

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

Луч света около Солнца: энергетический взгляд

(комментарий к статье Р.И. Храпко «Гравитационная масса фотонов» в УФН 185 1225 (2015))

Никитин А. П.

Россия, г. Набережные Челны,

E-mail: anikitinaaa@mail.ru

Дано объяснение отклонения луча света в гравитационном поле Солнца из энергетических соображений, когда все изменения и взаимодействия, в том числе и гравитационные, рассматриваются не как силовые взаимодействия или геометрические проявления искривления пространства-времени, а как проявления и следствия движения материи, описываемой как движение энергии в пространстве-времени.

Ключевые слова и фразы: отклонение луча света в гравитационном поле, энергетическая теория, движение материи, движение энергии, энергетический потенциал, гравитационный потенциал.

«Все так хорошо объяснялось, зачем вы занялись этим снова?»

М. Планк А. Эйнштейну по поводу ОТО

«Поиск сущности я считаю занятием суетным и невозможным...»

Если тщетно искать субстанцию..., это ещё не значит, что нами не могут быть исследованы некоторые их характеристики...»

Г. Галилей

В разделе «Письма в редакцию» журнала УФН 185 1225 (2015) опубликована статья Р.И. Храпко [1] под названием «Гравитационная масса фотонов». Рассуждения Р.И. Храпко «о гравитационной массе фотонов или тел» и математическое жонглирование формулами в связи с этим достойны отдельной критической статьи, но сейчас позвольте обратить внимание на начало главы 2 из этой статьи, описывающей отклонение фотонов в поле тяготения Солнца:

«Однако в 1919 г. экспедиция Эддингтона, наблюдавшая солнечные затмения, обнаружила, в соответствии с теорией Эйнштейна, вдвое большее отклонение». [1, с.1226]

Прекрасно известно, что в 1919 г. было одно солнечное затмение, но две экспедиции: первая - в Собраль в Бразилии и вторая на о. Принсипи у западных берегов Африки под руководством А. Эддингтона. Первый эксперимент дал результат $\alpha=1",98$, второй — $\alpha=1",61$. И где тут двойное отклонение? Наоборот, целью этих экспедиций было наблюдение и измерение отклонений лучей света от звёзд около Солнца во время солнечного затмения и подтверждения, таким образом, предсказания А. Эйнштейна на основе ОТО.

Храпко: «Гинзбург [5] объяснял это реальное удвоение отклонения по сравнению с формулой (7) неевклидовостью пространства в поле тяготения». [2, с.1226]

Не мог В.Л. Гинзбург такое написать, и нет такого в статье В.Л. Гинзбурга «Экспериментальная проверка общей теории относительности» [2], потому что А. Эйнштейн сто лет назад, в 1915 году, в статье «Объяснение движения перигелия Меркурия в общей теории относительности», написал: «...оказывается, что следствием теории является более сильное (в два раза большее) искривление светового луча гравитационным полем по сравнению с нашими прежними исследованиями» [3, т.1, с. 439]

У В.Л. Гинзбурга в статье, на которую ссылается Р.И. Храпко, написано: «...в неоднородном гравитационном поле световые лучи будут искривляться.» «Этот эффект,...был предсказан Эйнштейном уже в первых работах по теории тяготения, причем для отклонения луча, проходящего на расстоянии R от центра Солнца, было получено выражение

$$\alpha = \frac{2GM}{c^2 R} = 4,24 \cdot 10^{-6} \frac{r}{R} = 0",87 \frac{r}{R} .$$

В дальнейшем, после создания общей теории относительности, выяснилось, что эффект отклонения лучей должен быть вдвое больше и таким образом согласно теории

$$\alpha = \frac{4GM}{c^2 R} = 8,48 \cdot 10^{-6} \frac{r}{R} = 1",75 \frac{r}{R} .$$

..т.е. отклонение луча достигает у солнечного края 1,75 угловых секунд (более точное значение 1",745)» [2, с.32-33] (где у В.Л. Гинзбурга в наших обозначениях: G , M и r - гравитационная постоянная, масса и радиус Солнца)

Р.И. Храпко далее пишет: «Дело в том, что притяжение Солнца отклоняет излучение или движущееся тело от движения по геодезической линии трёхмерного пространства. Но сама эта геодезическая линия вблизи Солнца отклоняется от геодезической линии, проходящей вдали от Солнца, на тот же угол α . Поэтому и происходит двойное отклонение траектории вблизи Солнца по сравнению с траекторией, проходящей вдали от Солнца. При этом только половина этого двойного отклонения происходит из-за солнечного притяжения; вторая половина есть следствие искривления трёхмерного пространства Солнцем». [1, с.1226] Далее, два рисунка (а) и (б) на этой же странице И.Р. Храпко подписывает: «Траектория фотона отклоняется от геодезической траектории пространства [как понимать сочетание слов «траектория пространства»?; правильно: «геодезическая линия пространства-времени»] из-за притяжения Солнца (а). Но сама геодезическая траектория искривлена из-за того, что Солнце искривляет пространство (б)». Красота! По Храпко Солнце сначала искривляет пространство, а затем уже в этом искривлённом пространстве «притягивает» фотон! И что удивительно, первое и второе воздействуют на фотон одинаковым образом! Уже сто лет, как в Общей теории относительности (ОТО) нет притяжения как силового взаимодействия материальных тел,— это геометрическая теория тяготения, и гравитация обусловлена в ней только деформацией пространства-времени.

И, наконец, в «Заключении» статьи Храпко пишет: «Двойное отклонение фотонов при прохождении их вблизи притягивающего центра объясняется не их двойной гравитационной массой, а искривлением геодезической линии вблизи притягивающего центра по сравнению с удалённой геодезической линией [9]» [1, с.1227] Что значит эта абракадабра? Автор бьётся как в клетке, в которую, видимо, попал по «искривлённой геодезической траектории». Если бы при солнечном затмении наблюдалось «тройное отклонение», а такой случай был в 1936 году, когда А.А. Михайлов [4] получил величину отклонения световых лучей $\alpha=2",73$, чем бы объяснил это Р.И. Храпко? Искривлением сознания? Природа, конечно, не так «наивна и расточительна», чтобы делать какое-то действие в два приёма: сначала искривлять пространство, а потом притягивать фотоны, надо думать, она делает всё за раз, а «раздвоение» происходит в наших головах.

Человеку свойственно, когда он не может понять физический смысл и причинную связь явления (движения материи), объяснять материальные процессы — нематериальными таким образом, что идеальное становится первопричиной и сущностью, как искривление пространства-времени в данном случае.

И. Ньютон ещё в 1704 году в «Оптике», основываясь на своей теории тяготения, догадывался: «Вопрос 1. Не действуют ли тела на свет на расстоянии и не изгибают ли этим действием его лучей; и не будет ли (при прочих равных условиях) это действие сильнее всего на наименьшем расстоянии?» «Вопрос 5. Не действуют ли тела и свет взаимно друг на друга?». «Вопрос 29. Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами?» («Оптика», 3-я книга)

Немецкий астроном Иоганн фон Зольднер в 1801 году, считая, что свет — это материальные корпускулы, двигающиеся в поле тяготения Солнца по гиперболе, на основе теории

И. Ньютона, рассчитал по формуле $\alpha = 2GM/c^2 R$, что свет должен отклоняться от первоначальной траектории у края Солнца на $\alpha = 0''{,}84$ угловых секунды. (где G – гравитационная постоянная, M – масса Солнца, c – скорость света, R – радиус Солнца)

А. Эйнштейн сначала в 1907 году в статье «О принципе относительности и его следствиях» заметил, что «...световые лучи ...искривляются гравитационным полем; изменение направления, как легко видеть, составляет $v/c^2 \cdot \sin\varphi$ на 1 см пути света, где φ означает угол между направлением силы тяжести и светового луча» [3, т.1, с. 113].

(здесь у Эйнштейна v — ускорение гравитационного поля, c — скорость света, при $v\xi = \Phi$ — потенциал силы тяжести, когда ξ — расстояние по координате x)

Затем, Эйнштейн возвращается к этому вопросу в статье «О влиянии силы тяжести на распространение света» в 1911 году:

«Оказывается, что лучи, проходящие вблизи Солнца, согласно излагаемой ниже теории, испытывают под влиянием поля тяготения Солнца отклонение, вследствие чего должно произойти кажущееся увеличение углового расстояния между оказавшейся вблизи Солнца неподвижной звездой и самим Солнцем почти на одну дуговую секунду» [3, т.1, с.165] «...для отклонения α , которое луч света испытывает на любом пути s в сторону n' , получаем выражение

$$\alpha = - \frac{1}{c^2} \int \frac{\partial\Phi}{\partial n'} ds. \quad (4)$$

«По формуле (4) луч света, проходящий мимо какого-либо небесного тела, испытывает отклонение в сторону убывания гравитационного потенциала, т.е. в сторону небесного тела, равное

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \int_{\vartheta = -\frac{\pi}{2}}^{\vartheta = +\frac{\pi}{2}} \frac{kM}{r^2} \cos \vartheta ds = \frac{2kM}{c^2 \Delta},$$

где k – гравитационная постоянная, M – масса небесного тела, Δ — расстояние от луча до центра небесного тела.

По этой причине луч света, проходящий мимо Солнца, испытал бы отклонение, равное $4 \cdot 10^{-6} = 0,83$ дуговой секунды»

«Для планеты Юпитер ожидаемое смещение достигает примерно 1/100 указанного значения. Было бы крайне желательным, чтобы астрономы заинтересовались поставленным здесь вопросом...» [3, т.1, с.173-174].

В 1913 году в статье «Физические основы теории тяготения» А. Эйнштейн снова пишет, что «... можно показать, что произвольный физический процесс протекает тем быстрее, чем больше гравитационный потенциал в области, где находится рассматриваемая физическая система»

«Другим следствием этой гипотезы эквивалентности является искривление световых лучей в поле тяготения; для луча, проходящего мимо Солнца, это искривление составляет 0,84 дуговой секунды...» «Искривление световых лучей означает, что скорость света не постоянна, но зависит от места. Поэтому становится необходимым обобщить теорию пространства и времени, известную под названием теории относительности, поскольку последняя основана на постулате о постоянстве скорости света» [3, т.1, с.268]

В 1915 году Эйнштейн в статье «Объяснение движения перигелия Меркурия в общей теории относительности» уже на основе ОТО пишет:

«...оказывается, что следствием теории является более сильное (в два раза большее) искривление светового луча гравитационным полем по сравнению с нашими прежними исследованиями» [3, т.1, с. 439] и получив следующие выражения:

$$g_{\rho\sigma} = -\delta_{\rho\sigma} + \alpha \left(\frac{\partial^2 r}{\partial x_\rho \partial x_\sigma} - \frac{\delta_{\rho\sigma}}{r} \right) = -\delta_{\rho\sigma} - \alpha \frac{x_\sigma x_\rho}{r^3}, \quad (46)$$

$$g_{44} = 1 - \frac{\alpha}{r}.$$

Здесь $g_{4\rho}$ и $g_{\rho 4}$ устанавливаются условием «З», r — значение $+\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}$, α — постоянная, определяемая массой Солнца.

[3, т.1, с.441]

В этой статье А. Эйнштейн на основе ОТО впервые определяет «в один приём» правильное отклонение светового луча:

«Вероятно, по этой же причине получается несколько иное влияние гравитационного поля на луч света, чем в наших прежних работах; дело в том, что скорость света определяется уравнением

$$\sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu = 0. \quad (5)$$

Пременив принцип Гюйгенса, простым вычислением находим из (5) и (46), что световой луч, проходящий мимо Солнца на расстоянии Δ , испытывает угловое отклонение на величину

$\frac{2\alpha}{\Delta}$, тогда как прежние вычисления, которые не были основаны на предположении $\sum \Gamma^\mu_{\mu} = 0$, давали значение $\frac{\alpha}{\Delta}$. Световой луч, проходящий вблизи поверхности Солнца, должен испыты-

вать отклонение на угол $1,7''$ (вместо $0,85''$) [3, т.1, с. 442]

Очень важны также примечания редакции к этой статье:

«Результаты этой работы были доложены на заседании Прусской Академии наук в 1915 г. В ней Эйнштейн впервые использовал новые уравнения гравитационного поля для вычисления эффектов. Первый эффект, это отклонение луча около Солнца, для которого получено значение вдвое больше, чем получалось в прежних вариантах теории. Второй эффект — поворот перигелия Меркурия — впервые описан в этой работе. Как известно, отклонение луча света вблизи диска Солнца было подтверждено впервые в 1919 г. Обработка современных данных А.А. Михайловым (Астрон. ж., 1956, 33, 912) дает для отклонения величину $2'',03$ вместо теоретических $1'',75$ » [3, т.1, с.447]

В марте 1916 г. А. Эйнштейн в статье «Основы общей теории относительности», в которой наиболее подробно изложил ОТО, снова уточняет, что «...луч света, проходящий мимо Солнца, испытывает отклонение в $1'',7$, а луч света, проходящий мимо планеты Юпитер отклоняется приблизительно на $0'',02$ » [3, т.1, с.504]

Первые эксперименты с целью измерения отклонения света в гравитационном поле Солнца и, соответственно, проверки ОТО, были проведены одновременно в Собраль в Бразилии и на о. Принсипи у западных берегов Африки. Первый эксперимент дал результат $\alpha=1'',98$, второй — $\alpha=1'',61$.

Таблица 1. Экспериментальные данные отклонений луча света около Солнца во время солнечных затмений. (теоретическое значение $\alpha_{max}=1'',75$)

Данные взяты из различных источников, в том числе из статьи В.Л.Гинзбурга [3] и А.А. Михайлова [4], из книги Ацюковский В.А. «Критический анализ основ теории относительности»

№	Дата	Место эксперимента	Угол отклонения, от края Солнца α'' экстраполяция	Наблюдатели	Расстояние центра Солнца от барицентра Солнечной системы в радиусах Солнца R_s	Уточнение расчётов
1	1919, 29.05	о. Принсипи, Африка	$1'',61$	Eddington A.S. Коттингхэм	$1,83R_s$	
2		Собраль, Бразилия	$1'',98$	Crommelin A.	$1,83R_s$	Данжон $2'',05$ Михайлов $2'',07$
3	1922, 21.09	Уоллоле, Западная Австралия	$1'',78$	Campbell W.W. Trumpler R.J.	$1,8 R_s$	Данжон $2'',05$, Freundlich $2'',05$, Норманн $2'',07$, Джексон $2'',12$, Михайлов $2'',12$
		Кардилло-Даунс, Австралия	$1'',74$ $1'',77$	Chant C.A. Young R.K. Davidson C.R.		
4	1929, 09.05	Такенгон, о. Суматра	$2'',24$	Freundlich E.F.	$0,66 R_s$	Данжон $2'',05$, Джексон $1'',98$, Trumpler $1'',75$, Михайлов $1'',96$

5	1936, 19.06	Куйбышевка, г. Благовещенск на Амуре (СССР), ГАИШ. Козимицу, Япония	2",73 2",13	А.А.Михайлов Matukuma T.	1,07 R _S		
6	1947, 20.05	г. Бокоюва (Бразилия)	2",01	Ван Бисбрук	1,42 R _S	Михайлов	2",20
7	1952, 25.02	г. Хартум (Судан)	1",70	Ван Бисбрук	0,35 R _S	Михайлов	1",45
Среднее			1",97				2",03
Среднее без min и max			1",92				2",06

(Центр масс Солнечной системы имеет максимальное удаление от центра Солнца на $\sim 2,15$ радиуса Солнца, что, при экваториальном радиусе Солнца $R_S=6,9551 \cdot 10^8$ m, составляет $\sim 1,495 \cdot 10^9$ m. Общая масса Солнечной системы составляет $1,0014 M_S$.)

В таблице 1 приведено расстояние центра Солнца от барицентра Солнечной системы в радиусах Солнца в годы наблюдений в надежде обратить внимание на этот фактор при измерении отклонений луча света. Вынуждены констатировать что никакой корреляции результатов с этим фактором не наблюдается, что говорит о том, что влияние этого фактора незначительно.

В последующие годы были выполнены многочисленные эксперименты методами радиолокации и радиоинтерферометрии, которые дали средний результат $\sim 1",75$, что с большой точностью подтверждает ОТО.

Не подтверждая сомнению результаты этих экспериментов, проводившихся в большинстве случаев в неблагоприятных для оптических наблюдений условиях, и многочисленных теоретических расчётов, которые с большой точностью подтверждают ОТО, позволим обратить внимание на следующее объяснение этой проблемы, вытекающее из разрабатываемой нами энергетической теории.

К настоящему времени, начиная от И. Зольднера на основе теории тяготения И.Ньютона до А. Эйнштейна на основе ОТО, в которой «проблема тяготения сводится к математической», когда уже учитываются не только влияние поля тяготения на течение времени как в СТО, но и изменение пространственной метрики, т. е. неэвклидовость пространства в поле тяготения, и до наших дней, выполнены многочисленные расчёты отклонения луча света в гравитационном поле. В этой статье мы хотим привлечь внимание на возможность следующего решения этой проблемы на основе энергетических соображений. Зададим простой вопрос:

Чем энергетически отличается «пространство» около Солнца, в самом общем случае, - около любого материального тела, от отдалённого пространства на расстоянии от гравитирующих материальных тел?

Только энергетическим потенциалом, а именно: если, как мы знаем, что энерго-гравитационный потенциал Вселенной равен $\varphi_0 = c^2$, то энергетический потенциал «пространства» около Солнца составит

$$\varphi_1 = c^2 - \frac{GM}{R} = \varphi_0 - \varphi_G,$$

так что разница, которая только и имеет значение в нашем относительном мире, между постоянным «фоновым» энергетическим потенциалом Вселенной, и энергетическим потенциалом около Солнца, равна

$$\Delta\varphi = \varphi_0 - (\varphi_0 - \varphi_G) = \varphi_G = \frac{GM}{R}$$

В потенциальном энерго-гравитационном поле, при энергетическом подходе к проблеме отклонения лучей света, при движении любой материальной частицы по любой траектории совершается работа A , равная произведению массы m этой частицы на разность энергетических потенциалов между начальной и конечной точками, что в нашем случае будет равно:

$$A = m(\varphi_1 - \varphi_2) = m \Delta\varphi = m \frac{GM}{R}$$

где m – масса тела, $\Delta\varphi = \varphi_0 - (\varphi_0 - \varphi_G)$ – разность энергетических потенциалов, создаваемая массой Солнца M в пространстве-времени, равная и обозначаемая в современной физике как гравитационный потенциал $\Phi = GM/R = v^2$, равный

квадрату скорости материальных тел, например, планет; $\varphi_0 = c^2$ — энергетический потенциал Вселенной, R — прицельное расстояние от центра Солнца.

Направим ось x нашей системы координат по направлению луча света, а ось y перпендикулярно к центру Солнца. Солнце «выполняет» работу A по отклонению луча света по оси y , описываемую функцией, когда при изменении аргумента x от бесконечности до Солнца и от Солнца до бесконечности, или изменении разности энергетических потенциалов $\Delta\varphi$ по оси y от 0 до GM/R около Солнца и до 0 , и, соответственно, в геометрической интерпретации эта работа-энергия E равна площади под графиком функции:

$$A=E=f(m \Delta\varphi)=f(m \cdot GM/R)$$

Рассмотрим идеальный случай, считая, что звезда от которой идёт свет находится на бесконечности и луч света, проходя мимо Солнца, улетает в бесконечность, а Земля, с которой мы ведём наблюдения, тоже находится на бесконечном удалении от Солнца.

Работа-энергия E_1 , «выполняемая» Солнцем, суммируемая от звезды до Солнца, при изменении разности энерго-гравитационного потенциала $\Delta\varphi$, создаваемого Солнцем, от 0 до GM/R , когда свет «тормозит», равна

$$A_1=E_1=\int_0^{\Delta\varphi} m\Delta\varphi \frac{\partial\Delta\varphi}{\partial x}$$

и от Солнца до бесконечности, при изменении разности энерго-гравитационного потенциала $\Delta\varphi$ от GM/R до 0 , когда свет «ускоряется», равна

$$A_2=E_2=\int_{\Delta\varphi}^0 m\Delta\varphi \frac{\partial\Delta\varphi}{\partial x}$$

Суммарная работа Солнца от ∞ до ∞ равна

$$A=A_1+A_2=\int_0^{\Delta\varphi} m\Delta\varphi \frac{\partial\Delta\varphi}{\partial x} + \int_{\Delta\varphi}^0 m\Delta\varphi \frac{\partial\Delta\varphi}{\partial x} = 2m \Delta\varphi = \frac{2mGM}{R}$$

Интересующий нас в этой статье тангенс угла отклонения луча света единичной массы-энергии ($mc^2=1$) около Солнца при $X=R/\cos\vartheta$ (для малых углов $\text{tg}\alpha=\alpha$), наблюдаемый с бесконечности, величина которого прямо пропорциональна работе-энергии, «выполняемой» Солнцем по отклонению луча света, равен производной соответствующей функции работы-энергии :

$$\text{tg}\alpha=\alpha = \int_{+\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{2}} \frac{2GM \cos\vartheta}{c^2 R} = \frac{4GM}{c^2 R}$$

Разность энергипотенциалов на поверхности Солнца равна $\Delta\varphi=GM/R=1908,66 \cdot 10^8 \text{ m}^2/\text{s}^2$, на расстоянии двух радиусов от центра Солнца, на котором и далее наблюдается большинство звёзд, — разность энергипотенциалов $\Delta\varphi_2=GM/2R=954,33 \cdot 10^8 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Разность энергипотенциалов на орбите Земли равна $\Delta\varphi_E=GM/R_E=8,8737229 \cdot 10^8 \text{ m}^2/\text{s}^2$, что, как видим, составляет около одного процента от энергипотенциала на расстоянии в $2R$ от центра Солнца, и соответственно, при прямой пропорциональности, теоретический угол отклонения луча света при наблюдении с Земли, при прочих одинаковых условиях, будет меньше на такую же величину, что не играет роли при практических экспериментах.

По теории Ньютона потому и получается «одинарное» отклонение, потому что тяготение материальных тел по этой теории «происходит» в абсолютном пространстве в результате мгновенного дальнегодействия. В ОТО тяготения уже нет, и материальные тела «движутся» по

геодезическим линиям в «деформированном» этими же телами, а значит, в неоднородном пространстве-времени.

При энергетическом подходе, если можно так сказать, Солнцем «выполняется» двойная работа: сначала по «торможению» от скорости c до $(c - v)$, а затем по «ускорению» фотонов до скорости c . Каким образом это происходит в физическом смысле, или, точнее, энергодинамическом смысле, - это уже тема для отдельной статьи.

Описанный в статье метод может быть применён и для других аналогичных случаев, например, для вычисления отклонения света и радиоволн около Юпитера, для случаев гравитационного линзирования, микролинзирования и т. п.

Список литературы

1. Храпко Р И *Гравитационная масса фотонов» УФН 185 1225 (2015)*
2. Гинзбург В Л *Экспериментальная проверка общей теории относительности.* (доклад, прочитанный на заседании Эйнштейновской сессии ОФМН АН СССР 30 ноября 1955 г.) *УФН*, т.LIX, вып.1, май 1956г.
3. Эйнштейн А *Собрание научных трудов.* – М.; Наука, 1965,1966.
4. Михайлов А А *Наблюдение эффекта Эйнштейна во время солнечных затмений.* (доклад, прочитанный на заседании Эйнштейновской сессии ОФМН АН СССР 30 ноября 1955 г.) *УФН*, т.LIX, вып.1, май 1956г.