекторный класс решений, и именно это обстоятельство

позволило ему получить вторую пару уравнения Максвелла. Выражение псевдоскалярности магнитного заряда не через постоянную  $g$ , а через матрицу  $\gamma_5 g$  [4] позволяет представить электромагнетизм как «горную вершину, имеющую два склона – векторный (электромагнитный) и псевдовекторный (магнитно-электрический)». Магнитный заряд, введенный Лошаком, подчиняется условию квантования Швингера [3, 29] и является лептоном, т.е. участником электро-слабых взаимодействий и 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 [1, 2].

Возникает резонный вопрос, откуда на IV блоке ЧАЭС могли появиться магнитные монополи и как они попали в реактор? Идея о привлечении магнитных зарядов в качестве механизма Чернобыльской аварии возникла в ходе исследования физических свойств «странного» излучения, наблюдаемого в работах [1, 2]. На ядерных эмульсиях и пленочных детекторах, размещенных на расстоянии до 2 метров от оси установки, при электровзрыве металлических фольг в жидкостях [1], регулярно возникали аномально широкие треки, похожие на след гусеницы. Поскольку размеры регистрируемых треков не позволяли объяснить их происхождение известными типами излучения ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), то было сделано предположение о регистрации нового типа излучения, которое условно назвали «странным». Вид треков менялся при наложении на установку вдоль оси  $Z$  слабого магнитного поля  $H_Z \sim 20$  Э. Последнее обстоятельство позволило предположить наличие магнитной природы у регистрируемого излучения, а само излучение идентифицировать как поток магнитных частиц [3 – 5].

В экспериментах, описанных в работах [1, 2], источником тока служил разряд конденсаторной батареи. 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 40 МВт, а сам выбег проходил  $\sim 40$ сек и при случайном коротком замыкании одного из элементов электрической цепи могли возникнуть условия, схожие с экспериментальными условиями в работах [1, 2]. Такая аналогия является в значительной степени интуитивной, но она хорошо совпадает с показаниями оперативного персонала.

Ю. Трегуб, начальник предыдущей смены 4-го энергоблока: «Сначала услышал характерный шум останавливающегося турбогенератора. А секунд через шесть раздался удар. Подумал, что «полетели» лопатки турбины. Потом еще удар. Я посмотрел на верхнее перекрытие. Мне показалось, что оно должно упасть. Отскочил к щиту безопасности. Приборы показывали страшную аварию. Выбежал на улицу... С крыши «Ромашки» светил прожектор. Но увидел еще какое-то свечение над 4-м энергоблоком» [30].

Р. Давлетбаев, зам. начальника турбинного цеха: «Через секунды послышался со стороны машзала гул низкого тона, сильно трянуло пол и стены, с потолка посыпалась пыль и мелкая крошка, потухло люминесцентное освещение, установилась полутьма, затем сразу же раздался глухой удар, сопровождающийся громopodobными раскатами. Затем освещение снова появилось».

А. Дятлов, зам. главного инженера второй очереди ЧАЭС: «Услышал первый удар со стороны машзала. Он был сильный, но не такой, который прозвучал следом через несколько секунд. Этот уже воспринимался или как один длинный удар или два, но следующие друг за другом. И по силе, тот второй, оказался более ощутим» [31].

Таким образом, данная гипотеза, вопреки общепринятому мнению, предполагает начало развития аварии со стороны машзала, а нажатие АЗ-5 случайно совпало по времени и никоим образом уже не могло предотвратить катастрофы. Исходное предположение об образовании магнитных монополей в момент выбега турбогенератора может быть развито в некоторый сценарий развития аварии. Магнитные монополи, предположительно образовавшись в районе турбогенераторов, могли попасть в паропроводы. Поскольку кислород является парамагнетиком, то магнитные частицы должны образовать с кислородом так называемые «связанные состояния» и двигаться по паропроводам вместе с паром, как по волноводам. По паропроводам должен был потечь «магнитный ток». Расположенные рядом с таким полем электрические кабели должны были бы притягиваться к магнитному току, образованному монополями, движущимися по паропроводам. Что и наблюдается, если пройти по трассе паропровода, более того - часть



электрораспределительных щитов была сорвана вместе с крепежной арматурой и фрагментами перегородок (помещения в районе барабан – сепараторов). А в помещениях самих барабан - сепараторов оказались разрушены даже сами перекрытия. Магнитные заряды, попав в ГЦН, должны были привести к сбою в работе электродвигателей. И, по-видимому, именно этим обстоятельством можно объяснить срыв питания четырех ГЦН (2-х северных и 2-х южных). Срыв произошел именно на тех ГЦН, которые были запитаны от выбегающего турбогенератора № 8. Остальные четыре ГЦН были запитаны от третьего блока, и с этими насосами ничего не произошло.

Попав в реактор, магнитные монополи, как обсуждалось выше, должны были провзаимодействовать с ядрами топлива и ядрами-излучателями запаздывающих нейтронов, что привело к росту реактивности, следовательно, росту мощности и паровому взрыву. Возможное появление большого количества водорода в результате ядерной трансформации могло привести и к взрыву водорода.

Возникновение двух последовательных взрывов в районе реактора в момент аварии [30], в рамках рассматриваемого механизма, находит логичное объяснение, если учесть существующее различие в длине трубопроводов от машзала к северным и южным барабан-сепараторам.

Основываясь на экспериментальных результатах [1], можно утверждать, что трансформации при определенных условиях под действием магнитных монополей могли подвергнуться не только ядра  $U^{238}$ , но и ряд других ядер, например,  $C^{12}$ . Теоретически такой эффект был предсказан в работе [27]. Таким образом, можно предположить, что если магнитные монополи попали в реактор, то трансформации должен был подвергнуться и реакторный графит. При исследовании элементного состава послеаварийных фрагментов графитовых блоков с четвертого реактора ЧАЭС, наблюдались значительные вкрапления Al, Si, Na, U в толще графита, хотя хорошо известно, что в реакторах используется особо чистый графит. И поэтому этот факт может служить косвенным аргументом в пользу версии о частичной трансформации графита.

Ряд очевидцев, в том числе и члены Правительственной комиссии, отмечают, что свечение, которое наблюдалось в первые дни после аварии над разрушенным реактором, имело неестественные цвета [30]. Этот факт может быть легко объяснен в рамках взаимодействия магнитных монополей с возбужденными атомами, которое смещает электронные уровни оптических переходов [32, 33] так, что может возникать непривычная для глаза цветовая гамма.

### **Заключение.**

Авторы статьи отдают себе отчет, что высказанная гипотеза может вызвать вполне объяснимую неоднозначную реакцию среди специалистов. Однако, следует отметить, что любая гипотеза имеет право на существование, если она объясняет некоторые факты, не укладывающиеся в рамки существующих представлений и предсказывает некоторые факты, доступные экспериментальной проверке.

Для проверки высказанной гипотезы предлагается провести следующие исследования:

1. Более тщательное измерение изотопного состава урана в ТСМ (топливо-содержащая масса);
2. Измерение изотопного состава графитовых блоков и углерода, содержащегося в ТСМ (конечно, с учетом проведенной кампании);
3. Весьма возможно, что удастся обнаружить радионуклиды, не характерные для уран-топливного цикла, т.к. часть  $U^{238}$  должна была делиться под действием монополей;
4. В центральном зале остались кассеты со свежим топливом и сохранили свою герметичность. Если магнитные монополи действительно участвовали в аварии, то часть их могла попасть в свежее топливо и тем самым исказить начальное изотопное соотношение в пользу  $U^{235}$ .

Авторы хотят отметить заслугу член-корреспондента РАН Кружилина Г.Н., чья пионерская работа [13] послужила отправной точкой размышлений над механизмом разгона реактора. Авторы выражают глубокую признательность своим коллегам: Владимирову В.А., Волковичу А.Г., Герасько В.Н., Корнееву А.А., Чечерову К.П. и многим другим, чьим самоотверженным трудом, по крупицам собиралась достоверная информация о пост - аварийном состоянии IV блока ЧАЭС.

**Приложение 1. Уравнения кинетики реактора и анализ неустойчивости.**

Запишем уравнения кинетики реактора [15]:

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{\rho - \beta}{T} n + \sum_i \lambda_i C_i \\ \frac{dC_i}{dt} &= \frac{\beta_i n}{T} - \lambda_i C_i, \end{aligned} \quad (\text{a.1})$$

где  $C_i$  и  $\lambda_i$  соответственно - плотности и обратные времена жизни ядер-излучателей запаздывающих нейтронов,  $T = 10^{-3}$  сек. - время жизни одного поколения мгновенных нейтронов. В приближении одной эффективной группы запаздывающих нейтронов ( $\lambda = 0.1 \text{ сек}^{-1}$ ) при  $\rho = \text{const}$  из (a.1) путем дифференцирования и не сложных подстановок приходим к уравнению:

$$\frac{d^2 n}{dt^2} = \frac{(\rho - \beta - \lambda \cdot T)}{T} \cdot \frac{dn}{dt} + \lambda \cdot \frac{\rho}{T} n, \quad (\text{a.2})$$

которое в разумном приближении  $\lambda \cdot T \ll \beta$  совпадает с (1).

**Анализ влияния парового коэффициента реактивности.**

Рассмотрим предельный для рассматриваемой аварии случай, при котором реактивность растет согласно уравнению (4):

$$\frac{d\rho}{dt} = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{n}{n_0}, \quad (\text{a.3})$$

где  $\alpha < 0.025 \text{ сек}^{-1}$ . При рассмотрении всех групп запаздывающих нейтронов вычисления становятся более громоздкими, но не меняют качественных выводов. Поэтому ограничимся решением системы нелинейных дифференциальных уравнений (a.2-a.3) в приближении одной эффективной группы запаздывающих нейтронов. Перейдем к следующим безразмерным переменным:

$$\tilde{\rho} = \frac{\rho}{\beta}; \quad \tilde{n} = \frac{n}{n_0}; \quad (\text{a.4})$$

При этом из (a.2) и (a.3) легко получаем систему:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{\rho}}{dt} &= \alpha \cdot \tilde{n} \\ \left(\frac{T}{\beta}\right) \frac{d^3 \tilde{\rho}}{dt^3} + \left(\frac{T\lambda}{\beta} + 1\right) \frac{d^2 \tilde{\rho}}{dt^2} - \left(\frac{d\tilde{\rho}}{dt}\right)^2 - \tilde{\rho} \left(\frac{d^2 \tilde{\rho}}{dt^2} + \lambda \frac{d\tilde{\rho}}{dt}\right) &= 0 \end{aligned} \quad (\text{a.5})$$

Интегрируя второе уравнение (a.5), и учитывая начальные условия  $\rho(0)=0$ ,  $\rho'(0)=\alpha$  и  $\rho''(0)=\alpha \cdot n'(0)=0$ , (так как разгон начался из стационарного состояния), находим:

$$\left(\frac{T}{\beta}\right) \frac{d^2 \tilde{\rho}}{dt^2} + \left(\frac{T\lambda}{\beta} + 1\right) \frac{d\tilde{\rho}}{dt} - \tilde{\rho} \frac{d\tilde{\rho}}{dt} - \frac{\lambda \tilde{\rho}^2}{2} = \left(\frac{T\lambda}{\beta} + 1\right) \alpha \quad (\text{a.6})$$

Так как в рассматриваемом случае  $T \cdot \lambda \ll \beta$  и  $T \cdot \alpha \ll \beta$ , то из (a.6) следует:

$$e^{-\frac{\beta}{T} t} \left(\frac{T}{\beta}\right) \frac{d}{dt} \left[ e^{\frac{\beta}{T} t} \frac{d\tilde{\rho}}{dt} \right] = \alpha + \frac{1}{2} e^{-\lambda t} \frac{d}{dt} [e^{\lambda t} \tilde{\rho}^2] \quad (\text{a.7})$$

В указанном приближении получаем решение:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot \alpha}{\lambda}} \cdot \text{arctg} \left( \sqrt{\frac{\lambda}{2 \cdot \alpha}} \tilde{\rho} \right) - \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \ln \left( 1 + \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha} \tilde{\rho}^2 \right) = \alpha \cdot t. \quad (\text{a.8})$$

Нелинейный член в уравнении (a.6) становится существенным при  $\tilde{\rho} \sim \sqrt{2 \cdot \alpha / \lambda} \sim 0.7$ . Возвращаясь к исходным переменным  $\rho(t)$  и  $n(t)$ , не сложно найти решения при временах  $t \ll \alpha^{-1}$ , то есть  $\sim 40$  сек.:

$$\begin{aligned} \rho(t) &= \beta \cdot \left[ \alpha \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot t^2 + \left( \frac{1}{2} \alpha^3 + \frac{\lambda}{6} \alpha^2 \right) \cdot t^3 + o((\alpha t)^3) \right], \\ n(t) &= n_0 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot t + \left( \frac{3}{2} \alpha^2 + \frac{\lambda}{2} \alpha \right) \cdot t^2 + o((\alpha t)^2) \right]. \end{aligned} \tag{a.9}$$

Таким образом, в рамках принятых начальных условий рост мощности за первые 10 с. не мог быть больше чем 1.5 раз. Как уже отмечалось, 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.

**Анализ пространственной неоднородности.**

При учете пространственной неоднородности плотности нейтронов первое уравнение системы (a.1) принимает следующий вид [17]:

$$\frac{dn}{dt} = D\Delta n + \frac{\rho - \beta}{T} n + \sum_i \lambda_i C_i \tag{a.10}$$

где  $D = l v / 3$  – коэффициент диффузии нейтронов,  $v$  – скорость нейтрона,  $l = (\sigma_s n)^{-1}$  – средняя длина переноса (пробег по отношению к рассеянию). Заметим, что  $D = L^2 / T$ , где  $T$  – как и раньше время жизни одного поколения мгновенных нейтронов,  $L = (1 \Lambda)^{1/2}$  – длина диффузии,  $\Lambda = (\sigma_c n)^{-1}$  – средний свободный пробег по отношению к захвату или поглощению. Длина диффузии для графита  $L \sim 50$  см., для воды  $\sim 3$  см. При поиске собственных решений уравнений (1.10) в виде  $n(t) = \varphi(x,y,z) \cdot f(t)$ , учитывая, что на границе реактора  $n = 0$ , получаем:

$$\begin{aligned} \Delta \varphi &= -k^2 \varphi \\ \frac{dn}{dt} &= \frac{\rho - (kL)^2 - \beta}{T} n + \sum_i \lambda_i C_i \end{aligned} \tag{a.11}$$

Отсюда видно, что учет неоднородности приводит к уменьшению реактивности на величину  $(2\pi L/a)^2$ , где  $a$  – длина волны пространственной гармоник возмущения.

**Приложение 2. Влияние изменения свойств распада атомов-излучателей запаздывающих нейтронов на реактивность.**

Для того, чтобы научиться описывать влияние изменений свойств распада на динамику реактора, необходимо несколько изменить коэффициенты в системе уравнений кинетики реактора. В уравнениях (a.1) обычно выделяют шесть групп ядер-излучателей запаздывающих нейтронов [15]. В стационарном режиме работы реактора из (a.1):

$$C_i = \beta_i / (\lambda_i T) n,$$

количество ядер-излучателей запаздывающих нейтронов на два порядка превышает количество мгновенных нейтронов (табл. 1). Для приближения одной эффективной группы ядер-излучателей  $\beta \approx 5 \cdot 10^{-3}$ ,  $\lambda \approx 0.1$ ,  $T \approx 10^{-3}$ , следовательно  $C/n \sim 50$ .

i	$\lambda_i, \text{сек}^{-1}$	$t_i, \text{сек}$	$\beta_i$
1	14,0	0,071	0,00025
2	1,61	0,62	0,00084
3	0,456	2,19	0,0024
4	0,151	6,50	0,0021
5	0,0315	31,7	0,0017
6	0,0124	80,2	0,00026

Табл. 1.

В реакторе постоянно находится огромное количество атомов, способных излучить нейтроны. Все ядра-излучатели запаздывающих нейтронов, а их более сорока [34, 35], распадаются по двум каналам:  $\beta$ -распад и испускание нейтрона, причем вероятность нейтронного канала редко превышает 20% [35].

В уравнениях (a.1) учитывались концентрации только тех атомов-излучателей запаздывающих нейтронов, которые испытали распад по нейтронному каналу, а осколки,

испытывавшие  $\beta$ -распад, считались потерянными для процесса цепной реакции. Фактически те нейтроны, которые привели к образованию осколков, испытывавших  $\beta$ -распад учитывались в увеличении потерь, то есть в уменьшении реактивности  $\rho$ . Кроме того часть распадов одних атомов-излучателей приводит к появлению других излучателей. В общем случае измененные уравнения (а.1) будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{[\rho + (1 - k_0)\beta_{tot}] - \beta_{tot}}{T} n + \sum_i \lambda_i k_i C_i \\ \frac{dC_i}{dt} &= \frac{\beta_i}{T} n - \lambda_i C_i \end{aligned} \quad (a.12)$$

где  $k_i$  – вероятность нейтронного распада ядра-излучателя,  $\beta_i$  – доля ядер  $i$  – группы с учетом тех, которые испытывают  $\beta$ -распад,  $\beta_{tot}$  – сумма  $\beta_i$ ,  $k_0$  – среднее  $k_i$  до аварии. Если нарушения процессов распада привели к затруднению  $\beta$ -распада, то могла увеличиться доля нейтронного канала распада  $k_i$ . Так как доли  $k_i < 0.2$ , то имеется достаточно большой запас для увеличения  $k_i$ . Если  $k_i$  выросли и среднее значение  $k$  увеличилось до  $k_1$ , то время разгона реактора из (а.12) получается:

$$\tau = \frac{2T}{\beta_0} \left[ \sqrt{1 + 4\lambda \frac{T}{\beta_0} \cdot \frac{(k_1 - k_0)}{k_0}} - 1 \right]^{-1}, \quad (a.13)$$

где  $\beta_0 = k_0 \cdot \beta_{tot}$ . При  $T \cdot \lambda \ll \beta$  получаем:

$$\tau = \lambda^{-1} \frac{k_0}{k_1 - k_0} \quad (a.14)$$

#### Литература:

1. Уруцкоев Л.И., Ликсонов В.И., Циноев В.Г. Экспериментальное обнаружение «странного» излучения и трансформации химических элементов. Прикладная физика, 2000, 4, с.83–100.
2. 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.45–50.
3. Lochak G., Ann. Fond. L. de Broglie, 1983, v.8, p.345; 1984, v.9, p.5.
4. Lochak G. The symmetry between Electricity and Magnetism and the problem of the existence of Magnetic Monopole. in: Advanced Electromagnetism, Ed. T.W. Barrett and D.M. Grimes, World Scientific Publishing Company, Singapore, 1995, p. 105–147.
5. Лошак Ж. О возможности легкого, лептонного магнитного монополя, способного влиять на слабые взаимодействия. Прикладная физика, 2003, т.3, с. 10–13.
6. Правительственная комиссия по изучению причин и обстоятельств аварии на Чернобыльской АЭС. ДОКЛАД. Причины и обстоятельства аварии 26 апреля 1986 г. на блоке 4 Чернобыльской АЭС. Действия по управлению аварии и ослаблению последствий, с.12–32.
7. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ., Атомная энергия 1986, т.61, вып.5, с.302–320.
8. Адамов О.Е., 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.
9. Адамов Е.О. и др. Анализ первой фазы развития аварийного процесса на четвертом блоке Чернобыльской АЭС, Атомная энергия, т.64, в.1, стр. 24–28.
10. Афанасьева А.А. и др. Анализ аварии на Чернобыльской АЭС с учетом разрушения активной зоны, Атомная энергия, т.77, в.2, стр. 87–93.
11. Расчетно-пояснительная записка к техническому проекту РБМК, ИАЭ им. И.В. Курчатова, инв.№ 35–877, 1966.
12. Доллежалъ Н.А., Емельянов И.Я. Канальный ядерный энергетический реактор. М.: Атомиздат, 1980, с.22–23, 34, 50, 96–97.
13. Кружилин Г.Н. О характере взрыва реактора РБМК-1000 Чернобыльской АЭС. ДАН, 1977, том 354, № 3, с.331–332.
14. Андерсон Е.Б., Бураков Б.Е., Пазухин З.М. Плавилось ли топливо 4-го блока Чернобыльской АЭС. Радиохимия, 1992, №5, с.155–158.
15. Шульц. М Регулирование энергетических ядерных реакторов. М.: ИЛ, 1957, с.29–70.
16. Киселев А.Н., Сурин А.И., Чечеров К.П. Послеаварийное обследование реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС., Атомная энергия, 1996, т.80, в. 4, с.240–247.

17. Ферми Э. Научные труды т.2, М.: «Наука», 1972, с.316–326.
18. Беловицкий Г.Е., Россель К. «Мгновенное деление ядер урана медленными отрицательными мюонами», Краткие сообщения по физике ФИАН. №9–10, 1996.
19. Fiorentini G. The coupling between magnetic charges and magnetic moments. Monopole'83. Proceedings of a NATO advanced research workshop, ANN arbor, MI, USA, 6-9 oct. 1983, pages 317–331.
20. Кузнецов В.Д., Мышинский Г.В., Жеменник В.И., Арбузов В.И. Материалы 8-й Российской Конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов. М., 2001, с.308–332.
21. Audi G., Wapstra A.H., The 1995 update to the atomic mass evaluation. Nucler Physics, 1995, A595, v.4, p.409–480.
22. Собонович Э.В., Чебаненко С.И. Изотопный состав урана в почвах ближней зоны ЧАЭС. ДАН – 1990, с.885–888.
23. Кузьмина И.Е., Лобач Ю.Н. Ядерное топливо и особенности формирования аэрозолей в объекте «Укрытие». Атомная энергия, 1997, т.82, вып.1, с. 39–43.
24. Dirac P. A. M. Proc. Roy. Soc. 1931. Ser. A., v. 133, p. 60.
25. Поляков А. М. «Спектр частиц в квантовой теории поля», Письма в ЖЭТФ, М., 1974, т. 20, вып. 6, с. 430–433.
26. Hoof G. Nucl. Phys., 1974. Ser. A. V. 133. P. 60.
27. Lipkin H. J.: Monoponucleosis – the wonderful things that monopoles can do to nuclei if they are there. Monopole'83. Proceedings of a NATO advanced research workshop, ANN arbor, MI, USA, 6-9 oct. 1983, pages 347–358.
28. Рубаков В. А. «Сверхтяжелые магнитные монополи и распад протона», Письма в ЖЭТФ, М., 1981, т. 33, вып. 12, с. 141–153.
29. I. Schwinger, Phys. Rev., 1966, v.1087, p. 144.
30. Чернобыльский репортаж, «Планета», М. 1988.
31. Дятлов А.С. «Чернобыль. Как это было». М. Научтехиздат. 2000
32. Sidney D. Drell, Norman M. Kroll, Mark T. Mueller, Stephen J. Parke, Malvin A. Ruderman «Energy loss of slowly moving magnetic monopoles in matter», Physical Review Letters, v.50, number 9, p 644–649.
33. D. Lynden-Bell, M. Nouri-Zonoz “Classial monopoles: Newton, NTU space, gravitation lens and atom specters”, Review Modern Physics, Vol. 70, No. 2, April 1998, p. 421–445.
34. Физические величины. Справочник под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е. З. М.: Энергоатомиздат, 1991.
35. Гангрский Ю.П., Далхсурен Б, Марков Б.Н. Осколки деления ядер. М.: Энергоатомиздат, 1986.



рис.3 Фрагмент внутренней поверхности шахты реактора.