

# Новые идеи и гипотезы

new-idea.kulichki.net

## - Разделы -

Последние публикации

Физика

Философия, естествознание

Общество, социология

Непознанное

Искусственный интеллект

Другое

## Дополнительно

Добавить статью, ссылку

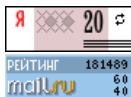
Форумы

Поиск на сайте

Написать письмо

## Ссылки

Только для ОСТРОУМНЫХ



Реклама в Интернет

Столетию Теории Относительности посвящается

## Самое важное подтверждение ОТО или что измерил лорд Эддингтон в 1919

Геннадий Ивченков

Результаты, полученные экспедицией Эддингтона в 1919 году, сыграли решающее значение в признании Общей Теории Относительности как единственно правильной теории гравитации. Предлагаемая статья посвящена анализу методических и инструментальных ошибок, допущенных экспедицией при проведении измерений.

"Экспедиция 1919 года, возглавляемая Эддингтоном, впервые экспериментально измерила отклонение луча света в гравитационном поле Солнца, которое полностью соответствовало Общей Теории Относительности (ОТО) Эйнштейна" - эту фразу вы можете увидеть в любом издании, посвященном ОТО, будь то академическое издание или научно-популярная статья. На самом деле, это заявление очень важно, так как результаты, полученные в этой экспедиции, были решающими в полном признании и дальнейшем доминировании ОТО как единственно правильной теории гравитации. Предлагаемая статья посвящена анализу возможной точности измерений, которая могла быть получена с использованием примененных в данном случае аппаратуры и методики измерений, а точнее, методических и инструментальных ошибок, допущенных при проведении этих измерений.

Так что же, все-таки, измерила экспедиция 1919 года?

Ниже приведены выдержки из разных публикаций, посвященных экспедиции Эддингтона в 1919 г. Наиболее подробный обзор экспедиции дан в публикации Киотского Университета.

1. Из научной биографии Эддингтона, опубликованной Университетом "Св. Андрея", Шотландия.

"... Эддингтон внес важный вклад в Общую Теорию Относительности. Он начал интересоваться ею в 1915 году, когда он получил статью Эйнштейна и Ситтера присланную ему Королевским Астрономическим Обществом. Он заинтересовался этой теорией, в частности, потому что она объясняла отмеченное, но не объясненное смещение перигелия Меркурия. Он прочитал лекцию по Теории Относительности на съезде Британской Ассоциации в 1916 году и сделал доклад для Физического Общества в 1918 году.

На следующий год Эддингтон возглавил экспедицию на остров "Принцип" в Западной Африке для изучения солнечного затмения. Его целью было подтверждение отклонения луча света, проходящего близко от Солнца, которое было предсказано Теорией Относительности. В то время такое наблюдение звезд близких к Солнцу было возможно только во время полного затмения. Он отплыл на корабле из Англии в марте 1919 года и в середине мая установил свои инструменты на острове Принцип. Затмение должно было произойти в два часа по полудню 29-го мая, но утром был шторм и сильный дождь. Эддингтон писал:

*...Дождь окончился около полудня и примерно в 1:30 мы увидели Солнце. Мы приготовили наши фотоаппараты, надеясь на случай. Я не видел самого затмения, будучи очень занят меняя фотопластинки, кроме одного взгляда, чтобы удостовериться, что оно началось и полу-взгляда, чтобы оценить количество облаков. Мы получили 16 снимков, на которых Солнце получилось со всеми деталями, но облака закрывали звезды. На последних нескольких снимках было несколько изображений звезд, которые дали нам то, что нам было нужно...*

Он остался на острове "Принцип", чтобы проявить снимки и постараться измерить отклонения положения звезд. Качество снимков из-за облаков было низким, и измерения проходили с трудом. 3-го июня он пишет в своей записной книжке:

*... не одной пластинке измерения дали результат, предсказанный Эйнштейном.*

Результат этой африканской экспедиции дал первое подтверждение теории Эйнштейна, о том, что гравитация изгибает луч света, прошедший рядом с массивной звездой."

(выдержки из статьи J.J. O'Connor and E.F. Robertson "Arthur Stanley Eddington", School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrew, Scotland) (перевод Г. И.).

2. Из статьи, опубликованной Киотским Университетом (Япония)

"Эддингтон сам прибыл на остров Принцип.

Наблюдатели потратили больше месяца на подготовку. В день затмения погода была плохая. Когда началась полная фаза затмения, диск Луны, окруженный короной, был виден через облака...

Было получено 16 фотографий с экспозицией от 2 до 20 секунд. На первых фотографиях звезды были не видны, ..., но к концу полной фазы облака стали редеть и несколько изображений (звезд) показались на последних снимках. ... на одной пластинке были обнаружены хорошие изображения пяти звезд, которые могли быть использованы для измерений. Измерения были произведены на месте через пять дней после затмения на микрометрической измерительной машине. Надо было определить, как смещается положение звезд под влиянием гравитационного поля Солнца по сравнению с обычным, полученным для сравнения на том же телескопе в Англии в январе. Полученная в ходе затмения и опорная фотографии были совмещены кадр на кадр на измерительной машине так, чтобы соответствующие изображения были близки друг к другу и эти малые расстояния были измерены в двух координатах. Таким образом, относительные смещения положений звезд могли быть измерены.

Результат, полученный с этой пластинки, показал смещение положений звезд, находящееся в хорошем согласии с теорией Эйнштейна и расхождение с расчетами на основании ньютоновской (корпускулярной) теории.

Далее, после возвращения в Англию, были получены другие подтверждения. Четыре фотопластины были привезены непроявленными, так как они не могли быть обработаны в жарком климате. На одной из них было обнаружено существенное количество изображений звезд и измерения также показали отклонение предсказанные Эйнштейном, что подтвердило предыдущий результат.

В 1922 году другие наблюдения были проведены W. W. Campbell и R. J. Trumpler в Wallal, Western Australia, в которых были определены отклонения 15 звезд (см. Рис. 1) (figure from Misner et al, Gravitation, Freeman and Co., 1973, 1104)." (перевод Г. И.).

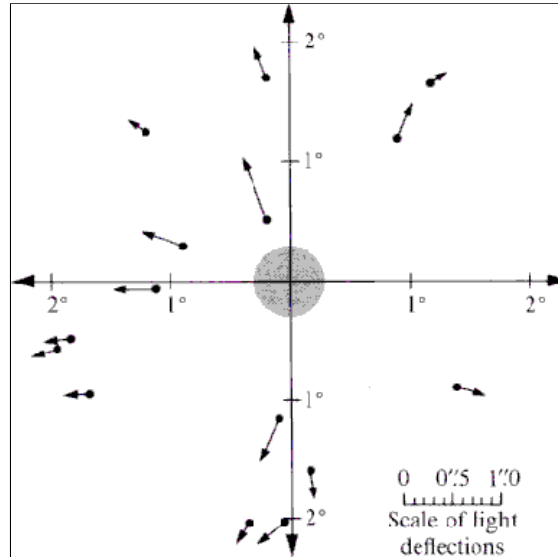


Рис. 1. From: <http://www.bun.kyoto-u.ac.jp/~suchii/Edd.on1919.html>

Приведенный материал, в целом, позволяет провести реконструкцию данного эксперимента и провести качественный и количественный анализ вероятных систематических и случайных ошибок. Вообще, такой анализ должен всегда предшествовать эксперименту и, в том случае, когда анализ показывает, что ожидаемая величина находится "под ошибкой", данный эксперимент вообще не должен проводиться и, следовательно, вся его методика и измерительная база должны быть радикально пересмотрены.

В данном случае, анализ некоторых из приведенных ниже составляющих ошибки осложняется тем, что отсутствует достоверная информация о качестве телескопа и фотографических материалов,

точности микрометрических подвижек и т.п. В этом случае приходится делать допущения, основанные на расчетах и характеристиках существующих приборов.

## Оценка ошибок измерения в экспедиции 1919

### Г.

Ожидаемая величина смещения положения звезд в данном эксперименте (согласно ОТО) составляла от 0.8" для звезд, расположенных на расстоянии двух радиусов Солнца, до 0.2" - на расстоянии 8 радиусов. Более близкие звезды были недоступны из-за засветки солнечной короной (см. рисунок выше). Аналогичный эффект предсказывала и корпускулярная теория Ньютона, но отклонение должно было быть в два раза меньше - 0.4" и 0.1" соответственно. Основной целью экспедиции было опровергнуть теорию Ньютона и подтвердить теорию Эйнштейна. Следовательно, в данном эксперименте точность измерения должна была быть менее 0.1", что даже сейчас является фактически недостижимой задачей для наземных астрометрических измерений. При проведении измерений с такой точностью неизбежно "выплывает" большое число источников ошибок, систематических и случайных, которыми ранее, при измерении с точностями порядка 1", можно было пренебречь. Необходимо отметить, что современные астрометрические приборы, имеющие точность порядка секунды - всегда прецизионно-калиброванные с термостабилизированной камерой.

#### Источники ошибок, связанные с измерительными приборами:

Согласно задаче эксперимента, телескоп, камера, гидирующее устройство, фотоматериалы и методика обработки измерений должны были обеспечить точность порядка 0.1".

#### 1. Разрешающая способность и аберрации оптической системы:

Экспедиция была выездная, следовательно, они не могли взять телескоп с диаметром объектива, превышающим, например, 500 мм (даже такие, относительно небольшие зеркальные телескопы со штативом - очень серьезное и тяжелое сооружение). По-видимому, диаметр зеркала телескопа не превышал 200 - 300мм. Теоретическое значение кружка рассеяния для 300 мм телескопа равно 0.8", а разрешающая способность (теоретическая, по Рэлею) - 0.4". Кроме того, телескопы, как и любые оптические приборы, имеют аберрации, искажающие поле зрения, размывающие пятно рассеяния и искажающие распределение мощности в нем, которые, в той или иной степени, исправлены. В телескопах, например, аберрации максимально исправлены в центре поля, а в более широкоугольных камерах их стараются исправить по всему полю. В частности, кома и астигматизм размывает пятно и искажает распределение мощности, особенно в широкоугольных системах. Искажения, вызванные комой прямо пропорциональны углу визирования, а астигматизмом - квадрату угла визирования. На это накладываются 1-2", вызванные атмосферной экстинкцией, размывающей кружок рассеяния (не обязательно симметрично, особенно, при малой экспозиции). Качество оптики телескопа, примененного в данной экспедиции неизвестно, но даже если предположить, что оно приближалось к теоретически возможному, то **угловой диаметр пятна рассеяния должен был составлять не менее 2 - 2.5"**, что в 3 раза превышало максимальную измеряемую величину.

#### 2. Аберрации поля.

Из аберраций поля, в данном случае, наибольший интерес представляют дисторсия (искажающая поле зрения). "Дисторсия обычно не вредит наблюдателю, но становится очень опасной, если при помощи оптической системы производятся съемки, предназначенные для промеров (например, в геодезии или, особенно, в аэрофотограмметрии)". (Г. С. Ландсберг "Оптика" стр.309). Нескомпенсированная дисторсия приводит к подушко-образным искажениям, создавая впечатление выпуклого или вогнутого поля зрения. Таким образом, в первом случае звезды как бы разбегаются от центра, а во втором - сбегаются. Пока никому не удавалось скомпенсировать, в частности, дисторсию до суб-секундных значений даже для малых углов зрения. Таким образом, если использовать оптическую систему с нескомпенсированной дисторсией, то можно увидеть (и даже успешно измерить) всю кривизну метрики пространства-времени. Единственный выход в этом случае - точнейшая (0.1" и выше) калибровка, которая, наверняка, не проводилась. Принимая во внимание то, что телескоп использовался широкоугольный, с полем зрения больше 4 градусов, то эти аберрации должны были давать искажения превышающие десятки секунд на краю поля зрения. В данном случае дисторсия была частично скомпенсирована тем, что для съемки затмения и контрольного снимка использовался тот же телескоп. То есть, измерялись относительные угловые отклонения, которые, в случае полного совпадения углового положения оси телескопа относительно звезд на этих снимках, практически не зависели от искажения поля зрения. Если же оси не совпадали, то из-за искажения углового масштаба должна была проявиться ошибка, вызывающая относительное смещение положения звезд на разных снимках. Эта ошибка и ее направление трудно поддаются оценке, так как данные по аберрациям телескопа и исходные материалы (негативы) недоступны. Можно предположить, что для такого широкоугольного телескопа она могла составлять **порядка десятых долей секунды**.

#### 3. Ошибки гидирования

Если во время экспозиции не использовался гидирующий механизм, компенсирующий суточное движение, то за 10 - 20 сек. экспозиции кружки рассеяния превращались в эллипс, вытянутый

на 2,5 - 5' по эклиптике. Если этот механизм использовался, то очень сомнительно, что он имел суб-секундную точность. То есть, гидирующий механизм, однозначно, должен был внести дополнительное размывание кружка (пятна) рассеяния (трудно поддающаяся оценке) из-за неточного соответствия траектории гидирования и вибрации. Данные по точности гидирования отсутствуют, но можно предположить, что **неточность гидирования "растягивала" пятно примерно на 0.3"** (при уходе гидирующего механизма за сутки на 15', что соответствует уходу часов за сутки на 1 мин). Если бы такое искажение пятна имело место при современных высокоточных астрометрических измерениях, то оно вызвало бы искажение распределения мощности в пятне и очень существенно снизило бы точность измерения координат пятна.

#### Источники ошибок, связанные с астрономическими факторами:

#### 4. Рефракция в атмосфере Земли.

Опорная фотопластинка была снята в январе в Англии (угол эклиптики над горизонтом - 20 град.), а затмение снималось на экваторе в 13:30, т.е. Солнце было в зените. Атмосферная рефракция при угле 10 град. над горизонтом составляет 5' 30", при угле 20 град. - 2'40", а в зените близка к нулю (см. таблицы Пулковской Обсерватории). Следовательно, в 4 град поле зрения (между 20 и 10 град азимута) присутствовала нелинейность порядка 80 - 100", искажающая (растягивающая) вертикальный масштаб. Вообще, атмосферная рефракция была в то время известна, но я не имею информации о том, было ли это каким-то образом учтено или нет. Если даже было (эту нелинейность трудно было не заметить), то целиком ее учесть нельзя (особенно, для суб-секундных точностей), так как рефракция, особенно, близко к горизонту, существенно зависит от атмосферных условий - температуры, влажности и т.п. Следовательно, опорная пластинка, снятая в Англии была заведомо искажена, причем, без учета рефракции вертикальный (относительно эклиптики) масштаб изображения был растянут, и, при наложении пластинки с неискаженным масштабом (измерительная пластинка) этот эффект должен был вызвать "сбегание" звезд к центру в этом направлении. Эта ошибка (без учета этого эффекта) должна была составить порядка единиц секунд. Как уже говорилось, этот эффект нельзя полностью учесть то, в любом случае, **остается ошибка не менее десятых долей секунды**. Для устранения этого эффекта необходимо было снять опорную пластинку в том же месте. Кстати, такая ошибка является непростительной для такого серьезного астронома, как Эддингтон.

#### 5. Звездная абберация.

Этот эффект, вызывающий отклонение видимого положения звезд в 40.9" относительно центра Солнца во время измерения и съемки опорной пластинки был максимален и направлен в противоположные стороны. То есть, на опорном снимке все звезды были смещены на 20.45" в одну сторону, а на измерительной пластинке - на 20.45" в другую. На видимое положение звезд относительно друг друга это не скажется никак, но относительно центра Солнца звезды будут смещены и это приведет к ошибке определения углового расстояния данной звезды от центра Солнца и, соответственно, смещения относительного положения звезд (по ОТО отклонение обратно пропорционально расстоянию от центра Солнца). Правда, ошибка, в данном случае будет небольшая - **порядка 0.01"**, которой можно пренебречь.

#### 6. Собственное движение звезд.

Как известно, звезды движутся относительно друг друга со скоростями, достигающими порядка десяти км/сек. и более. За сотни лет наблюдений некоторые звезды "убежали" довольно далеко, что заметно даже невооруженным глазом. При высоких точностях измерений с этим явлением необходимо считаться. Например, в каталогах, полученных с помощью спутника "Hipparcos" приведены как координаты звезды, так и ее параллакс, и собственное движение. В частности, звезда, движущаяся относительно Солнца со скоростью 10 км/сек за полгода (время, прошедшее между двумя снимками) переместится на 1 а.е., что с расстояния 1 парсек будет видно как 1". То есть, для звезд, находящихся на расстоянии ближе 10 парсек это даст **ошибку более 0.1"**. Упоминание об учете этого явления при обработке результатов данной экспедиции отсутствуют.

Составляющие ошибки (2, 4, 5, 6) являются систематическими, вызывают искажение поля и относительное смещение положения звезд на измерительных и опорной пластинках по двум координатам. Это ошибки при повторении эксперимента в тех же условиях будут воспроизведены по величине и направлению во всей этой серии измерений. То есть, при работе со всеми пластинками, эти составляющие ошибки были одни и те же по величине и направлению, но индивидуальны для каждой звезды. В данном случае, фактор 2 вызывал "сбегание" или "разбегание" звезд от центра кадра, а фактор 4 - "сбегание" звезд по вертикальному направлению к центру. Точно оценить эти ошибки не представляется возможным, но исходя из вышесказанного, можно предположить, что их величина составляла не менее **десятых долей секунды**. Следовательно, даже при отсутствии реального отклонения луча звезды, вызванного гравитационным полем Солнца, **при совмещении пластинок должны были наблюдаться видимые отклонения положения звезд, причем, по величине соизмеримые с ожидаемой величиной**.

Другие факторы (1, 3) размывают пятно рассеяния затрудняя обработку измерений, в частности, нахождение энергетического центра пятна. Как уже было сказано, в случае использования современных методов обработки изображения, это очень сильно (на порядок и более) снижает точность определения координат. Но в данном и последующих аналогичных экспериментах нахождение энергетического центра пятен проводилось "на глаз", что не позволяет даже предположить, в какую сторону и на сколько вышеуказанные факторы "увели"

этот глаз. Следовательно, факторы 1 и 3 вызывают кроме случайных ошибок, связанных с "зоркостью" глаза наблюдателя, также и систематические, могущие превышать измеряемую величину, так как пятно рассеяния может быть искажено до такой степени, что видимый центр его будет отличаться от истинного на величину порядка видимого радиуса пятна (1"). Например, при наличии комы видимый центр пятна смещен от центра кадра. Этот фактор мог быть частично скомпенсирован тем, что при съемках опорной и измерительных пластинок использовался тот же телескоп. Влияние факторов, искажающих распределение мощности в пятне, на точность измерения будет рассмотрено ниже.

#### Ошибки, связанные с обработкой измерений.

Наиболее важная часть данного эксперимента - это обработка результатов измерений.

Согласно приведенным выше публикациям, совмещались две фотопластинки, одна, сделанная во время затмения 29 мая, другая - до затмения (снятая тем же телескопом в январе в Англии). Изображения совмещались по X, Y и углу поворота так, чтобы звезды практически наложились, и измеряемое угловое отклонение определялось по отклонению геометрического центра пятна рассеяния "отклоненной" звезды от такого же центра "неотклоненной" с помощью микроскопа с двухкоординатной микрометрической подвижкой. Измерялись отклонения звезд, находящихся на расстоянии от 2x до 8и солнечных радиусов. Соответственно, ожидаемые значения отклонения должны были составить порядка 0.2 - 0.8" (по Эйнштейну) и 0.1 - 0.4" (по Ньютону). Измерения проводились в облачную погоду и дождь, пользуясь разрывами в облаках. Было сделано 16 снимков, из которых большинство было забраковано.

Для каждой звезды измерялись расстояние до центра солнечного диска и отклонение видимого положения звезды от ее исходного положения на опорной пластинке. Результаты измерений статистически обрабатывались по наименьшим квадратам для построения зависимости радиального отклонения звезды от ее расстояния  $d = f(r)$ , причем зависимость искалась в виде гиперболы  $d = 4G*M/(R*C^2)$  - по Эйнштейну или  $d = 2G*M/(R*C^2)$  - по корпускулярной теории Ньютона. Эти формулы можно представить в виде:  $d = A*1/r$ , где  $d$  - радиальное отклонение положения звезды от нормального (не искаженного гравитацией),  $r$  - расстояние от центра Солнца в солнечных радиусах,  $A$  - коэффициент, разный (отличающийся в два раза) для случая отклонения по Ньютону и Эйнштейну. Задача состояла в определении этого коэффициента, что позволило бы решить принципиальный вопрос, кто прав, Ньютон или Эйнштейн, хотя, вообще-то, экспедиция была "запрограммирована" на доказательство правильности Эйнштейна. Таким образом, коэффициент  $A$  определялся по формуле  $A = d*r$ . При этом, каждой звезде соответствовало значение  $A_i = d_i*r_i$ , а среднее значение  $A$  определялось по формуле  $A = [A]/n$ , где  $n$  - число обработанных звезд. Здесь фигурируют две измеренные величины,  $d_i$  и  $r_i$ , каждая из которых определялась с своей ошибкой. Зная среднеквадратичные ошибки измерения каждой из этих величин, можно определить среднеквадратичную ошибку величины  $A$ . Для функции двух переменных  $f(d, r)$  ее ошибка определяется как  $e_A = \sqrt{(e_d*r)^2 + (e_r*d)^2}$ . Как видно,  $(e_d*r)^2 \gg (e_r*d)^2$  и выражение сводится к  $e_A = e_d*r$ , где  $e_d$  - среднеквадратичная ошибка величины  $A$ ,  $e_d$  - величины  $d$  (смещения положения звезды),  $r$  - угловое расстояние от звезды до центра солнечного диска в солнечных радиусах. Следовательно, при одинаковой точности измерения отклонения (ошибка  $e_d$ ) для каждой звезды точность (ошибка) определения коэффициента  $A$  для звезд находящейся, например, на расстоянии  $2R$  и  $8R$  зависит также от расстояния данной звезды до центра солнечного диска (см. рисунок).

Можно оценить возможную среднеквадратичную ошибку измерения величины  $d$ ,  $e_d$ . Для этого необходимо оценить точности методики обработки измерений и использованных для этого приборов и фотоматериалов.

#### Случайные и систематические ошибки методики обработки измерений и использованных для этого приборов и фотоматериалов.

### 7. Точность, обеспечиваемая фотоматериалами в данных условиях.

Можно оценить точность (разрешающую способность с учетом зернистости эмульсии), которую могла обеспечить фотопластинка в данном эксперименте. Как видно из рисунка, опубликованного в статье Киоиского Университета, поле зрения телескопа составляет 4x4 град или 14.400x14.400 угловых секунд. Размер пластинки, по видимому, не превышал 20x20 см (скорее всего, был стандартным - 18x24 см). **Следовательно, 1 угловая секунда соответствовала 13 микронам на пластинке.** Современные (хорошие) черно-белые фотоматериалы обеспечивают разрешающую способность порядка 100 лин/мм, т.е. размер зерна составляет порядка 10 микрон и только специальные фотоматериалы, предназначенные для голографии, имеют зерно порядка 1 микрон. В 1919 г. (и 1922 г.) фотоматериалы были низкого качества, крупнозернистые и контрастные, тем более, что та знаменитая фотопластинка обрабатывалась теплыми растворами в тропиках (что однозначно вызывает увеличения размера зерна). Так, что реальный размер зерна был порядка 20 - 30 микрон, а полученные "изображения" звезд представляли собой одно или два засвеченных зерна. "Зерно" на фотопластинке представляет собой бесформенный трехмерный кластер мелких кристаллов металлического серебра, произвольно растущих от зародыша (скрытого изображения). Размер этого кластера зависит от многих факторов, в первую очередь, от качества фотоматериалов, затем, от растворов, температуры и т.п. При увеличении экспозиции пятно расплывается

вследствие рассеяния в эмульсии. Чувствительность зерен у этих фотоматериалов разная, что дополнительно затрудняло обработку пятна. Пластинки, конечно же, не были денситометрированы (этот метод и аппаратура появились сравнительно недавно). Эмульсия пластинки наверняка не обеспечивала достаточный динамический диапазон, чтобы прописать распределение мощности в пятне (фотоматериалы тогда были контрастные, то есть, с малым динамическим диапазоном). В этом случае "срезается" либо пьедестал, либо верхушка импульса, что не позволяет определить (даже визуально) энергетический центр пятна. Таким образом, очевидно, что энергетический центр в силу указанных выше причин не совпадал с геометрическим центром пятна, а был расположен произвольно в его пределах. Следовательно, определение в данном эксперименте энергетического центра пятна (истинное положение звезды) как видимого геометрического центра пятна было принципиально неверным. В таком случае случайная **ошибка определения координат** пятна будет порядка размера зерна, то есть, **не меньше 1"**.

Чтобы понять реальную трудность определения с высокой точностью координат пятна в таких условиях, достаточно посмотреть на современный черно-белый негатив в микроскоп, и все будет ясно. На приведенной выше красивой картинке масштаб отклонений увеличен примерно в 3500 раз, на самом деле длина самого длинного вектора будет порядка 7 микрон!! Но зато как точно они ложатся по радиусу, не правда ли? Могут возразить, что если мол я посмотрю в микроскоп, то конечно, ничего не увижу и измерю, а вот если туда посмотрит большой ученый, то это совсем другое дело. Вот как раз тому, что там мог увидеть и измерить "большой ученый" и посвящена данная, довольно пространная статья.

### 8. Точность совмещения пластинок

Толщина пластинки составляет 2 - 3 мм. Следовательно, когда микроскоп наводился на эмульсию верхней пластинки, то эмульсия нижней пластинки была расфокусирована.

Кроме того, сама идея физического совмещения двух пластинок, измерительной и опорной (что-то вроде "первобытной" корелляции), вообще-то, весьма спорная. Какая точность была при этом, я не могу даже предположить, но то, что низкая - наверняка.

### 9. Точность считывания результатов.

Для измерения линейных размеров на фотопластиках использовался микроскоп с двухкоординатными микрометрическими подвижками, точность которых не приводится. Существующие инструментальные микроскопы могут обеспечить точность **порядка нескольких микрон** и, я думаю, в данном случае точность была не лучше.

### Общие замечания по поводу применения фотоматериалов для анализа изображения.

По этому поводу можно отметить, что для измерений координат пятен рассеяния, в частности, для астрометрических измерений, можно использовать фотопластинку, но она обязана быть денситометрирована (прописана зависимость плотности почернения от энергии излучения). Причем, это должно быть сделано с использованием тех же растворов. Растворы должны быть специальные, мелкозернистые, а эмульсия иметь мелкое зерно одинакового размера и одинаковой чувствительности, и обеспечивать достаточный динамический диапазон градаций, а экспозиция должна обеспечить попадание в динамический диапазон (в 1919 г не было возможности выполнить эту процедуру, т.к. соответствующие фотоматериалы и технология появились относительно недавно и их развитие было связано с потребностями аэрофотосъемки). Далее, после проявления пластинки, на денситометре должны быть обработаны изображения (пятна рассеивания) опорных и измеряемых звезд с построением изолиний плотности почернения, и последующим определением координат энергетических центров пятен с учетом результатов калибровки оптической системы и камеры. В случае анализа двух изображений с целью получения величины рассогласования (смещения) их отдельных элементов должна быть проведена корреляционная обработка этих изображений (математическая, не физическая), не имеющая ничего общего с методом наименьших квадратов, примененном в данном случае.

Вышеприведенные соображения даны для случая, когда размер зерна на пленке намного меньше размера пятна. Этот метод позволяет получить точность измерения порядка одной десятой радиуса пятна и лучше. Реальная точность зависит здесь от многих факторов, в частности, от знания закона распределения мощности в пятне и, конечно, от качества фотоматериалов. На замену фотоматериалам сейчас пришли калиброванные ПЗС матрицы, позволяющие получить еще большую точность. Но это, повторяю, современные методы обработки изображения, которые были совершенно недоступны в 1919 году.

Определение же (на глаз) на пластинке геометрических центров очень маленьких расплывчатых пятен с неясной границей (имеющих, к тому же, радиус, превышающий измеряемую величину) - абсолютно не корректно, т.к. в частности, как говорилось выше, энергетический центр совершенно не обязательно должен совпадать с видимым геометрическим. Такой метод может быть применен только для грубой оценки и его точность его - порядка радиуса пятна рассеяния (который, как было показано, даже превышает измеряемую величину). В приведенном анализе не учитываются коробление эмульсии, температурные деформации пластинки и камеры (в тропиках и в Англии, в январе) и прочие подобные эффекты, дающие ошибку не менее десятых долей секунды и еще более усложняющие задачу.

## Анализ ошибок измерения

### Случайные ошибки.

Факторы 7, 8, 9 дают случайные ошибки, из них самым существенным является фактор 7 связанный с полем зрения и качеством фотоматериалов. Ему сопутствуют факторы 1 и 3 искажающие пятно. Факторы 8 и 9 могут быть в определенной степени устранены путем многократных замеров координат видимых центров пятен на одной и той же пластинке разными лицами. Так как этих замеров может быть проведено достаточно много, то измеренные координаты теоретически будут стремиться к математическому ожиданию геометрических центров пятен на пластинке (без учета, конечно, систематических ошибок).

Фактор 7 вызывает отклонение видимого геометрического центра пятна от реального энергетического центра. Как было показано выше, полные отклонения видимых геометрических центров от истинного положения могут превышать 1" и можно предположить, что это есть полная ошибка определения параметра  $d$ . Можно в первом приближении (очень для данного случая оптимистичном) оценить возможные точности определения коэффициента  $A$  в этом (и подобных) эксперименте. Коэффициент  $A$  по Эйнштейну будет равен 1.74 (угл.сек.\*солн.рад.), по Ньютону - 0.87, а при отсутствии отклонения - 0. Предположим, что закон распределения - нормальный и параметер сигма величины  $d$  (обозначенный выше как  $ed$ ) приблизительно равен 0.3" (1/3 от полной ошибки), одинаков для всех измерений  $d$ . Так как сигма величины  $A$  (обозначенная выше как  $eA$ ) равна  $eA = ed * r$ , то для звезд, расположенных на расстояниях 2R, 4R, 5R и 8R величина  $eA$  будет соответственно равна 0.6", 1.2", 1.5" и 2.4". Тогда можно рассчитать доверительную оценку величины  $A$  с мерой надежности 0.9 для  $n$  измеренных звезд, находящихся на данном расстоянии. В качестве примера рассмотрим результаты аналогичной экспедиции 1922 года, приведенные на рисунке выше. В этом случае имеем 1 звезду на расстоянии 2R, 3 звезды на расстоянии 4R, 4 звезды на расстоянии 5R и 6 звезд на расстоянии 8R. Тогда величина  $A$ , определенная в этом конкретном эксперименте будет находиться в доверительных интервалах  $A \pm 2.02''$  для 4R,  $A \pm 1.76''$  для 5R,  $A \pm 1.97''$  для 8R с вероятностью 0.9. Для 2R, где только одна звезда, такая оценка не может быть проведена. Для более высокой вероятности эти интервалы еще шире. Таким образом, возможна любая гипотеза о величине  $A$  в пределах этого интервала от 0 до 1.74.

Кроме того:

- В экспедиции 1922 года было обработано 15 звезд, что существенно больше, чем в экспедиции Эддингтона (5 звезд).
- Свое заключение о правильности Эйнштейна Эддингтон сделал на основании обработки одной пластинки (тут статистика бессильна).
- Измерялось не радиальное отклонение, а линейные отклонения по  $X$  и  $Y$ , а величина отклонения определялась как  $d = \sqrt{X^2 + Y^2}$ , при этом некоторые "измеренные" составляющие отклонения были совершенно ничтожные (порядка 0.1" и меньше, см. рисунок), но, тем не менее, все вектора очень удачно легли на радиусы.
- Пластинки и измеряемые звезды отбраковывались по неведомым критериям, причем "плохих" было значительно больше, чем "хороших". Это, естественно, нарушало всю статистику и, в этом случае любой математический аппарат бессилён.
- Полученная выше оценка точности хорошо совпала с результатами японской экспедиции 1936 года (Matukuma T., Onuki A., Yosida S., Iwana Y), где она составила 209%.

### Систематические ошибки

Как было показано выше, систематические ошибки (факторы 2, 4, 5, 6, 8, 9), не учтенные в данном эксперименте, превышают измеряемую величину.

### Выводы

В данном эксперименте измеряемая величина находилась глубоко под ошибками измерения. Таким образом, вывод о правильности ОТО, основанный на результатах этой экспедиции является неправомерным и принципиально не корректным.

### Основные методические ошибки эксперимента

- Отсутствие калибровки телескопа и камеры,
- Съемка опорной пластинки в другом месте,
- Использование широкоугольного телескопа,
- Использование неденситометрированных фотоматериалов низкого качества,
- Ручная, "на глаз" обработка изображений.

Самыми грубыми и принципиальными из них являются последние три. Применение широкоугольного телескопа привело к необходимости измерения крайне малых линейных величин, а сами эти измерения были выполнены варварским методом.

### Вопросы и сомнения

- Может возникнуть вопрос, а как же тогда были измерены параллаксы звезд?

Например, параллакс ближайшей звезды равен 1.6", а для более дальних звезд - еще меньше. Можно

ответить, что, во-первых, эти параллаксы до последнего времени были известны с низкой точностью, а, во вторых, они измерялись на стационарных телескопах высокого качества с набором большого статистического материала и, что самое важное, поле зрения составляло там порядка единиц угловых минут. Таким образом, требования к точности линейных подвижек были несравнимо меньше. Кроме того, большинство таких измерений проводилось прямым наблюдением, а глаз наблюдателя намного лучше фотопластинки, в частности, он частично компенсирует атмосферную экстинкцию. Например, хорошо известно, как были разочарованы астрономы первыми снимками планет. Количество разрешимых деталей упало на порядок. Например, на снимках Марса угадывались только самые крупные детали - моря и полярные шапки.

- Могут также спросить, позвольте, но ведь эта экспедиция была не единственная. Предположим, в этой были сделаны некоторые ошибки, но ведь другие экспедиции полностью подтвердили этот результат.

На это можно ответить, что, во-первых, данная статья, в основном посвящена экспедиции 1919 года. Но коротко по поводу остальных экспедиций: согласно имеющейся информации все они использовали одну и ту же методику и подобное оборудование. В связи с этим, я консультировался со специалистами, работающими в области астронавигации и прикладной астрометрии по поводу возможности использования данной аппаратуры и методики для измерения величин порядка 0.1". Ответ был однозначным - указанный прибор и методика не в состоянии не только обеспечить заявленную точность (0.17"), но просто обнаружить (даже, качественно) данный эффект, т.к. они принципиально не обеспечивают суб-секундных точностей. Вышесказанное, в большей или меньшей степени, относится ко всем фотографическим экспериментам, проведенным на стационарных телескопах или выездным с использованием данной методики. Суб-секундная точности, даже сейчас остаются сложной проблемой, например точность астрометрических данных, приведенных в "наземных" каталогах составляет чуть меньше одной секунды.

Таким образом (мое мнение) эксперимент 1919 г. и другие, использовавшие аналогичную аппаратуру и методику - совершенно не корректны и их результаты не могут служить доказательством чего-либо. При этом становится бессмысленным говорить о необходимости учета физических явлений, таких как рефракции в атмосфере Солнца (которая, кстати, может играть решающую роль в так называемом "эффекте Шапиро" - отклонении радиоволн в атмосфере Солнца, если он вообще существует) и прочих, составляющих для видимого света на высотах два и более солнечных радиусов сотые доли секунды. Инструментальные и методические ошибки эксперимента забывают их полностью.

Хороший обзор измерений "Эффекта Эйнштейна" с анализом некоторых ошибок приведен Владимиром Варгашкиным в <http://varg.amssoft.ru/page4.html>. Согласно этой статье, экспедиций измеряющих отклонение луча всего было 8 и все, кроме одной (1936 года) получили положительные результаты с очень хорошей точностью. Японская экспедиция 1936, по-видимому, не обремененная комплексами и предрассудками, была неприятным диссонансом, она дала точность измерения данной величины в 209 %, что очень похоже на правду.

- Также могут спросить, если то, что говорится в этой статье, правда, что же тогда они измеряли? Восемь экспедиций и 15 астрономов просто подделали результаты, так что ли?

На это можно ответить, что, во-первых, к японцам это не относится. Во вторых, в этих экспедициях часто фигурируют одни и те же лица (см. статью В. Варгашкина). И, конечно, они ничего не подделывали, а честно измеряли. Но что?

На фотографиях был получен набор хаотически смещенных во всех направлениях светлых пятен микронного размера - "изображений звезд". Все это напоминало психиатрический тест - "пятна Роршиха", в которых, при желании, можно увидеть все что угодно. Из всех звезд, попавших в кадр, выделяли те, которые "показывали" смещение "в правильном направлении", а другие, которые не показывали "правильного" смещения или показывали смещение в другом направлении - просто отбраковывались (бывают же ошибки измерения), при этом также отбраковывалось и большая часть пластинок. Использованная методика обработки изображений упрощала эту задачу. Критерием отбора была, конечно же, теория Эйнштейна.

- Позвольте, но ведь отклонение света гравитационным полем - проверенный астрофизиками факт! Везде пишут о гравитационном линзировании, этому посвящены статьи, диссертации. Этот эффект успешно используется при изучении галактик.

Что можно сказать по этому поводу? Астрофизика - наука наблюдений. Астрофизики имеют дело с галактиками, метagalacticкими, квазарами, Большим Взрывом. Полет фантазии здесь безграничен. Возникают и исчезают разные, самые фантастические гипотезы. Под реальные наблюдаемые явления стремятся подстроить некие физические модели, часто противоречащие друг другу. В частности, одни астрофизики говорят, что гравитация изгибает пространство, создавая гравитационные линзы, вызывающие галактические миражи, другие же говорят, что вселенная плоская и никакого изгиба нет. Вообще, они поэты, чего не могут себе позволить специалисты, работающие в прикладных областях. Например, недавно астрофизики открыли и, потом закрыли некую большую планету, вращающуюся вокруг некой звезды. Ну и что, планетой больше, планетой меньше. А вот если астронавигаторы потеряют космический аппарат стоимостью в миллионы... Сейчас астрофизики спорят о том, что было на следующий день после Большого Взрыва. Это напоминает ученый диспут богословов о том, что делал бог в первый день творения и от всего этого веет глумлым средневековым. После обнаружения темной материи и энергии, некоторые астрофизики (к сожалению, не все) наконец поняли, что они не знают ничего. Так что открытия астрофизиков нужно принимать к сведению, но они обязательно должны быть критически осмыслены, и их ни в коем случае нельзя использовать для доказательства чего-либо. Например, если линзирование существует (что тоже не очевидно), то оно может быть вызвано некими другими причинами, а не обязательно гравитацией. Например, те же астрофизики



уверяют, что темная материя образует гало вокруг галактик, а как эта материя взаимодействует со светом, не знает никто. Кроме того, пространство заполнено обыкновенным газом, который, как известно, имеет коэффициент преломления, отличный от единицы, и т.п.

### Заключение

Приведенный здесь анализ достаточно тривиален и мог быть сделан и в 1919 году еще до экспедиции. Но, по-видимому, надо было поддержать ОТО любой ценой, даже с помощью подобных методов. После Эддингтона туда потянулись и другие "экспериментаторы". Все это вместе и дает этот "эффект", который можно назвать "эффектом Эддингтона - Эйнштейна". Другими словами, основанием для триумфального шествия ОТО послужил экспериментальный результат, полученный вследствие грубейших ошибок (или прямого мошенничества, так как, думаю, они знали, что делали), введшей в заблуждение ученых (что, вообще-то, случается в науке время от времени).

Данная здесь оценка результатов не одинока, приведенный ниже абзац это подтверждает (выделено автором).

...Eddington was one of the first to appreciate the importance of Einstein's theories of special and general relativity, and published a treatise on the subject. He led an expedition to observe the total solar eclipse of 1919, in which the bending of light rays predicted by general relativity was observed

**(although it was later shown that the uncertainties were too large to make any definitive statement).**

"Эддингтон был одним из первых, кто оценил важность Специальной и Общей Теории Относительности Эйнштейна и который опубликовал статьи на эту тему. Он руководил экспедицией которая наблюдала полное солнечное затмение 1919 года, в котором было зарегистрировано

отклонение луча света, предсказанное Общей Теорией Относительности **(ХОТЯ, позднее было показано, что неопределенности были настолько большие, что это не позволяло сделать какое-либо определенное заключение).**" (перевод Г. И.)

*Author: Eric W. Weisstein*

Кстати, о лорде Эддингтоне, он не был нейтральным экспериментатором, а являлся в то время одним из главных релятивистов, внесшим большой вклад в развитие ОТО. Уверяют, что он был настолько увлечен ОТО (тогда очень модной, революционной теорией), что говорили, что если он не получит положительный результат в этой экспедиции, то может застрелиться. Как видим, этого не произошло.

## Послесловие

С момента написания этой статьи случились два важных события в области подтверждения Общей Теории Относительности.

Одним из них явилось "измерение скорости распространения гравитации", выполненное российским ученым Копейкиным в США на Большом Радиоинтерферомере. Этот прибор представляет собой связанную систему разнесенных радиотелескопов и теоретически имеет точность порядка миллисекунды дуги. Измерялось отклонение волнового фронта радиоизлучения квазара при прохождении его рядом с Юпитером. Принимая во внимание, что измеряемая величина была меньше миллисекунды дуги, угловой размер квазара - порядка секунды дуги, а также форму квазара, напоминающую вытянутую кляксу с двумя центрами излучения, то в научном сообществе поднялся скандал. Даже ортодоксальные релятивисты поняли, что их просто "разводят". Копейкин долго извинялся, говоря, что он только теоретик, а результат измерений был ему предоставлен неким шведским радиоастрономом, который и проводил измерения. Скандал замаяли.

Другим событием явилось "измерение закручивания пространства Землей". Данные измерения были проведены двумя итальянскими учеными на основе отклонения положения двух спутников. Они обнаружили, что спутники переместились вперед по орбите за год на 3 метра, что "с точностью 90% совпадает с предсказаниями теории Эйнштейна". Некоторые неверующие специалисты высказали сомнение, но особо громкого скандала не вышло, а зря. Кстати, недавно аппарат Mars Express обнаружил, что Фобос сместился на 5 километров по орбите за последние 10 лет. Они, почему-то, объяснили это обычным торможением, а могли бы и применить теорию Эйнштейна.

Сейчас на подходе еще один "эксперимент по подтверждению" - недавно была запущена серия спутников с полостями внутри, в которых в невесомости плавают шары. Так вот, в соответствии с теорией (Эйнштейна, конечно же) эти шары должны сместиться в некоем направлении. Тут можно, конечно, заметить, что измерять подобные эффекты на околоземной орбите, это то же, что устанавливать сейсмометр на грузовике, едущем по проселочной дороге - неоднородности гравитационного поля Земли должны полностью забить ожидаемый эффект, тем более, что точной карты этих неоднородностей нет. Но, я уверен, будет получен положительный результат, "с точностью 90% совпадающий с предсказанным".

Так вот, что странно, все еще продолжают проводиться эксперименты "по подтверждению", причем, в последнее время они что-то участились. Казалось бы, чего тут еще проверять, теория полностью подтверждена. Но, видимо, беспокойно что-то на душе у простого релятивиста. Результаты этих экспериментов всегда "подтверждают правоту теории", что опять дает им необходимый душевный покой.

Кроме того, по поводу смещения перигелия Меркурия, так смутившего Эддингтона. В те далекие времена считали, что центр вращения Солнца и всей солнечной системы совпадает с геометрическим центром Солнца, что, оказалось, не соответствует действительности.

[new-idea.kulichki.net](http://new-idea.kulichki.net)

Возврат



Реклама в Интернет