

ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 531.62

Решение некоторых проблемных задач механики движущихся масс

Ю.П. Петров

Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: petrov-1941@bk.ru

(Статья поступила в редакцию 20 декабря 2018 г.)

Показано с высокой точностью для ядерных и электромагнитных взаимодействий равенство дефекта масс, вычисленных из закона сохранения массы и энергии, изменению масс в зависимости от их скорости. Из этого следует, что дефект масс соответствует убыли масс как источников сил гравитации. Определена скорость, при которой масса будет равна нулю. Проведено исследование движения планет Солнечной системы, предполагая, что их массы также зависят от их скорости. На основании астрономических наблюдений, определяющих скорость планет в зависимости от их расстояний от Солнца, с учетом изменения масс от скорости определен радиус «черной дыры». Этот радиус с погрешностью 0,2% равен радиусу Шварцшильда, введенного общей теорией относительности. Проведенные исследования, учитывающие убыль масс от скорости, позволяют утверждать, что так называемая «черная дыра» связана не с массой, стремящейся к бесконечности, а с массой, как источником сил гравитации, равной нулю.

Ключевые слова: *механика, масса, энергия, закон сохранения, ядро, изотоп, нейтрон, протон, электрон, планета, Солнце, орбита, черная дыра.*

DOI: 10.17072/psu.geol.18.1.43

Введение

В классической механике законы сохранения массы и энергии трактовались как законы сохранения материи и движения (Физический..., 1983). Однако экспериментально наблюдаемая зависимость массы от скорости характеризовала не только количество материи, но и её движение. Понятие энергии подверглось изменению: полная энергия пропорциональна массе. Эта взаимозависимость массы и энергии привела к тому, что классическая механика была заменена релятивистской механикой, в которой объединены законы сохранения массы и энергии, существовавшие в классической механике по отдельности. В релятивистской механике невозможно характеризовать количество материи, не принимая во внимание её движения и взаимодействий (Физический..., 1983).

Цель исследования

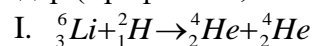
Закон сохранения массы и энергии релятивистской механики является фундамен-

тальным законом физики. Он применим к любым физическим процессам независимо от природы сил, участвующих в них.

Целостность атомных ядер обусловлена сильным взаимодействием между нуклонами (ядерные силы); целостность атомов – электромагнитным взаимодействием; Солнечная система существует благодаря силам взаимного тяготения.

Исследования

Рассмотрим три простейшие реакции синтеза ядер (Трофимова, 2006).



($Q_I = 22,4$ МэВ),

где ${}^6_3\text{Li}$ – изотоп лития; ${}^2_1\text{H}$ – изотоп водорода (дейтерий); ${}^4_2\text{He}$ – изотоп гелия; Q_I – количество теплоты, выделяемой в результате реакции.

Для этой ядерной реакции закон сохранения массы и энергии имеет вид (Трофимова, 2006)

$$E_I = c^2[(M_{{}^6_3\text{Li}} + M_{{}^2_1\text{H}}) -$$

$$-(M_{\frac{3}{2}\text{He}} + M_{\frac{2}{2}\text{He}})] = c^2 \Delta M_1,$$

где E_I – энергия, выделяемая в реакции; M – массы ядер; c – скорость света в вакууме; ΔM – дефект масс, определяющий энергию связи нуклонов (Физический..., 1983).

Проведем вычисления, пользуясь «Справочными материалами», приведенными в конце статьи:

$$\begin{aligned} M_{\frac{3}{2}\text{Li}} + M_{\frac{1}{2}\text{H}} &= 8.02922457 \text{ а.е.м.}; \\ M_{\frac{4}{2}\text{He}} + M_{\frac{4}{2}\text{He}} &= 8,00520651 \text{ а.е.м.}; \\ \Delta M_1 &= 0,02401806 \text{ а.е.м.} \quad (1) \end{aligned}$$

Энергия этой реакции

$$\begin{aligned} E_I &= \Delta M_1 \cdot c^2 = 3,58449865 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = \\ &= 22,3725054 \text{ МэВ} \cong 22,4 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Эта энергия равна количеству теплоты Q_1 , выделяемой в результате реакции

$$E_I = Q_1.$$

Ядра изотопов $\frac{4}{2}\text{He}$ в момент их образования образуют консервативную систему, т.к. отсутствуют внешние силы. Для такой системы количество теплоты Q_1 эквивалентно кинетической энергии этих ядер $2(E_K)_{\frac{4}{2}\text{He}}$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 2(E_K)_{\frac{4}{2}\text{He}} = 2[(M_{\frac{4}{2}\text{He}} \cdot V_{\frac{4}{2}\text{He}}^2)/2] = \\ &= M_{\frac{4}{2}\text{He}} \cdot V_{\frac{4}{2}\text{He}}^2. \end{aligned}$$

Отсюда определим скорость ядра $\frac{4}{2}\text{He}$:

$$\begin{aligned} V_{\frac{4}{2}\text{He}}^2 &= \sqrt{\frac{Q_1}{M_{\frac{4}{2}\text{He}}}} = 0,2322304 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cong \\ &\cong 0,23 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Ядро $\frac{4}{2}\text{He}$ в этой реакции имеет достаточно большую скорость, поэтому его можно отнести к релятивистской частице. Но в этом случае масса m движущейся частицы зависит от скорости (Физический..., 1983):

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

где m_0 – масса покоя частицы; V – скорость частицы; c – скорость света.

Изменения Δm :

$$\Delta m = m - m_0 = m_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

Определим изменение массы ядра $\frac{4}{2}\text{He}$ при скорости $V_{\frac{4}{2}\text{He}}$, принимая за массу покоя ядра гелия $M_{\frac{4}{2}\text{He}} =$

$$= 4,00260325 \text{ а.е.м.}$$

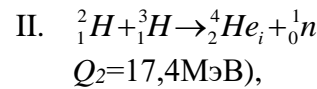
$$\Delta M_{\frac{4}{2}\text{He}} = M_{\frac{4}{2}\text{He}} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_{\frac{4}{2}\text{He}}^2}{c^2}}} - 1 \right) =$$

$$= 0,0120633 \text{ а.е.м.} \cong 0,012 \text{ а.е.м.}$$

Для двух ядер изменение массы удваивается:

$$2\Delta M_{\frac{4}{2}\text{He}} = 0.024 \text{ а.е.м.}$$

Это изменение масс равно дефекту масс ΔM_1 , найденному в соответствии с законом сохранения массы и энергии, т.е. дефект масс может быть найден из знания скорости ядер $\frac{4}{2}\text{He}$.



где $\frac{3}{1}\text{H}$ – ядро изотопа водорода (третия);

$\frac{1}{0}\text{n}$ – нейтрон; Q_2 – количество теплоты, выделяемой в этой реакции.

Используя аналогию с предыдущими расчетами и справочные материалы, находим:

$$\begin{aligned} M_{\frac{2}{1}\text{H}} + M_{\frac{3}{1}\text{H}} &= 5,0301510 \text{ а.е.м.}; \\ M_{\frac{4}{2}\text{He}} + M_{\frac{1}{0}\text{n}} &= 5,0112687 \text{ а.е.м.}; \\ \Delta M_2 &= 0,0182288 \text{ а.е.м.} \quad (2) \end{aligned}$$

Энергия этой реакции

$$\begin{aligned} E_2 &= \Delta M_2 c^2 = 2,81811661 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = \\ &= 17,5893019 \text{ МэВ} \cong 17,6 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Эта энергия равна количеству теплоты Q_2 , выделяемой в данной реакции.

Ядро изотопа $\frac{4}{2}\text{He}$ и нейтрон $\frac{1}{0}\text{n}$ в момент их образования образуют консервативную систему. Для такой системы справедлив закон сохранения импульса (Физический..., 1983):

$$V_{\frac{4}{2}\text{He}} \cdot M_{\frac{4}{2}\text{He}} + V_{\frac{1}{0}\text{n}} \cdot M_{\frac{1}{0}\text{n}} = 0. \quad (3)$$

Из этого уравнения определим скорость нейтрона $V_{\frac{1}{0}\text{n}}$ через скорость ядра гелия $V_{\frac{4}{2}\text{He}}$:

$$V_{\frac{1}{0}\text{n}} = - \frac{V_{\frac{4}{2}\text{He}} M_{\frac{4}{2}\text{He}}}{M_{\frac{1}{0}\text{n}}}. \quad (4)$$

Количество теплоты, выделяемой в этой реакции, равно сумме кинетических энергий нейтрона $(E_K)_{\frac{1}{0}\text{n}}$ и гелия $(E_K)_{\frac{4}{2}\text{He}}$:

$$\begin{aligned} Q_2 &= (E_K)_{\frac{1}{0}\text{n}} + (E_K)_{\frac{4}{2}\text{He}} = \\ &= \frac{M_{\frac{1}{0}\text{n}} V_{\frac{1}{0}\text{n}}^2}{2} + \frac{M_{\frac{4}{2}\text{He}} V_{\frac{4}{2}\text{He}}^2}{2}. \quad (5) \end{aligned}$$

Подставим уравнение (4) в уравнение (5) и найдем скорость V_{He} :

$$\frac{M_{\text{He}} V_{\text{He}}^2}{2} + \frac{M_{\text{n}} \left(\frac{M_{\text{He}} V_{\text{He}}^2}{M_{\text{n}}} \right)^2}{2} =$$

$$= \frac{M_{\text{He}} V_{\text{He}}^2}{2} \left(1 + \frac{M_{\text{He}}}{M_{\text{n}}} \right);$$

$$V_{\text{He}} = \sqrt{\frac{2QM_{\text{n}}}{M_{\text{He}}(M_{\text{n}} + M_{\text{He}})}} =$$

$$= 0,1306463 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cong 0,13 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Кинетическая энергия ядра гелия

$$(E_{\text{к}})_{\text{He}} = \frac{M_{\text{He}} V_{\text{He}}^2}{2} =$$

$$= 0,56722856 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} =$$

$$= 3,54036253 \text{ МэВ} \cong 3,54 \text{ МэВ}.$$

Из уравнения (3) найдем скорость V_{n} :

$$V_{\text{n}} = 0,51843445 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cong 0,52 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Кинетическая энергия нейтрона

$$(E_{\text{к}})_{\text{n}} = \frac{M_{\text{n}} V_{\text{n}}^2}{2} =$$

$$= 2,25088712 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} \cong 14,05 \text{ МэВ}.$$

$$\text{Сумма } (E_{\text{к}})_{\text{n}} + (E_{\text{к}})_{\text{He}} = Q_2 =$$

$$= 17,59 \text{ МэВ} \cong 17,6 \text{ МэВ}.$$

Таким образом, энергия E_2 , найденная из закона сохранения масс, численно равна количеству теплоты Q_2 :

$$E_2 = Q_2.$$

Как для реакции I, найдем изменения масс нейтрона ΔM_{n} и ядра гелия ΔM_{He} , учитывая их скорости:

$$\Delta M_{\text{n}} = M_{\text{n}} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_{\text{n}}^2}{c^2}}} - 1 \right) =$$

$$= 0,01542908 \text{ а.е.м.};$$

$$\Delta M_{\text{He}} = M_{\text{He}} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_{\text{He}}^2}{c^2}}} - 1 \right) =$$

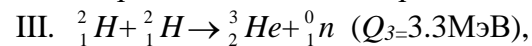
$$= 0,00380614 \text{ а.е.м}.$$

Их суммарная масса

$$\Delta M_{\text{n}} + \Delta M_{\text{He}} = 0,01923522 \text{ а.е.м.} \cong$$

$$= 0,019 \text{ а.е.м.},$$

что с высокой точностью соответствует дефекту ΔM_2 , найденному в соответствии с законом сохранения массы и энергии.



где ${}^3_2\text{He}$ – ядро изотопа гелия; Q_3 – количество теплоты, выделяемое в этой реакции.

Используя аналогию с расчетами реакции I и «Справочные материалы», имеем

$$\Delta M_3 = 0,00359319 \text{ а.е.м.}; \quad (6)$$

$$E_3 = \Delta M_3 c^2 = 0,52373721 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} =$$

$$= 3,26891085 \text{ МэВ} \cong 3,3 \text{ МэВ}.$$

Применяя закон сохранения импульса, по аналогии с расчетами реакции II определим

$$V_{\text{He}} = \sqrt{\frac{2Q_3 M_{\text{n}}}{M_{\text{He}}(M_{\text{n}} + M_{\text{He}})}} =$$

$$= 0,07239963 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Соответственно

$$V_{\text{n}} = 0,21648423 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cong 0,22 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для реакции III по аналогии с методикой, примененной в исследовании реакций I и II, найдем изменение масс ядра ΔM_{He} и нейтрона ΔM_{n} :

$$\Delta M_{\text{He}} = 0,00087988 \text{ а.е.м.};$$

$$\Delta M_{\text{n}} = 0,026466162 \text{ а.е.м}.$$

Их суммарная масса определена:

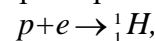
$$\Delta M_{\text{He}} + \Delta M_{\text{n}} = 0,03520042 \text{ а.е.м.} \cong$$

$$\cong 0,035 \text{ а.е.м.},$$

что с высокой точностью соответствует дефекту масс ΔM_3 , найденному в соответствии с законом сохранения массы и энергии.

В исследованиях реакций I, II, III использованы наши опубликованные работы (Петров и др., 2016а), (Петров и др., 2016б).

Рассмотрим закон сохранения массы и энергии при образовании атома водорода:



где p – протон; e – электрон; ${}^1_1\text{H}$ – атом водорода (протий).

Предположим, что электрон движется вокруг ядра (протона) по круговой орбите радиуса R_1 . При этом кулоновская сила взаимодействия между ядром и электроном сообщает электрону центростремительное ускорение. Второй закон Ньютона для электрона,

движущегося по окружности под воздействием кулоновской силы, имеет вид

$$\frac{q^2 e}{4\pi\epsilon_0 R_1^2} = \frac{m_e V^2}{R}.$$

Отсюда кинетическая энергия электрона

$$(E_k)_e = \frac{m_e V_e^2}{2} = \frac{q^2 e}{8\pi\epsilon_0 R_1}, \quad (7)$$

где q_e – заряд электрона; R_1 – радиус первой бортовой орбиты (основное состояние); m_e – масса электрона; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Из уравнения (7), используя «Справочные материалы», найдем скорость электрона

$$V_e = \frac{q_e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 R_1 m_e}} = 0.0218769 \cdot 10^8 \frac{м}{с}.$$

Определим изменение массы электрона Δm_e при его скорости V_e , принимая массу покоя $m_e = 5.4858026 \cdot 10^{-4}$ а.е.м.

$$\begin{aligned} \Delta m_e &= m_e \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_e^2}{c^2}}} - 1 \right) = \\ &= 1,460689 \cdot 10^8 \text{ а.е.м.} \end{aligned} \quad (8)$$

Для атома водорода закон сохранения массы и энергии имеет вид

$$E_4 = c^2 [(m_p + m_e) - M_{\text{H}}] = c^2 \Delta M_4,$$

где m_p – масса протона; M_{H} – масса атома; ΔM_4 – дефект массы.

Вычислим дефект массы, пользуясь «Справочными материалами»:

$$\begin{aligned} m_p + m_e &= 1,0078250526 \text{ а.е.м.}; \\ M_{\text{H}} &= 1,007825036 \text{ а.е.м.}; \\ \Delta M_4 &= 1,426 \cdot 10^{-8} \text{ а.е.м.} \end{aligned} \quad (9)$$

Численное значение дефекта массы ΔM_4 (9) с достаточной степенью точности соответствует изменению массы электрона Δm_e , обладающей скоростью V_e .

Из уравнения (8) найдем относительное изменение массы:

$$\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1.$$

Из этого уравнения следует, что чем больше скорость V , тем больше $\frac{\Delta m}{m}$.

Определим, при какой скорости V дефект массы Δm будет равен массе m_e , т.е.

$$\frac{\Delta m}{m_0} = 1, \quad \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 = 1.$$

Решение этого уравнения определяет, что скорость $V = 2,5963 \cdot 10^8$ м/с.

Эта скорость близка к скорости света c .

Результаты

Скорости, близкие к скорости света, достигаются на ускорителях элементарных частиц. В реакциях синтеза (I), (II), (III) и при формировании атома водорода имеем уменьшения масс на дефект масс (1), (2), (6), (9). Следовательно, масса, как источник гравитационного поля, убывает. При скорости $V = 2,5963 \cdot 10^8$ м/с масса, в обычном понимании как масса гравитационная, исчезает. В публикациях по адронному калайдеру при скоростях, близких к скорости света, адроны исчезают, хотя из общепризнанной зависимости

$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$ следует, что масса должна расти

с увеличением скорости V и что это должно привести к появлению так называемой «черной дыры» с бесконечной массой. «Черная дыра» не появилась, а массы исчезли.

В нашей работе (Петров, 2011) проведены исследования движения планет Солнечной системы исходя из зависимости изменения массы Δm_{nl} от скорости планет V_{nl} . Получено следующее соотношение:

$$\frac{\Delta m_{nl}}{m_{nl}} = \frac{V_{nl}^2}{2c^2} = \frac{\omega_{nl}^2 R_{nl}^2}{2c^2}, \quad (10)$$

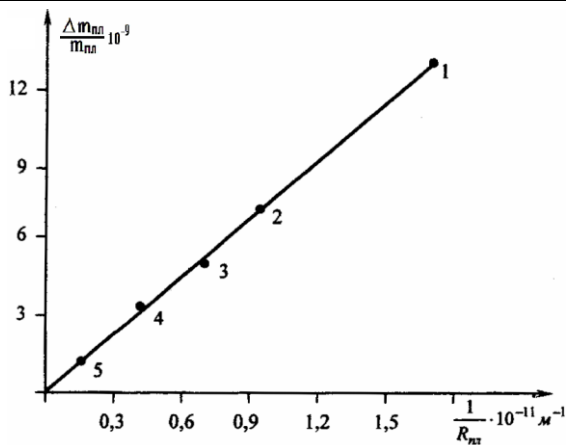
где ω_{nl} – угловая частота вращения планеты вокруг Солнца; R_{nl} – среднее расстояние планеты от центра Солнца.

В работе (Петров, 2013) приведены результаты зависимости $\frac{\Delta m_{nl}}{m_{nl}}$ от величины

$\frac{1}{R_{nl}}$. По данным вычислений построен график (рисунок).

Эту зависимость можно отобразить, используя уже сделанные вычисления (Петров, 2013), соотношением

$$\frac{\Delta m_{nl}}{m_{nl}} \cong \frac{7,398 \cdot 10^2}{R_{nl}}.$$



Зависимость $\Delta m_{пл}/m_{пл}$ от $1/R_{пл}$: 1 – Меркурий; 2 – Венера; 3 – Земля; 4 – Марс; 5 – Юпитер

Используя (10), перепишем это соотношение:

$$R_{пл} = \frac{7,398 \cdot 10^2}{\Delta m_{пл} / m_{пл}} = \frac{7,398 \cdot 10^2}{V_{пл}^2 / 2c^2}.$$

Изменение массы $\Delta m_{пл}$ будет равно массе планеты при её скорости, равной $V = 2,5963 \cdot 10^8$ м/с.

Результаты вычислений дают значение $R_{пл} = 1972,963$ м.

Общая теория относительности определяет радиус «черной дыры» (радиус сферы Шварцшильда) для Солнца:

$$r_{ч.д.} = \frac{4GM_c}{3c^2} = 1968,739 \text{ м},$$

где G – гравитационная постоянная; M_c – масса Солнца.

Относительная погрешность двух вычислений:

$$\frac{R_{пл} - r_{ч.д.}}{r_{ч.д.}} \cdot 100\% \cong 0,2\%.$$

Исходя из наблюдений за движением планет Солнечной системы и используя эффекты общей теории относительности, можно заключить, что совпадение двух вычислений высокое.

Выводы

Исследования, проведенные с учетом сильных электромагнитных взаимодействий атома водорода, которые полностью соответствуют закону сохранения массы и энергии, позволяют утверждать, что этот закон справедлив для масс, вызывающих силы всемирного тяготения. А потому «черная

дыра» связана не с массой, стремящейся к бесконечности, а с массой, равной нулю.

Справочные материалы (Физический..., 1983)

$$M_3^6 L_i = 6,0151228 \text{ а.е.м.};$$

$$M_1^2 H = 2,01410179 \text{ а.е.м.};$$

$$M_2^4 He = 4,00260326 \text{ а.е.м.};$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66056554 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$$

$$c = 299792458 \text{ м/сек};$$

$$M_1^3 H = 3,01604928 \text{ а.е.м.};$$

$$M_0^1 n = 1,00866501 \text{ а.е.м.};$$

$$M_2^3 He = 3,01602932 \text{ а.е.м.};$$

$$M_1^1 H = 1,007825036 \text{ а.е.м.};$$

$$m_p = 1,007276470 \text{ а.е.м.};$$

$$m_e = 5,4858026 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.};$$

$$1 \text{ эВ} = 1,60218929 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2;$$

$$M_c = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг};$$

$$R_1 = 0,52917706 \cdot 10^{-10} \text{ м};$$

$$\varepsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ ф/м};$$

$$q_e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Библиографический список

Петров Ю.П. Качественное решение некоторых проблемных задач физики // Перспективы науки. 2013. №2. С. 7–12.

Петров Ю.П. Разработка математической модели движения планет Солнечной системы с учетом априорно вводимых параметров гравитационного поля // Наука и бизнес: пути развития. 2011. №4. С. 5–10.

Петров Ю.П., Данилов Ю.Л., Маркова И.А. Физические основы простейших термоядерных реакций синтеза // Современное состояние и пути развития системы подготовки специалистов силовых структур / ПВИ ВВ МВД РФ. Пермь, 2016а. С. 191–195.

Петров Ю.П., Карнишин С.Г., Николаева Т.И., Щербинина Т.А. Теоретическая модель термоядерных реакций синтеза и деления тяжелых ядер // Подготовка специалистов силовых структур. Проблемы, перспективы, тенденции развития / ПВИ ВВ МВД РФ. Пермь, 2016б. С. 80–83.

Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. 11-е изд. М.:Изд. центр «Академия», 2006. 560с.

Физический энциклопедический словарь / гл.ред. А.М.Прохоров. М.:Советская энциклопедия, 1983. 928с.

Solution of Some Problems of the Moving Masses Mechanics

Yu.P. Petrov

Perm State National Research University

15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia. E-mail: petrov-1941@bk.ru

Equality of mass defect calculated based on the mass and energy conservation law and mass change depending on its velocity is demonstrated with high precision for nuclear and electromagnetic interactions. It follows from these studies that mass defect corresponds to the losses of masses as the gravity sources. Velocity at which the mass is zeroed has been determined. The Solar System planets movement has been studied with the assumption that their mass also depends on their velocity. “Black hole” radius was predicted based on the astronomical observations of the planets’ velocity according to their solar distances and consideration of mass change depending on velocity. This radius with an accuracy of 0.2 % is equal to the Schwarzschild radius introduced by the General relativity theory. The research carried out taking into consideration mass loss depending on velocity allows to state that the so-called “black hole” is associated not with the mass tending to infinity but with the mass equal to zero as the gravity source.

Key-words: *mechanics; mass; energy; conservation law; nucleus; atom; mass defect; heat; isotope; neutron; proton; electron; planet; the Sun; orbit; black hole.*

References

- Petrov Yu.P.* 2013. Kachestvennoe reshenie nekotorykh problemnykh zadach fiziki [Qualitative solution of some problems of physics]. *Perspektivy nauki*. 2:7–12. (in Russian)
- Petrov Yu.P.* 2011. Razrabotka matematicheskoy modeli dvizheniya planet Solnechnoy sistemy s uchetom apriorno vvodimykh parametrov gravitatsionnogo polya [Development of mathematical model of the Solar system planets movement considering the apriori-introduced parameters of the gravity field]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 4:5–10. (in Russian)
- Petrov Yu.P., Danilov Yu.L., Markova I.A.* 2016a. Fizicheskie osnovy prosteyshekh termoyadernykh reaktsiy [Physical fundamentals of the simplest thermonuclear fusion reactions]. In: *Sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya sistemy podgotovki spetsialistov silovykh struktur*. Perm, pp. 191–195. (in Russian)
- Petrov Yu.P., Karnishin S.G., Nikolaeva T.I., Shcherbinina T.A.* 2016b. Teoreticheskaya model termoyadernykh reaktsiy sinteza i deleniya tyazholykh yader [Theoretical model of thermonuclear reactions of fusion and heavy nuclei fission]. In: *Podgotovka spetsialistov silovykh struktur. Problemy, perspektivy, tendentsii razvitiya*. Perm, pp. 80–83. (in Russian)
- Trofimova T.I.* 2006. Kurs fiziki [Course in Physics]. Moskva, Academia, p. 560. (in Russian)
- Fizicheskiy entsiklopedicheskiy slovar* [Physical Encyclopedic Dictionary]. A.M. Prokhorov (Ed.), Moskva, Sovetskaya entsyklopediya, 1983, p. 928. (in Russian)