

Краткие сообщения

07;12

Об учете aberrации в экспериментах по проверке релятивистской теории Допплера

© В.О. Беклямишев

(Поступило в Редакцию 3 февраля 1997 г. В окончательной редакции 18 февраля 1998 г.)

Критикуется интерпретация результатов экспериментальной работы [1] по проверке релятивистской формулы эффекта Допплера и ошибочное заключение о несостоятельности специальной теории относительности (СТО) [2], к которому пришел один из авторов эксперимента. Предлагается изменить конструкцию щелевого коллиматора с учетом aberrации света.

Введение

При относительном движении источника и приемника света воспринимаемая приемником длина волны выражается, согласно СТО, формулой

$$L' = L\Gamma \left(1 - \frac{v}{c} \cos \phi\right), \quad (1)$$

где

$$\Gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}, \quad (2)$$

v — скорость относительного движения, ϕ — угол между направлением скорости v и направлением наблюдения, L — длина волны излучения в системе покоя K источника, L' — длина волны излучения в движущейся системе отсчета K' , с которой связан фотоприемник.

В 1938 г. Айвс и Стиллуэл осуществили эксперимент, в котором излучение наблюдалось одновременно под двумя симметричными углами ϕ и $(\phi + 180)$ градусов, где угол ϕ был близок к нулю. Таким образом проверялся продольный эффект Допплера. В этом эксперименте ионизированные молекулы водорода ускорялись в "катодной трубке" до 28 keV. В зоне наблюдения ускоренные молекулы сталкивались с неускоренными молекулами и "разваливались" на свободные протоны и возбужденные атомы водорода. В направлении движения излучающих атомов наблюдалась спектральная линия $L'(c)$, смещенная в синюю область, а в противоположном — линия $L'(k)$, смещенная в красную область спектра

$$L'(c) = L\Gamma[1 - (v/c) \cos \phi], \quad (3)$$

$$L'(k) = L\Gamma[1 + (v/c) \cos \phi]. \quad (4)$$

Соответственно смещение в синюю и красную области относительно волны L равны

$$d(c) = L - L'(c) = L[1 - \Gamma + (v/c)\Gamma \cos \phi], \quad (5)$$

$$d(k) = L'(k) - L = L[\Gamma - 1 + (v/c)\Gamma \cos \phi]. \quad (6)$$

Отсюда следует разность D смещений

$$D = d(k) - d(c) = 2L(\Gamma - 1). \quad (7)$$

Так как в общем случае $\Gamma > 1$, то из выражения (7) следует, что смещение $d(k)$ в красную область больше смещения $d(c)$ в синюю область спектра. Эта асимметрия и была измерена Айвсом и Стиллуэлом. В дальнейшем опыт был повторен для энергии 40 keV. Результаты этих работ [3,4] вполне согласовывались с формулой (1).

Тогда же, в 1938 г., Айвсом был экспериментально обнаружен и измерен поперечный эффект Допплера [5], причем релятивистская формула (1) и на этот раз нашла подтверждение. Для полноты картины теперь не хватало эксперимента, в котором бы наблюдались фотоны при промежуточных значениях угла ϕ .

В 1986 г. группа исследователей Радиевого института им. В.Г. Хлопина (Санкт-Петербург) осуществила такой

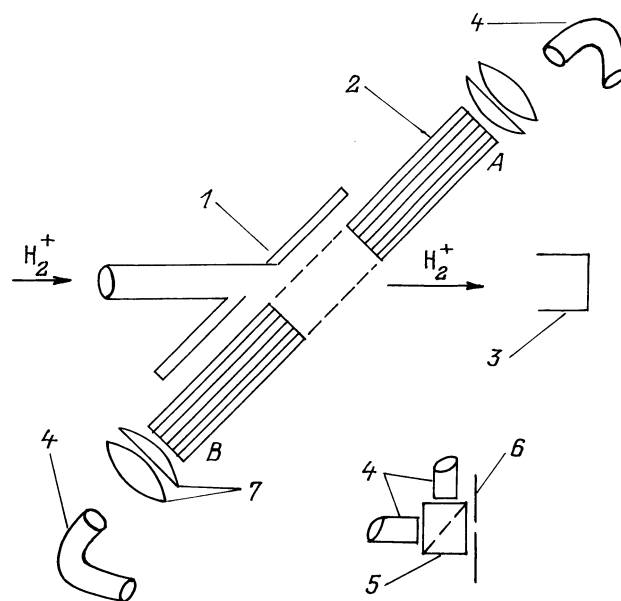


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки [1]: 1 — фланец, 2 — многощелевой коллиматор, 3 — цилиндр Фарадея, 4 — гибкий световод, 5 — кубик Льюмера, 6 — щель спектрографа, 7 — собирающие линзы.

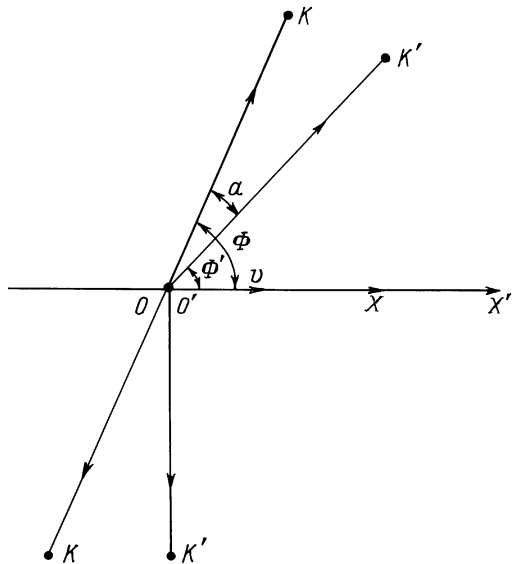


Рис. 2. Схема к определению угла аберрации a .

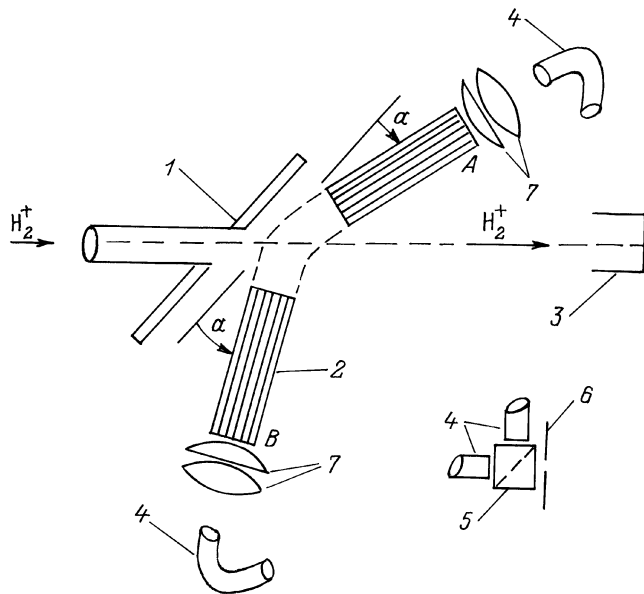


Рис. 3. Схема установки с модифицированным щелевым коллиматором, состоящим из двух независимых частей A и B , которые могут быть повернуты относительно друг друга на аберрационный угол a . Обозначения те же, что и на рис. 1.

эксперимент, в котором излучение наблюдалось под углами 77 и 257° . Однако результаты этого эксперимента на первый взгляд противоречили релятивистской формуле (1). Разумного объяснения этому найдено не было, и дело закончилось тем, что Л.А. Победоносцев в работе [2] вообще заявил, что экспериментальные данные подтверждают классическую формулу эффекта Допплера и не подтверждают релятивистскую. На общем фоне экспериментальных успехов СТО такое заявление представилось рискованно смелым. При более глубоком

изучении проблемы выяснилось, что при интерпретации результатов эксперимента не учитывалась аберрация излучения.

Конструкция щелевого коллиматора с учетом аберрации света

На рис. 1 представлена схема щелевого коллиматора, представляющего собой набор из 29 параллельных пластин длиной 116 mm, шириной 20 и толщиной 0.2 mm. Расстояние между пластинами равно 0.5 mm — такова ширина каждой щели, по которой свет проходит к фотоприемникам. Пакет пластин имеет сквозное отверстие, через которое пропускается пучок ионизированных молекул водорода.

Выделим отдельную щель коллиматора и мысленно свяжем ее с инерциальной системой K' . Через щель проходят два потока излучения: от покоящихся и движущихся со скоростью $-v$ атомов водорода (относительно инерциальной системы отсчета K'). Вторую систему отсчета K свяжем с атомом водорода, излучающим волну с длиной L . Согласно СТО, если луч света в системе покоя K направлен под углом ϕ , то в движущейся системе отсчета K' этот же луч распространяется под углом ϕ' , который равен $\phi' = (\phi - a)$, где a — угол аберрации (рис. 2).

Чтобы представить себе аберрацию более наглядно, можно провести аналогию с аберрацией в астрономии, когда для наблюдения звезды приходится наклонять телескоп на угол аберрации a . В противном случае источник излучения просто не виден. Точно таким же образом щель коллиматора надо наклонять на угол a , который приближенно выражается формулой [5, с. 81, формула (20)]

$$a = v \sin \phi', \quad v \ll c. \quad (8)$$

Только при выполнении этого условия возможна реализация релятивистской формулы (1). Таким образом, либо первоначальная конструкция щелевого коллиматора, оба плеча которого (A и B) имели постоянную

E , keV	v/c	Γ	$\sin \phi'$	a
2000	0.04618	1.001068	0.97572	± 2.58
1750	0.04315	1.000932	0.97491	± 2.41
1500	0.04000	1.000801	0.97512	± 2.23
300	0.01788	1.0001598	0.97982	± 1.00
275	0.01722	1.0001482	0.97834	± 0.96
260	0.01665	1.0001386	0.97857	± 0.93
250	0.01632	1.0001331	0.98012	± 0.92
225	0.01549	1.0001199	0.97885	± 0.87
210	0.01496	1.0001119	0.97893	± 0.84
200	0.01460	1.0001066	0.97941	± 0.82
180	0.01385	1.0000959	0.97930	± 0.78
175	0.01366	1.0000933	0.97766	± 0.76
150	0.01264	1.0000799	0.97878	± 0.71

ориентацию под углами ϕ' и $(\phi' + 180)$, должна быть изменена с таким расчетом, чтобы существовала возможность коррекции угла наблюдения независимо для плеча A и плеча B , либо соответствующая поправка должна учитываться при интерпритации результатов измерения. Так, в нашем конкретном случае, который представлен на рис. 3, плечо A повернуто на угол a против часовой стрелки, а плечо B — на такой же угол по часовой стрелке. Расчетные значения абберационной поправки a для различных значений скорости v приведены в таблице.

Список литературы

- [1] *Победоносцев Л.А.* // ЖТФ, 1989. Т. 59. Вып. 3. С. 84–89.
- [2] *Pobedonostsev L.A.* // Galilean Electrodyn. 1995. Vol. 6. N 6. P. 117–119.
- [3] *Ives U.E., Stilwell G.R.* // J. Opt. Soc. Amer. 1938. Vol. 28. N 7. P. 215–224.
- [4] *Ives U.E., Stilwell G.R.* // J. Opt. Soc. Amer. 1941. Vol. 31. N 5. P. 369–374.
- [5] *Угаров В.А.* Специальная теория относительности. М.: Наука, 1969. С. 304.