

# Космология: нейтральное поглощение света вместо лямбда члена

Губанов Сергей Юрьевич\*

4 мая 2008

## Аннотация

Учёт очень малого нейтрального поглощения света разнообразным космическим мусором приводит к поправке в измерении оптической длины пути объектов удалённых от нас на десятки миллиардов световых лет. Этой малой поправке оказывается достаточно, чтобы построить согласующуюся с астрономическими наблюдениями за сверхновыми типа Ia космологическую модель нашего Мира без лямбда члена.

**Что измеряют астрономы** Наблюдая за очередной вспышкой сверхновой астрономы получают данные об отношении её видимой светимости к собственной  $F/L$  и о красном смещении спектра регистрируемого излучения. Красное смещение принято характеризовать числом  $z$  таким, что

$$z = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega}, \quad (1)$$

где  $\omega_0$  – частота источника,  $\omega$  – частота регистрируемая приёмником. На видимую светимость оказывает влияние поглощение света межзвёздным газом и пылью. Поглощение бывает двух типов: зависящее от длины волны и не зависящее – нейтральное. Поглощение зависящее от длины волны астрономы учитывают благодаря изменению цвета. Как учитывать нейтральное поглощение не известно. Более того, не известно надо ли его вообще учитывать или же оно пренебрежимо мало даже на космологических расстояниях. В плоском статическом пространстве видимая светимость (уже откорректированная с учётом поглощения) связана с собственной светимостью формулой

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}, \quad (2)$$

где  $d$  – расстояние от источника до приёмника. Если пространство не статично или не евклидово, то связь между отношением  $F/L$  и расстоянием будет другой, однако удобно ввести формальный параметр  $d$  связанный с  $F/L$  формулой (2) несмотря на то что физического смысла расстояния он в этом случае уже не имеет. Его называют *оптической длиной* пути. Результатом астрономических наблюдений за сверхновыми является зависимость  $d(z)$ . Оказывается, она почти линейная:  $d \approx (23 \times 10^9 \text{ световых лет}) \times z$ . Красное

---

\* <http://elementy.ru/blogs/users/SergeyGubanov/>

смещение  $z$  измеряется практически точно. Оптическая длина измеряется с тем большей погрешностью чем она больше. Говоря языком математической статистики, распределение ошибок измерения  $d$  очевидно не является нормальным. Нормальным распределением вероятно обладает её логарифм. Поэтому в астрономии принято вместо оптической длины  $d$  пользоваться её логарифмом – разницей между видимой и абсолютной звездной величиной:

$$\mu = m - M = 5 \lg \left( \frac{d}{\text{мегапарсек}} \right) + 25. \quad (3)$$

Именно зависимость  $\mu(z)$  и является конечным результатом астрономических наблюдений. Задача физиков теоретиков – объяснить наблюдаемую зависимость  $\mu(z)$ .

**Космологическая модель пренебрегающая нейтральным поглощением** Предположим, что нейтральным поглощением света разнообразным космическим мусором можно пренебречь даже на космологических масштабах. Тогда оказывается, что объяснить линейную зависимость  $d$  от  $z$  можно лишь лямбда членом (мне известно простое доказательство этого факта). Если строить космологическую модель в рамках ОТО, то лямбда член убивает двух зайцев сразу. Во-первых, он даёт объяснение линейной зависимости  $d(z)$ . Во-вторых, он же даёт недостающую плотность энергии в "00" уравнении Эйнштейна называемую "тёмной". Однако, если строить космологическую модель нашего Мира на основе ТГВ [1, 2, 3], то в ней "00" уравнения Эйнштейна просто нет. Объяснить же линейную зависимость  $d(z)$  можно иначе и независимо от ОТО или ТГВ. Этим мы сейчас и займёмся.

**Каким может быть нейтральное поглощение по порядку величины** Давайте попытаемся оценить величину нейтрального поглощения света разнообразным космическим мусором. Рассмотрим очень простую модель. Пусть  $n$  – концентрация частиц космического мусора,  $\sigma$  – сечение рассеяния света на частицах мусора, тогда интенсивность пучка света прошедшего расстояние  $d\ell$  уменьшается на величину  $dF$ :

$$dF = -\sigma n F d\ell, \quad (4)$$

следовательно

$$F = F_0 \exp(-\sigma n \ell). \quad (5)$$

Относительно значений  $\sigma$  и  $n$  можно выдвигать разные гипотезы. Понятно только что концентрация  $n$  едва ли может превысить среднее число нуклонов на кубический сантиметр. Оно оценивается как  $8 \times 10^{-6} \text{ см}^{-3}$ . Сечение оценим как  $\sigma = \pi a_B^2 \approx 9 \times 10^{-15} \text{ см}^2$ . Итого, получаем следующую оценку:

$$\sigma n \ll 7 \times 10^{-20} \text{ см}^{-1}. \quad (6)$$

Понятно, что эта оценка очень сильно завышена. Попробуем подойти к оценке нейтрального поглощения с другой стороны. Космологические расстояния это расстояния в десятки миллиардов световых лет. Например, сверхновые регистрируемые на  $z = 1.6$  удалены от нас (по оптической длине пути) на тридцать пять миллиардов световых лет, это примерно  $3.3 \times 10^{28} \text{ см}$ .

Следовательно, если нейтральное поглощение составляет  $3 \times 10^{-29} \text{ см}^{-1}$ , то его необходимо учитывать в космологических моделях. Между первой (явно завышенной) оценкой  $10^{-20} \text{ см}^{-1}$  и последней оценкой в  $10^{-29} \text{ см}^{-1}$  отличие на девять порядков, то есть оценка нейтрального поглощения в  $10^{-29} \text{ см}^{-1}$  выглядит вполне правдоподобно. Такое нейтральное поглощение света разнообразным космическим мусором действительно может иметь место в нашем Мире.

### Космологическая модель учитывающая нейтральное поглощение

Рассмотрим простейшую космологическую модель. Мир плоский, со временем изменяется лишь его масштабный фактор  $a(t)$ :

$$d\ell^2 = a^2(t) (dr^2 + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)). \quad (7)$$

Решение уравнений гравитационного поля в результате даёт:

$$a(t) = \left( \frac{t}{t_{now}} \right)^{2/3}, \quad (8)$$

где  $t_{now}$  – "наше время", т. ё. время прошедшее с момента Большого Взрыва до наших дней. Специально выбрано так что бы  $a(t_{now}) = 1$ , т. ё. координаты в настоящий момент времени имеют прямой метрический смысл, это удобно. Вычислим оптическую длину пути. Из уравнения движения луча света:

$$c dt = d\ell = a(t) dr, \quad (9)$$

находим

$$r(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{c dt}{a(t)}, \quad (10)$$

где  $t_1$  – момент испускания,  $t_2$  – момент приёма. Оптическая длина пути если пренебречь нейтральным поглощением была бы равна:

$$d(t_1, t_2) = a(t_2) r(t_1, t_2). \quad (11)$$

Учёт нейтрального поглощения уменьшает видимую светимость, что эквивалентно увеличению оптической длины пути в силу их связи между собой. Поглощение зависит от концентрации космического мусора, а концентрация обратно пропорциональна объёму пространства. Объём же пространства пропорционален кубу масштабного фактора. Если известна концентрация частиц космического мусора в один момент времени, например,  $n_{now} = n(t_{now})$ , то в другие моменты времени она вычисляется по следующей формуле

$$n(t) = n_{now} \left( \frac{a(t_{now})}{a(t)} \right)^3. \quad (12)$$

В результате получаем

$$d(t_1, t_2) = a(t_2) r(t_1, t_2) \exp \left( \alpha \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{a(t_{now})}{a(t)} \right)^3 c dt \right), \quad (13)$$

где  $\alpha = 1/2 \sigma n_{now}$  – коэффициент нейтрального поглощения (феноменологический параметр описывающий концентрацию космического мусора и сечение рассеяния света на нём в настоящий момент времени).

Красное смещение вызывается уменьшением частоты принимаемого света вследствие расширения Мира:

$$z(t_1, t_2) = \frac{a(t_2) - a(t_1)}{a(t_1)}. \quad (14)$$

Итак, у нас есть две неизвестные константы  $t_{now}$  и  $\alpha$ , мы найдём их значения из данных астрономических наблюдений за сверхновыми типа Ia.

**Экспериментальное подтверждение рассмотренной космологической модели** Мы взяли экспериментальные данные по наблюдению за сверхновыми типа Ia опубликованные в работе [4], и выяснили что им наиболее соответствует (в смысле метода наименьших квадратов) следующий выбор коэффициента нейтрального поглощения света космическим мусором:

$$\alpha = 2.27^{+3.34}_{-1.74} \times 10^{-29} \text{ см}^{-1}. \quad (15)$$

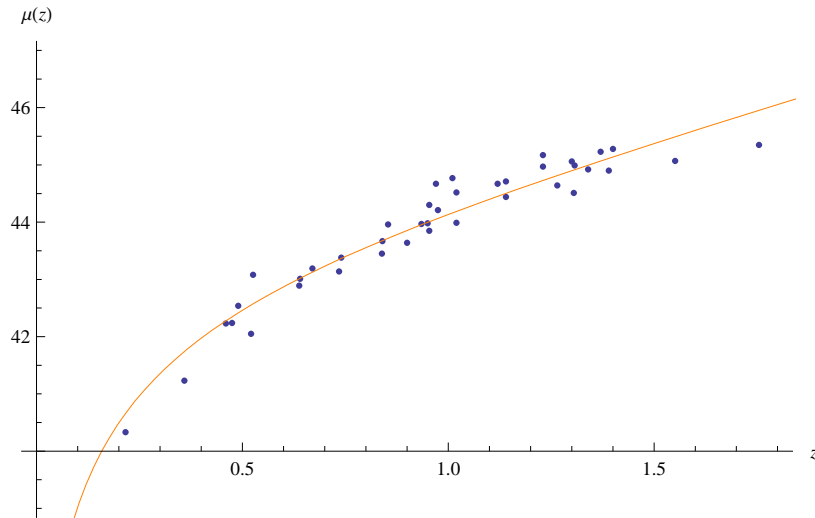
Как мы показали выше, это значение вполне правдоподобное. Константа  $t_{now}$  получает следующее значение:

$$t_{now} = 14.25^{+6.75}_{-4.65} \times 10^9 \text{ лет}. \quad (16)$$

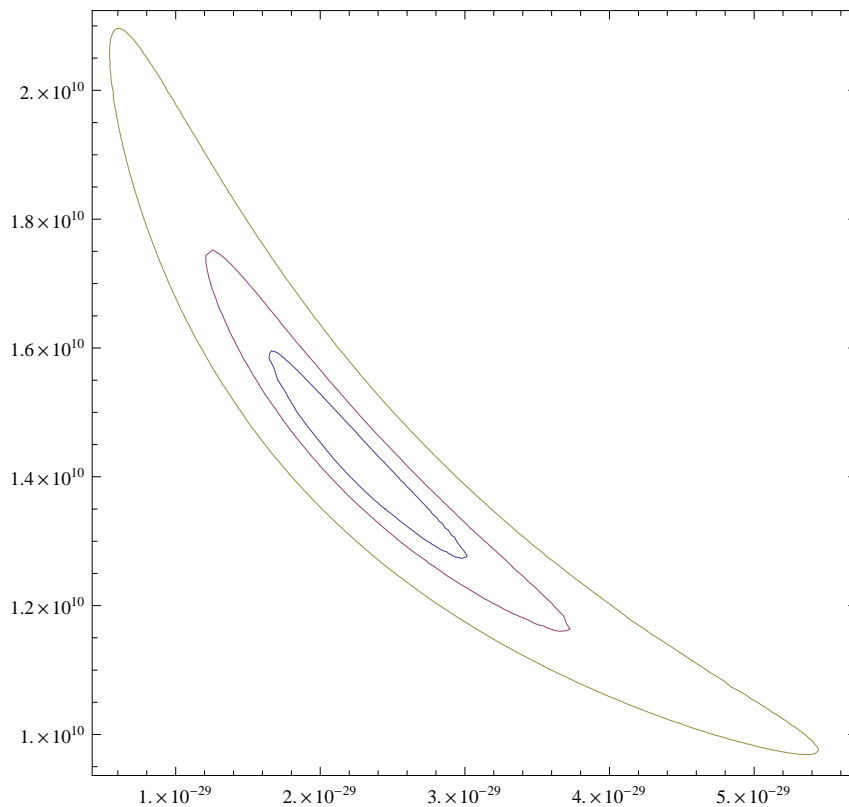
Плотность энергии гравитационного поля отрицательна и составляет:

$$\varepsilon\sqrt{\gamma} = -3.54^{+4.26}_{-1.90} \times 10^{-9} \text{ эрг/см}^3, \quad (17)$$

что соответствует  $-3.94^{+4.74}_{-2.12} \times 10^{-30} \text{ г/см}^3$ . Полученное значение плотности энергии гравитационного поля по абсолютной величине примерно соответствует плотности прочей материи, то есть полная плотность энергии гравитационного поля и прочей материи, может оказаться равной нулю. Ниже приведён график теоретически предсказываемой зависимости  $\mu(z)$  и экспериментальные точки:



Следующий рисунок даёт представление о степени погрешности определения параметров  $\alpha$  и  $t_{now}$ . Замкнутые контурные линии соответствуют значению среднеквадратичного отклонения графика функции  $\mu(z)$  от экспериментальных точек увеличенного соответственно в  $1.05$ ,  $1.05^3 \approx 1.16$  и в  $1.05^8 \approx 1.48$  раз от минимального значения, которое равно  $0.29025$ .



Величина погрешности  $\alpha$  и  $t_{now}$  в формулах (15) и (16) оценена по границе области соответствующей отклонению в  $1.05^8 \approx 1.48$  раз.

Для удобства, ниже приведена таблица данных  $\mu(z)$  из работы [4]:

Название сверхновой	$z$	$\mu$
2002kc	0.216	40.33
HST04Kur	0.359	41.23
HST04Yow	0.460	42.23
2002dc	0.475	42.24
HST04Hawk	0.490	42.54
HST05Zwi	0.521	42.05
2002hr	0.526	43.08
HST05Dic	0.638	42.89
2003be	0.640	43.01
2003bd	0.670	43.19
2002kd	0.735	43.14
HST04Rak	0.740	43.38
HST05Spo	0.839	43.45
2003eq	0.840	43.67
HST04Man	0.854	43.96
2003eb	0.900	43.64
2003XX	0.935	43.97
2002dd	0.950	43.98
2003es	0.954	44.30
HST04Tha	0.954	43.85
HST04Pat	0.970	44.67
HST04Omb	0.975	44.21
HST05Str	1.010	44.77
HST05Fer	1.020	43.99
HST04Eag	1.020	44.52
HST05Gab	1.120	44.67
HST04Ge	1.140	44.44
2002ki	1.140	44.71
HST05Lan	1.230	44.97
HST05Koe	1.230	45.17
2003az	1.265	44.64
2002fw	1.300	45.06
2002hp	1.305	44.51
2003aj	1.307	44.99
2003dy	1.340	44.92
HST04Mcg	1.370	45.23
HST04Sas	1.390	44.90
2002fx	1.400	45.28
2003ak	1.551	45.07
1997ff	1.755	45.35

**Вывод** Совершенно очевидно, что разнообразный космический мусор уменьшает видимую светимость далёких объектов. Если зависящее от длины волны поглощение можно учесть и скорректировать результат астрономического наблюдения, то независящее от длины волны *нейтральное* поглощение учесть в астрономических наблюдениях очень трудно или даже невозмож-

но. Если предположить, что нейтральное поглощение пренебрежимо мало даже на расстояниях в десятки миллиардов световых лет, то линейную зависимость  $d(z)$  с необходимостью приходится объяснять введением лямбда члена. Наоборот, если предположить, что нейтральное поглощение имеет место и составляет величину порядка  $10^{-29}$  см<sup>-1</sup>, то линейная зависимость  $d(z)$  будет объясняться именно им. Таким образом, на основе одних лишь только наблюдений за сверхновыми типа Ia невозможно утверждать, что "тёмная энергия" существует, это предмет веры. А если выбирать между верой в "тёмную энергию" или в космический мусор, то в мусор верится легче (он как-то более привычен, более естественен).

## Список литературы

- [1] Д. Е. Бурланков, *"Время, пространство, тяготение"*, РХД 2006 г. 420 стр. ISBN 5-93972-465-5
- [2] Д. Е. Бурланков, *"Динамика пространства"*, Монография. Н. Новгород. Издательство ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2005 г. 179 с. ISBN 5-85746-281-9
- [3] Д. Е. Бурланков, *"Пространство, время, космос, кванты"*, Н. Новгород. Издательство ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2007. 143 с. ISBN 978-5-85746-960-6
- [4] Adam G. Riess и др., *New Hubble Space Telescope Discoveries of Type Ia Supernovae at  $z \geq 1$ : Narrowing Constraints on the Early Behavior of Dark Energy*, *Astrophysical Journal* vol. 656 for March 10, 2007, arXiv:astro-ph/0611572v2