

К статье А.Д. Панова

«О статье Д.Б. Зотьева об осуществимости кинетического двигателя»

§ 1. Защита лженауки

Мотивом к написанию этой статьи послужила публикация [1], автор которой выступил против критических замечаний [2] в отношении идеи, выдвинутой в [3]. Она основана на том, что теоретически можно использовать кинетическую энергию корабля для дальнейшего разгона с потерей части массы. Впервые эта идея была представлена в [4], где предлагались другие, не менее экзотические способы реализации. Ее критический анализ можно резюмировать следующим образом. Кинетический реактивный двигатель является технической химерой, которая не заслуживает внимания научного сообщества.

Аргументы в обоснование данной позиции изложены в [2]. Поэтому будет достаточно ответить автору [1], который выступил в защиту, не будучи связан с идеей В.В. Подвысоцкого иначе, как в роли рецензента статьи [3]. Решимость оградить автора [3] от критики не вполне понятна, также как и избыточная увлеченность А.Д. Панова. Как следствие последней, автор нередко извлекает фразы из контекста и находит в них основания для упреков, которые мягче всего можно назвать формальными. Например, в 4-м абзаце на стр. 1 А.Д. Панов заостряет внимание на том, что в качестве зондов рассматриваются цилиндры с высотой 10 см. Однако, сразу после этого места в [2] обсуждаются тонкие диски или пленки, а перебор конфигураций зондов можно считать стремлением к оптимальному варианту. Последнее, по мнению автора, необходимо для обоснованной критики. Там же отказано в легитимности термину «абсолютно твердая мишень», хотя из текста ясно видно, что речь идет об идеальной ситуации, позволяющей получить первые оценки. Такого рода поверхностных замечаний в тексте [1] немало, и все это недвусмысленно подводит читателя к выводам о компетентности Д.Б. Зотьева. По-видимому, А.Д. Панов невнимательно читал [2], т.к. иначе он нашел бы ответы на свои вопросы. Как следствие, доводы статьи [2] проигнорированы в [1], а внимание читателей отвлечено на ерунду. В дальнейшем, если прямо не сказано иное, идет речь о фрагментах публикации [1].

§ 2. Из пушки на Луну

На стр. 2 и 3 предлагается вариант реализации кинетического двигателя, в котором электромагнитная пушка на Луне обстреливает «зондами» корабль в космосе. Важно заметить, что это - в принципе другая схема! В [3] предлагается разгон за счет кинетической

энергии самого корабля, с потерей части массы. При этом аппарат должен в процессе разгона «наткаться» на неподвижные или медленно движущиеся зонды, и извлекать из этого полезное тепло. Пример с пушкой имеет больше смысла, поскольку удары зондов о плиту могли бы создать непосредственную тягу. Такого рода концепции под общим названием *beamed propellant* хорошо известны. Например, они обсуждаются в контексте внешней подачи гранулированного топлива. Этот подход выглядит проще и разумней. Итак, автор предлагает обстреливать корабль зондами, чтобы получать тепло из кинетической энергии. Но это не совсем то (даже совсем не то), что имел в виду В.В. Подвысоцкий. Такая подмена уводит в сторону от проблемы принципа извлечения тяги из встречных ударов, которая делает его *a'priori* бессмысленным. А именно: задача достижения большой скорости сводится к начальному разгону *очень большой* массы. Причем масса растет квадратически от конечной скорости, без учета усилий по подъему этой тяжести с Земли (второй абзац стр. 1 [2]).

На стр. 3 автор рассматривает столкновение очень тонких дисков из дейтерия, при относительной скорости 60 км/сек. Он утверждает, следуя в этом [3], что: *«если вместо чистого дейтерия использовать дейтерий-тритиевую смесь, то можно получить еще и выгоду от возможности дополнительного получения термоядерной энергии»*.

В статье [2] было показано, что при скорости удара ~ 100 км/сек характерная температура термоядерного синтеза не достигается. На самом деле, даже 1 млн. К практически недостижим. Действительно, при такой температуре «файербол» расширится за 1 мкс на ~ 1 дм. Согласно замыслу автора, между стенками камеры и местом встречи зонда с мишенью должен быть зазор ~ 1 м. Поэтому за 1 мкс файербол не успеет удариться о стенку камеры сгорания. Принимая его радиус 1 дм и считая абсолютно черным телом, при $T = 10^6$ К получим оценку в 3.5 ГДж электромагнитной энергии, излученной с поверхности плазменного, сплюснутого «эллипсоида» за 1 мкс. Для передачи такой энергии при столкновении тонкий диск из дейтерия придется заменить цилиндром с высотой в несколько см и массой около 0.7 кг. На скорости 100 км/сек последний, очевидно, пробьет стенку камеры вместо того, чтобы образовать «файербол» (см. оценки давления в [2]).

Таким образом, предсказанное в [1,3] образование шара из горячей плазмы не выдерживает критики, основанной на законе Стефана-Больцмана. Его применимость нуждается в обосновании, поскольку в токамаках и других экспериментах горячая плазма не ведет себя, как черное тело. Однако, в данном случае плазма имеет порядок плотности жидкого дейтерия, т.е. $\sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$, что на 8 порядков выше плотности в токамаках и на 7 порядков выше плотности фотосферы Солнца. Последняя состоит из водорода и гелия, имеет толщину 300 – 500 км и взаимодействует с излучением, как черное тело. Длина свободного

пробега в веществе обратно пропорциональна его плотности. Поэтому тот файербол, который якобы возникнет при ударе, по-видимому, был бы способен поглощать большую часть излучения с температурой 1 млн. К. Отсюда следует, что его можно считать черным или, по крайней мере, серым телом. Такие плазменные сгустки с температурами в миллионы К, плотностями конденсированной материи и диаметрами в десятки сантиметров (хотя и с другим составом вещества), возникают при ядерных взрывах и служат каналами первичной передачи энергии из зоны цепной реакции и/или синтеза. Очевидно, что образование чего-то подобного от столкновения двух очень тонких дисков является фантазией, основанной только на подсчете кинетической энергии. Заметим также, что 3.5 ГДж эквивалентно 800 кг тротила, и эта лучистая энергия пошла бы на вредный нагрев двигателя.

В последнем абзаце на стр. 3 автор так объясняет механизм образования файербола: «... При соударении как в зонде, так и в мишени возникают ударные волны, движущиеся в противоположных направлениях. Проходя через соответствующие диски, они нагревают их и превращают, ... либо в сверхплотный раскаленный газ ..., либо в сверхплотную плазму.»

Но скорость ударных волн равна скорости звука в веществе. В твердых телах, чем на момент удара является дейтериевый диск, она обычно не превышает ~5 км/сек (хотя в алмазе втрое выше). В жидкостях и газах скорость звука существенно меньше, а в плазме может быть и больше. Однако плазмой еще нужно стать! Ясно, что скорость звука значительно ниже скорости сближения вещества. Первоначально она равна 60 км/сек. К моменту выравнивания со скоростью звука в диске (~5 км/сек) свыше 99% энергии зонда будет уже рассеяно. Поэтому распад межатомных связей произойдет значительно быстрее, чем в диске образуется ударная волна. Таким образом, мнение автора о механизме превращения дисков в «файербол», а также рассуждение о неустойчивости Рэля-Тейлора не соответствуют реальности (стр. 4).

В то же время автор справедливо пренебрегает энергией межатомных связей (последний абзац на стр. 5). По-видимому, в данном случае адекватной моделью является столкновение пучков атомов, а не ударные волны в дисках.

§ 3. Гипотеза о тепловом взрыве

Рассматриваем события в системе отсчета корабля. В силу закона сохранения импульса, при массе зонда m и мишени \tilde{m} кинетическая энергия продуктов столкновения составит долю $m/(m + \tilde{m})$ от кинетической энергии зонда E_k . Гипотеза о тепловом взрыве, которая неявно положена в основу всех рассуждений из [1,3], заключается в следующем.

Гипотеза: Количество тепла Q , которое после столкновения зонда и мишени останется в плазменном сгустке, составляет

$$Q = \frac{\tilde{m}}{m + \tilde{m}} E_k \quad (1)$$

Потери на нагрев двигателя составят меньшую часть этого тепла, а остальное может быть преобразовано в кинетическую энергию газовой струи, истекающей из сопла.

Согласно сказанному выше, принимается следующая модель. Атомы зонда налетают и подвергаются в среднем неупругому рассеиванию на атомах мишени. При этом зонд и мишень находятся в состоянии конденсированной материи. При скорости зонда в 60 км/сек, (которая фигурирует в практическом примере автора), кинетическая энергия столкновения атомов равна 37.6 эв. Пусть импульс налетающего атома равен p . Тогда после прямого и неупругого столкновения пара атомов уносит около 18,8 эв энергии, двигаясь с общим импульсом p . Заметим, почти весь этот импульс приходится на атомы (ионы) дейтерия, т.к. иначе энергия электронов была бы слишком велика. Таким образом, при столкновении атомов зонда и мишени может ионизироваться разве лишь один из них. Их этих рассуждений следует, что электроны ионизации в среднем приобретают энергию не выше 5.2 эв = 37.6 - 18.8 - 13.6 эв. Причем в дальнейшем их энергия существенно не возрастает, т.к. масса электрона мала по сравнению с атомом, а рассеивание излучения на электронах будем незначительным (см. ниже). Поскольку 5.2 эв меньше потенциала ионизации (13.6 эв), а вещество является достаточно плотным, следует ожидать быстрой рекомбинации ионов. Последняя сопровождается излучением. Рассеиванием света на электронах можно пренебречь, т.к., исходя из сечения Томсона, длина свободного пробега оценивается ~1 мм, а толщина дисков многократно меньше (см. оценки в [2]). При поглощении атомами фотоны переизлучаются, а комптоновское рассеивание и bremsstrahlung будут незначительными. Отсюда следует, что излучение лишь незначительно нагреет вещество. Запомним этот факт и попытаемся понять, что происходит с нейтральными атомами зонда при движении сквозь мишень.

Если рассеивание атома зонда на атоме мишени является упругим, то уместна аналогия с рассеиванием нейтронов в водороде, т.к. в обоих случаях массы частиц одинаковы. Известно, что нейтрон в среднем теряет 63% энергии при одном «столкновении» с неподвижным ядром водорода [5]. Поэтому в среднем, после одного упругого рассеивания атом зонда имеет энергию 13.9 эв. Этого недостаточно для ионизации хотя бы одного атома при последующем столкновении, т.к. по меньшей мере половина от 13.9 эв достанется кинетической энергии. После неупругого рассеивания, вызвавшего ионизацию, энергия

атома в среднем не превышает $5.2 \text{ эв} = 18.8 - 13.6 \text{ эв}$. Итак, в среднем каждый атом зонда способен ионизировать не больше одного атома (возможно самого себя). После первого столкновения, независимо от его исхода, энергии атома недостаточно для ионизации.

Отсюда видно, что в случае равенства массы зонда m и мишени \tilde{m} , по завершении столкновения дисков степень ионизации будет существенно ниже 50%, поэтому плазма относительно холодная. Вероятно, что ее температура не превысит 10 000 К, однако с уверенностью можно лишь утверждать, что

$$T \ll T_i = 158\,000 \text{ К} \quad (2)$$

где T_i отвечает потенциалу ионизации дейтерия. Если гипотеза верна, то при скорости зонда в 60 км/сек и $m = \tilde{m}$ температура газа после взрыва $T = m_0 v^2 / (6k) = 145\,000 \text{ К}$ (m_0 - масса дейтрона). Очевидно, что степень ионизации такой плазмы должна быть близка к 100%. Получено противоречие оценке (2), которое подтверждает, что гипотеза ошибочна.

Мы исходили из того, что массы зонда и мишени совпадают. Очевидно, что в случае различных, но одного порядка масс картина принципиально не изменится. Эти эвристические рассуждения уязвимы для критики, но в [1,3] им противостоит только элементарный подсчет кинетической энергии и **гипотеза** о тепловом взрыве. Нетрудно строго доказать, что двигатель Подвысоцкого-Панова не способен создавать тягу (§ 4).

Тепловой взрыв, разумеется, произойдет, но значительная часть энергии выделится в форме кинетической энергии разлета атомов, а не тепла в газовом сгустке (см. [2]). Здесь можно возразить, что именно тепло преобразуется в энергию разлета газа. Однако значительная часть кинетической энергии зонда переходит в энергию разлета атомов непосредственно, минуя стадию образования тепла. Убедиться в этом поможет тот факт, что атомы зонда и мишени имеют одинаковую массу (дейтерий), как предлагается в статье [1].

При подсчетах импульсов (но не энергии) взаимодействие с электронами не существенно. Как отмечалось в § 2, с достаточной точностью можно считать, что каждый атом зонда рассеивается на свободных атомах мишени. Направим ось X вдоль оси камеры к задней стенке. При любом взаимодействии пары атомов, в процессе столкновения мишени с зондом, оба атома имеют положительные проекции скорости v_x . В самом деле, все атомы зонда первоначально движутся в одну сторону, так что $v_x = \text{const} > 0$. Если $v_x \geq 0$ и $w_x \geq 0$ - проекции скорости атомов до столкновения, а \tilde{v}_x и \tilde{w}_x - после него, то вследствие совпадения масс имеем: $v_x + w_x = \tilde{v}_x + \tilde{w}_x$ и $v_x^2 + w_x^2 \geq \tilde{v}_x^2 + \tilde{w}_x^2$. Отсюда $v_x w_x \leq \tilde{v}_x \tilde{w}_x$ и $\tilde{v}_x \tilde{w}_x \geq 0$. Поэтому $\tilde{v}_x \geq 0$, $\tilde{w}_x \geq 0$, что и требовалось доказать.

С учетом сказанного очевидно, что в процессе удара и после него почти *все* атомы зонда и мишени движутся в направлении оси X , до первого столкновения со стенками. Отсюда следует, что поступательное движение зонда в процессе удара *не хаотизируется*, в каждый момент времени сохраняя исходную направленность. Причем не в среднем, а каждый атом движется в направлении оси X , хаотически отклоняясь в перпендикулярных направлениях. Очевидно, что при таких условиях нельзя говорить о преобразовании всей кинетической энергии в тепло и даже значительной части. В данном рассуждении мы не предполагали равенства $m = \tilde{m}$. Это еще раз опровергает **гипотезу** о тепловом взрыве.

На это можно возразить, что движение вещества хаотизируется позднее, в процессе соударений атомов со стенками камеры и между собой. Однако автор пишет о *термализованном* файерболе, что подразумевает изоляцию от стенок. Иначе пришлось бы допустить, что стенки имеют температуру плазменного сгустка. Последняя, согласно гипотезе, равна 158 тысяч К при $m = \tilde{m}$ и еще выше при $m < \tilde{m}$ (скорость полета 60 км/сек). Однако автор утверждает, что стенки не подвергаются критическому нагреву из-за упругости столкновений атомов дейтерия и урана-238. Таким образом тепло, которое может возникнуть от разлета вещества после удара, в [1] не принято во внимание. Эта энергия, а также механические нагрузки при разлете направлены не столько на создание тяги, сколько на разрушение и вредный нагрев двигателя (см. [2]).

Одновременно мы увидели, что подсчет КПД η автором выполнен неверно, т.к. энергия разлета вещества после удара целиком включена в тепло. Центральное уравнение (2) из статьи [1] неверно также по другим причинам (§ 4).

Формально из (1) вытекает, что при большом отношении массы мишени к массе зонда почти вся его кинетическая энергия перейдет в тепло Q . Однако мишень не должна быть слишком массивной по сравнению с зондом, иначе она не испарится и нанесет механические повреждения (давление зонда на мишень выше пределов прочности всех материалов, см. [2]). Поэтому автор предлагает использовать очень тонкую, «левитирующую» мишень. По мнению А.Д. Панова, она примет на себя удар зонда, изолирует стенки от механической нагрузки и полностью испарится, превратившись в файербол. В статье [1] рассматриваются величины m и \tilde{m} одного порядка ($\tilde{m} \geq m$).

Автор уверен, что стенки камеры можно защитить от теплового действия плазмы, однако критической проблемой является не теплоизоляция, а защита двигателя от направленного удара. Левитирующая мишень ее не решает, поскольку плазменный сгусток нанесет удар с таким же импульсом, какой имели бы фрагменты зонда и мишени. Автор уверен, что последствия можно нивелировать, дав файерболу возможность расширяться. При

этом утверждается, что его можно сделать как угодно разреженным, снижая массы зонда и мишени (абзац 2 стр. 4). В какой-то мере это верно, но при слишком малой массе зонда его энергия будет мала, чтобы оправдать усилия по наведению в камеру сгорания и создать ощутимую тягу, учитывая *очень большую* массу такого аппарата (см. абзац 2 стр. 1 [2]). Однако нетрудно доказать, что кинетический двигатель Подвысоцкого в модификации Панова не сможет создать тягу вообще.

§ 4. Об эффективности химеры

Как и прежде, события рассматриваются в системе отсчета двигателя, фиксированной за мгновение перед ударом зонда о мишень. Независимо от того, что произойдет в процессе удара, эта система движется равномерно и прямолинейно. В предположениях гипотезы о тепловом взрыве (§ 3) в камере образуется раскаленный газ.

Утверждение: Если масса мишени \tilde{m} и зонда m связаны соотношением $8\tilde{m} \leq 3\pi \cdot m$, то при любых технических ухищрениях кинетический двигатель Подвысоцкого-Панова не способен создать тягу, которая компенсирует импульс торможения от удара зонда.

Для доказательства заметим, что струя газов, истекающая из сопла, должна иметь импульс больше, чем импульс зонда mv . Пренебрегаем реверсом корабля после удара, тогда скорость истечения u обязана удовлетворять неравенству

$$(m + \tilde{m})u > mv \quad (3)$$

чтобы стала возможной результирующая тяга. Сопло Лавалья не может сделать струю газов *в среднем* более быстрой, чем средняя скорость атомов. Здесь речь идет не о среднеквадратичной скорости, а о среднеарифметической

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi \cdot m_0}} \quad (4)$$

которая определяется распределением Максвелла. Дело в том, что сопло Лавалья переадресует атомы из поперечного в продольное направление, но не ускоряет их. При столкновениях же атомов дейтерия их скорости меняются одинаково, но в разные стороны, что не меняет среднего значения \bar{v} . Поэтому $u < \bar{v}$. Считая **гипотезу** верной и пренебрегая потерями тепла, получим:

$$U = \frac{3}{2} kT \frac{m + \tilde{m}}{\mu} N_A = Q$$

Отсюда и из (3) получаем, что $u < \bar{v}$ влечет $8\tilde{m} > 3\pi \cdot m$. Утверждение доказано.

На самом деле условие $8\tilde{m} \leq 3\pi \cdot t$ может быть усилено, т.к. мы рассмотрели идеальный двигатель. Если учесть потери тепла, которые в работе [1] оцениваются в 25%, то аналогично получим соотношение масс $2\tilde{m} \leq \pi \cdot t$, при котором двигатель Подвысоцкого-Панова в принципе не способен создать тягу. Однако в [1] даны оценки КПД в случае $\tilde{m} = t$ (см. диаграммы при $n = 1$), которые демонстрируют весьма успешную работу кинетического двигателя. Эффективность которого, по мнению автора, растет с увеличением скорости. Условие неработоспособности $2\tilde{m} \leq \pi \cdot t$ ясно показывает, что все вычисления и выводы статьи [1], касающиеся КПД, являются ошибочными. Очевидно, что неравенство $8\tilde{m} \leq 3\pi \cdot t$ не имеет принципиального, физического смысла. Просто в этом случае нетрудно строго доказать абсурдность фантазий Подвысоцкого-Панова.

Начиная со стр. 4 и до конца статьи [1] анализируется эффективность кинетического двигателя, исходя из ошибочной гипотезы о тепловом взрыве. Фактически А.Д. Панов развил идею В.В. Подвысоцкого, не отвечая на критику по существу, и сделал формально правильные выводы из ложных предпосылок.

Центральное уравнение (2) основано на той же гипотезе. Термализация плазмы, о которой пишет автор, произойдет после того, как часть энергии будет потеряна в процессах фоторекомбинации. Но в (2) неявно предполагается, что вся эта лучистая энергия вернется в плазму. Потери тепла, которые автор оценивает в 25%, имеют другой характер и не связаны с рекомбинацией (иначе в правой части (2) не было бы второго и третьего слагаемого). Однако в § 3 показано, что из-за малой толщины дисков энергия рекомбинационного излучения покинет их пространство раньше, чем фэйербол расширится. Таким образом, уравнение (2) является ошибочным.

Кроме того, при выводе (2) автор неявно предполагал, что полная ионизация еще не произошла (см. рассуждение о фазовом переходе). Однако формула (2) применяется для полетов на скорости 1 000 км/сек. Согласно гипотезе, в этом случае температура плазмы достигла бы сотни миллионов К !

В итоге автор резюмирует: *«Полученный результат опровергает вывод Д.Б. Зотьева, что кинетический реактивный двигатель «...не обещает преимуществ перед ЖРД и ЯРД в отношении затрат рабочего тела» (абзац 1 стр. 10).»*

Этот вывод основан на полученных в [1] оценках, которые, как было показано, являются ошибками. Кроме того, при вычислениях удельного импульса не принято во внимание, что аппарат сначала нужно разогнать до скорости включения «кинетического двигателя». При этом его масса, т.е., запас мишеней должен быть достаточно большим,

чтобы обеспечить дальнейший разгон за счет кинетической энергии. С учетом этого, удельный импульс необходимо усреднять. Сделаем это.

Пусть обычные двигатели (ЖРД или ЯРД), имея удельный импульс u , разогнали корабль массы M с запасом мишеней $\tilde{M} \gg M$ до скорости \tilde{v} , затратив $N \gg \tilde{M}$ топлива. Затем кинетический двигатель довел скорость до $\tilde{v} + v$, потратив все мишени. Тогда в силу формулы Циолковского

$$N = (M + \tilde{M}) \left(e^{\frac{\tilde{v}}{u}} - 1 \right) \quad \tilde{M} = M \left(e^{\frac{v}{\tilde{u}}} - 1 \right) \quad \tilde{M} + N = M \left(e^{\frac{v+\tilde{v}}{\bar{u}}} - 1 \right) \quad (5)$$

где \tilde{u} - удельный импульс кинетического двигателя, который выбираем максимальным, \bar{u} - средний удельный импульс. Из (5) следует, что

$$\bar{u} = \frac{v + \tilde{v}}{\frac{v}{u} + \frac{\tilde{v}}{\tilde{u}}} \quad (6)$$

Таким образом, средний удельный импульс зависит от достигнутых на каждом этапе скоростей. Теперь применим формулу (6), чтобы уточнить результаты А.Д. Панова. Будем считать их верными. При $\tilde{v} = 60$ км/сек автор получил удельный импульс $\tilde{u} = 6.9$ км/сек.

Если до скорости 60 км/с корабль разгонялся с помощью ЖРД при $u = 5$ км/сек, то в самом начале кинетического разгона, при скорости 61 км/сек средний удельный импульс $\bar{v} = 5.02$ км/сек, а после разгона до 120 км/сек получим $\bar{v} = 5.8$ км/сек.

При $\tilde{v} = 100$ км/сек автор получил удельный импульс $\tilde{u} = 15.9$ км/сек. Если до скорости 100 км/с корабль разгонялся с помощью ЯРД при $u = 10$ км/сек, то при скорости 101 км/сек имеем $\bar{v} = 5.03$ км/сек, а после разгона до 200 км/сек получим $\bar{v} = 7.61$ км/сек.

Эти результаты подтверждают тезис [2] о том, что данная идея не сулит преимуществ перед ЯРД в том, что касается расхода рабочего тела. Перед ЖРД формально есть преимущество при 100 км/сек, однако практическая сложность задачи разгона до 100 км/сек с помощью ЖРД имеет характер фундаментального ограничения. Поэтому сравнивать с ЖРД при таких скоростях некорректно. Однако важно подчеркнуть, что вычисления А.Д. Панова основаны на ложной гипотезе и других ошибках, поэтому даже такие значения удельного импульса получить невозможно. По-видимому, кинетический двигатель В.В. Подвысоцкого в принципе не способен создать тягу, которая превысит импульс торможения.

§ 5 . Черное тело в черном теле

В статье [1] почему-то не рассматриваются излучение энергии с поверхности «файерболо». Судя по тексту можно предположить, что оно учтено в составе тепловых

потерь, верхняя граница которых установлена в 25% Q (1). Следовательно, потери на излучение не превышают $1/3$ внутренней энергии U , которая останется в плазменном сгустке. Отсюда получаем:

$$\sigma T^4 \cdot 2\pi \cdot r^2 \cdot \tau \leq \frac{1}{3} \cdot U = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{2} \frac{m + \tilde{m}}{\mu} RT \quad (7)$$

Здесь σ - константа Стефана Больцмана, k - постоянная Больцмана, R - газовая постоянная, μ - молярная масса атомарного дейтерия, m_0 - масса атома дейтерия (кг), τ - время расширения файерболо до радиуса r , T - температура плазмы по завершении процесса расширения. Скорость расширения должна быть существенно меньше термической скорости дейтронов $v = \sqrt{3kT/m_0}$, иначе кинетическая энергия разлета плазмы будет сравнима с внутренней U , но автор не учитывает энергию расширения. Поэтому, в предположениях статьи [1] можно уверенно принять, что скорость расширения плазменного сгустка не превышает $v/3$, откуда $\tau = 3r/v$. Файербол расширяется из пространства дисков, поэтому считаем его имеющим форму двояковыпуклой линзы и принимаем площадь поверхности $S = 2\pi \cdot r^2$. Тогда из (7) вытекает необходимое условие:

$$T \leq \left(\frac{R}{12\pi\sigma \cdot r^3} \sqrt{\frac{3k}{m_0}} \frac{m + \tilde{m}}{\mu} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (8)$$

При $r = 25$ см в случае $\tilde{m} = 2m$ из (8) получаем $T \leq 280\,000$ К, а при $\tilde{m} = 10m$ имеем оценку $T \leq 470\,000$ К. Это достаточно большие величины для движения со скоростью 60 – 100 км/сек. Они заведомо недостижимы, если не разрушать двигатель ударами массивных зондов.

Условие (8) интересно тем, что оно накладывает принципиальные ограничения на температуру плазмы, вне зависимости от скорости аппарата. По существу (8) раскрывает внутренние противоречия статьи [1], когда она обнадеживает в отношении термоядерного синтеза и межзвездных полетов. Например, при $m = \tilde{m}$ и скорости корабля в 1 000 км/сек из **гипотезы** о тепловом взрыве вытекает, что после удара зонда температура плазмы T дойдет до 20 млн. К. Однако (8) ставит жесткое ограничение $T \leq 109\,000$ К.

Таким образом, рост начальной скорости для запуска кинетического двигателя отнюдь не ведет к возрастанию эффективности, а также самой возможности реализовать эту идею. Условие (8) следует применять для r в пределах несколько дм, т.к. при больших значениях радиуса плотность плазмы мала, и модель чернотельного излучения может утратить адекватность. Этот вопрос нуждается в дальнейшем уточнении вместе с неравенством (8), которое однако верно отражает одну из принципиальных ошибок публикаций [1,3]. А

именно, непринятие во внимания фактора чернотельного излучения горячей плазмы с плотностью конденсированной материи.

В заключение подчеркнем, что принципиальная **неосуществимость** идеи В.В. Подвысоцкого, а также ее практическая **бесполезность** вполне очевидны и уже достаточно подробно обоснованы. Надежды, которыми наполнена статья [1], основаны на непонимании фундаментальных проблем, которые переводят данное изобретение в разряд технических курьезов. Тема кинетического, реактивного двигателя не заслуживает внимания научного и инженерного сообщества, а усилиям по ее развенчанию было бы лучше найти более полезное применение. Крайне сомнительно, что *проницательный физик*, о котором недвусмысленно пишет А.Д. Панов в заключении к [1], нашел бы интересными идеи В.В. Подвысоцкого. Я думаю, что достаточно просто грамотного физика, чтобы не увлекаться наукообразной ерундой и не содействовать ее рекламе.

Ссылки:

1. А.Д. Панов, О статье Д.Б.Зотьева об осуществимости кинетического двигателя // <http://lnfm1.sai.msu.ru/SETI/koi/articles/Zotiev-Panov-2014-04-08.pdf>
2. Д.Б. Зотьев, Анализ осуществимости кинетического реактивного двигателя // <http://lnfm1.sai.msu.ru/SETI/koi/articles/Zotiev-2014-03-25.pdf>
3. В.В. Подвысоцкий, Теоретическое исследование возможности создания кинетического реактивного двигателя // <http://lnfm1.sai.msu.ru/SETI/koi/media/Podvysockiy.pdf>
4. В.В. Подвысоцкий, Космические двигатели третьего тысячелетия // <http://n-t.ru/tp/ts/kd3.htm>
5. Г. Судэк, Э. Кемпбелл, Элементарная теория котла // УФН, т. XLII, вып. 1, (1950).