

# ФОТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КОРОМЫСЛА КРУТИЛЬНЫХ ВЕСОВ

Пугач А.Ф., Медведский М.М.

## Резюме

Изготовлено и в реальных условиях астрономических наблюдений опробовано Ф/Э устройство, позволяющее в автоматическом режиме с разными временами дискретизации отсчетов определять относительное угловое положение коромысла миниатюрных крутильных весов и сохранять результаты в компьютере.

В период с 8 по 13 сентября с устройством были проведены научные измерения, захватившие момент частного солнечного затмения, состоявшегося 11 сентября 2007 г. Эти наблюдения объективно подтвердили факт изменения положения коромысла в момент затмения, ранее установленный только лишь при визуальной регистрации аналогичного явления разными наблюдателями.

## Резюме

Виготовлен і в реальних умовах астрономічних спостережень випробуван Ф/Е пристрій, що дозволяє в автоматичному режимі визначати відносно кутове положення коромисла мініатюрних крутильних вагів і зберігати результати в комп'ютері кожну секунду. У період з 8 по 13 вересня з пристроєм були проведені наукові спостереження, що захопили момент приватного сонячного затемнення, що відбулося 11 вересня 2007 р. Ці спостереження об'єктивно підтвердили факт зміни положення коромисла у момент затемнення, раніше встановлений тільки при візуальній реєстрації аналогічного явища різними спостерігачами

An automatic photoelectronic device for torsion balance scale is created. It allows for registration of angle position of balance scale beam avoiding a direct mechanical contact with beam itself. The moving unit of the scale is very light consisting of thin cellulose bar and a lead counterbalance suspended on a 40  $\mu\text{m}$  silk fibre. Total mass of moving unit is not more than 0.5 g. Sixty four photodiodes subjacent the beam continuously register position of beam shadow which is generated by a peak falling light flow. A computer program calculates angle beam position and save the data and time point of measurement.

A continuous observations were performed spanning 8 to 13 of September, 2007 using this device. On September 11 when the total solar eclipse have taken place the apparatus have registerd a drastic responce, the beam turning clockwise over 50 degrees. The beam rotation occures between the moment of eclipse maximal phase and the moment of geocentric conjunction on Right Assention.

This measurement have objectively supported the results of previous visual observations indicating the specific reaction of a torsion balance beam at thr moments of solar and lunar eclipses.

## ВВЕДЕНИЕ

Крутильные весы (КВ) применяются в физических исследованиях с 18 века, когда в 1785 году французский физик Ш. Кулон, пользуясь ими, установил названный его именем закон взаимодействия электрических зарядов. С помощью крутильных весов английским физиком Кавендишем в самом конце того же века было определено значение мировой гравитационной постоянной. Этот исключительно чувствительный прибор эффективно используется и в наше время для уточнения константы  $\gamma$ , но для повышения точности результатов используются весы со все большими значениями гравитирующих масс. Так, в одном недавнем швейцарско-американском эксперименте по уточнению величины  $\gamma$  подвижная часть весов состояла из цистерны с ртутью массой около 16 тонн (!) [3].

В противоположность этому, крутильные весы (КВ), используемые в ГАО, чрезвычайно легкие. Автоматизировать процесс регистрации положения коромысла КВ и определить угол поворота коромысла в горизонтальной плоскости довольно сложно, поскольку к нему невозможно подсоединить обычно применяемые датчики (сельсины, электрические или механические датчики). Даже идея мобильного зеркальца с посылаемым на него коллимированным световым лучом, по отражению которого можно было бы судить о повороте коромысла, оказалась мало плодотворной, поскольку световой импульс луча, посылаемого на зеркальце, в разных положениях создает разный крутящий момент, который трудно учесть.

В распоряжении авторов имелись две перспективные идеи: либо с помощью WEB-камеры экспонировать отсчетный лимб прибора со спроектированным на него изображением коромысла, а затем полученные в автоматическом режиме изображения расшифровывать и определять положение коромысла, либо использовать помещенную под коромыслом матрицу фотодиодов для определения положения тени от коромысла, создаваемой вертикальным световым пучком. Преимущество первого способа состоит в том, что при частоте 25 Гц он позволяет определять угол с точностью **лучше** одного градуса. Недостатки: - сложность подключения к одному компьютеру нескольких камер, а также необходимость в использовании громоздкого программного обеспечения. Авторы избрали второй вариант. Его преимущества: - простота в изготовлении, простое программное обеспечение, практически неограниченное количество подключаемых весов на один компьютер. Недостаток – невысокая точность определения угла ( $360/n$ , где  $n$  – количество используемых фотоприемников). Однако это ограничение не является принципиальным: увеличивая количество фотодиодов можно повысить точность во много раз. В нашем же случае, использование широкой стрелки позволяет вдвое увеличить точность при одном и том же количестве фотоприемников, т.е.  $360/2$  п.

## ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Подробное описание крутильных весов и их специфических особенностей можно найти в работе [1], в которой представлены результаты наблюдений нескольких солнечных затмений в ГАО НАНУ.

Поскольку все эти наблюдения проводились с участием наблюдателей, визуально отсчитывающих угловое положение коромысла весов, в окончательном результате присутствовал так называемый «человеческий фактор», а сами наблюдения нельзя было назвать 100% объективными. По этой причине решено было создать **электронное** устройство для автоматической и объективной регистрации положения коромысла весов в горизонтальной плоскости.

Описываемые КВ представляют собой тонкую соломинку длиной около 11 см, подвешенную на нити из кокона тутового шелкопряда. Диаметр нити около 40 мкм. Масса их подвижной части менее 0.5 г. Подвес не симметричен: на коротком плече коромысла подвешен небольшой свинцовый противовес, длинное плечо свободно. Коэффициент асимметрии приближается к значению 30. Вся подвижная часть помещена внутрь стеклянного сосуда прямоугольной формы, ребра которого, с целью герметизации, обработаны силиконовым герметиком и дополнительно проклеены скотчем. На нижней квадратной грани сосуда, по кругу, центр которого совпадает с центром квадрата и с центром подвеса нити коромысла, расположены 64 фотодиода, угловое расстояние между ними составляет 5.62 градуса (рис. 1).

Сверху над подвижной частью прибора находится источник света. Его вертикальное расположение исключает появление дополнительного момента силы, который влиял бы на положение коромысла в горизонтальной плоскости. Ширина тени коромысла выбрана такой, чтобы она была немного больше двойного линейного расстояния между центрами фотодиодов, уменьшенного на величину диаметра фотодиода. В этом случае тень коромысла при своем круговом движении либо полностью перекрывает апертуру одного

фотодиода, либо по частям проецируется на два соседних фотодиода. В этом случае анализируя количество затененных фотодиодов, можно увеличить разрешающую способность прибора в два раза. Это обстоятельство учитывается в дальнейшем при обработке результатов измерений.

### Электронная часть

Блок-схема прибора представлена на Рис.2.

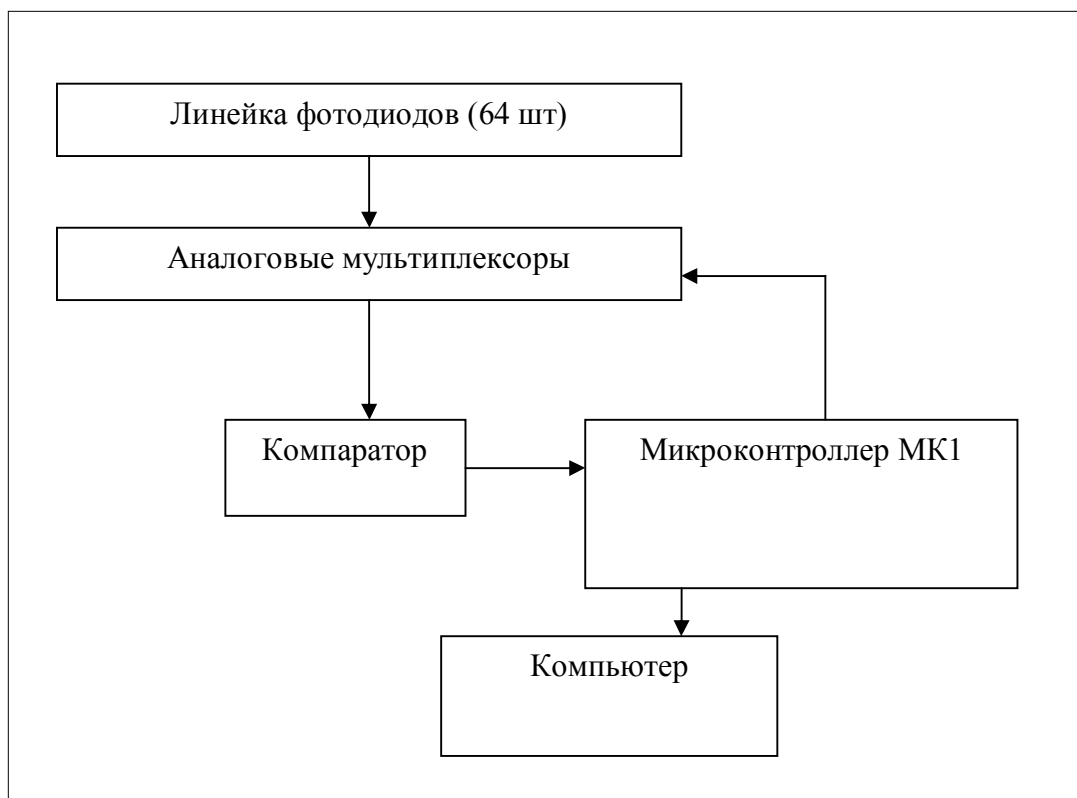


Рис.2 Блок-схема электронной части

Работает измерительный модуль следующим образом:

- микроконтроллер МК1 переключает поочередно сигнал фотодиодов на вход компаратора;
- определяется порядковый номер первого затененного фотодиода;
- определяется количество затененных фотодиодов (1 или 2)

- номер фотодиода и количество затененных диодов выдается на внешний порт устройства;

- компьютер, подключенный к этому порту, читает информацию и декодирует в реальный угол.

- компаратор формирует сигнал стандартной амплитуды (ТТЛ), необходимый для фиксации номера затененного фотодиода микроконтроллером.

Весь цикл измерения занимает время около 70 мс. Таким образом имеется возможность определять положение стрелки КВ с частотой до 10 Гц.

Использование микроконтроллера в схеме измерения угла позволяет подключить к одному компьютеру практически любое количество аналогичных приборов! Это обстоятельство играет немаловажную роль в вопросе объективизации итогов наблюдений. Дело в том, что для исключения влияния специфических особенностей индивидуальных крутильных весов наблюдения затмений до сих пор велись визуально одновременно с несколькими приборами. Теперь есть возможность поставить одновременные объективные наблюдения на нескольких приборах сразу.

Период считывания информации в компьютер задается программно (не чаще 10 Гц). В выходной файл записывается момент времени (используется компьютерная шкала времени), в который произведено измерение, и значение угла.

Для удобства настройки системы и повышения ее стабильности был минимизирован рассеянный свет внутри прибора. Внутренние поверхности покрывались черной бумагой, а между набором фотодиодов и источником света дополнительно устанавливались кольцевые и круговые диафрагмы для уменьшения рассеянного света.

## **ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА**

С целью проверки работоспособности и надежности регистрирующей системы прибора в период с 10 по 12 сентября в ГАО НАНУ были проведены научные наблюдения с помощью КВ, снабженных Ф/Э регистрирующим устройством. Прибор был установлен на 4-м техническом этаже административного здания ГАО вдали от людей и работающих приборов, однако в непосредственной близости от крутильных весов находился компьютер, обслуживающий их работу.

Результаты измерений приведены на рис.3. По оси абсцисс отложено киевское время (в часах) и указаны даты, а по оси ординат отложен отсчет по круговой градусной шкале, на который указывал длинный конец коромысла. Нуль-пункт отсчетного устройства ориентировался на Юг. Из рисунка следует, что на протяжении длительного времени, приблизительно до 12 часов 11 сентября колебания коромысла характеризовались незначительными флуктуациями в пределах  $105^{\circ}$ – $115^{\circ}$ . Затем последовало значимое уменьшение угла на  $25$ – $30^{\circ}$  и возврат к прежнему положению (предваряющий минимум), что в общей сложности заняло около 3.5 часа. А приблизительно в 16 ч 10 м произошел резкий скачок коромысла на  $54^{\circ}$ , после чего состояние КВ не изменялось на протяжении более чем 7.5 часов. Таким образом, 11 сентября 2007 года в интервал времени

продолжительностью около 4-х часов прибор зарегистрировал значительные колебания коромысла с амплитудой в несколько десятков градусов.

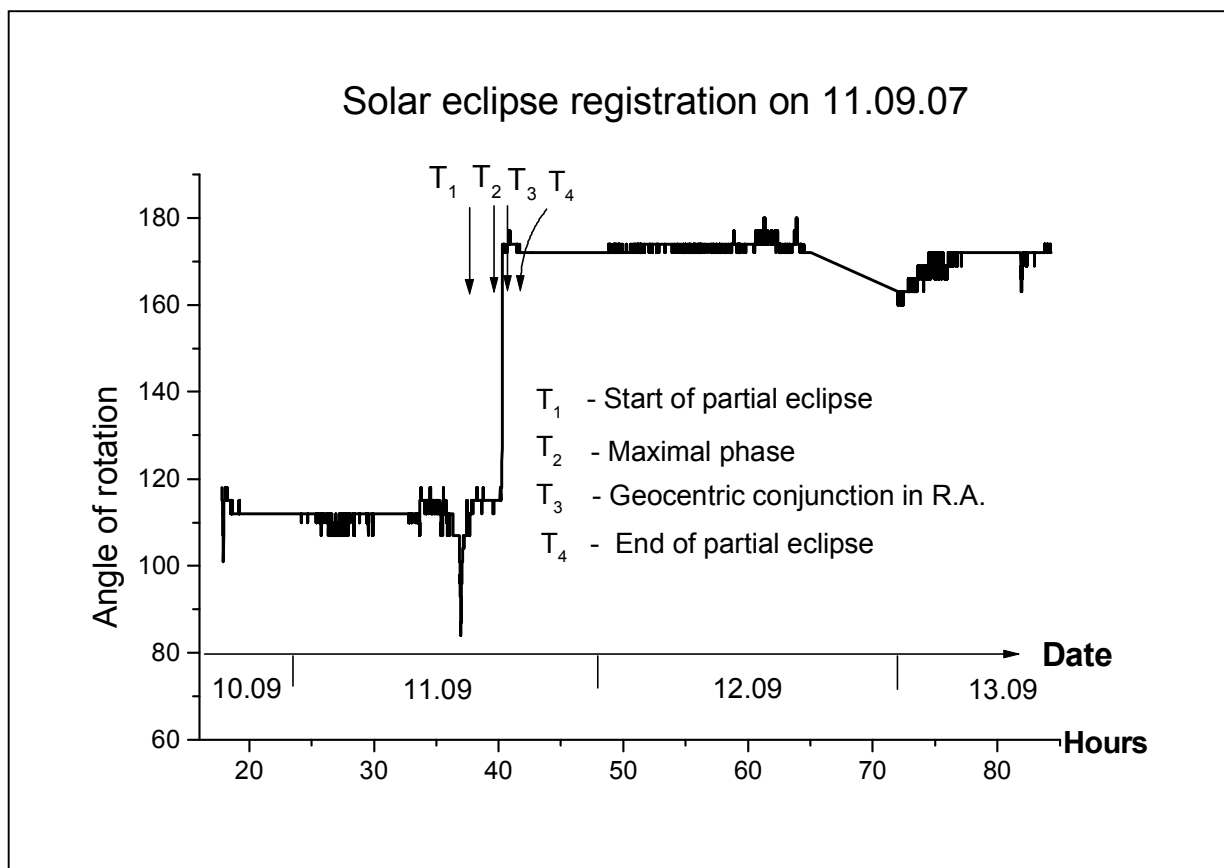


Рис.3. Суммарный результат измерений в период с 10 по 13 сентября

Анализировать и интерпретировать эти результаты было бы очень сложно, если бы не имеющийся опыт предшествующих наблюдений с крутильными весами в ГАО НАНУ. Как следует из работы [4], КВ четко реагируют на солнечно-планетные конфигурации. В моменты солнечных и лунных затмений, в какой бы части земного шара они ни происходили, КВ отвечают резким и значимым изменением ориентации коромысла, независимо от того, видимо ли или не видимо данное затмение в месте установки КВ.

Исходя из этой предыстории, можно анализировать поведение коромысла прибора 11 сентября 2007 года. В этот день действительно имело место частное солнечное затмение, наблюдаемое в Южной Америке и в южной части Атлантики. Его параметры таковы:

- T1 -- начало частного затмения в 13 ч 25 м 46 с (время – киевское);
- T2 – максимальная фаза затмения в 15 ч 31 м 21 с;
- T3 – соединение по прямому восхождению в 16 ч 42 м 43 с;

T4 – конец частного затмения в 17 ч 36 м 33 с.

На рис. 2 критические моменты T1, T2, T3 и T4 показаны стрелками. Очевидно, что основное значимое изменение положения стрелки коромысла произошло в интервал времени, ограниченный моментами T1 – T4, причем момент основного скачка в показаниях весов был очень близок к моменту T3 – моменту соединения Солнца и Луны по прямому восхождению. Характерно также то, что предваряющий минимум наступил до момента T1. Такие опережающие экстремумы регистрировались нами ранее почти во всех наблюдениях затмений.

Поскольку в работе данного устройства предусмотрен режим записи отсчетов каждую секунду, представляет интерес рассмотреть характер быстрого движения коромысла в фазу его наибольшего углового перемещения. На рисунке 4 представлен увеличенный фрагмент регистрограммы, отражающий поведение коромысла только в фазу его наибо́льшего движения.

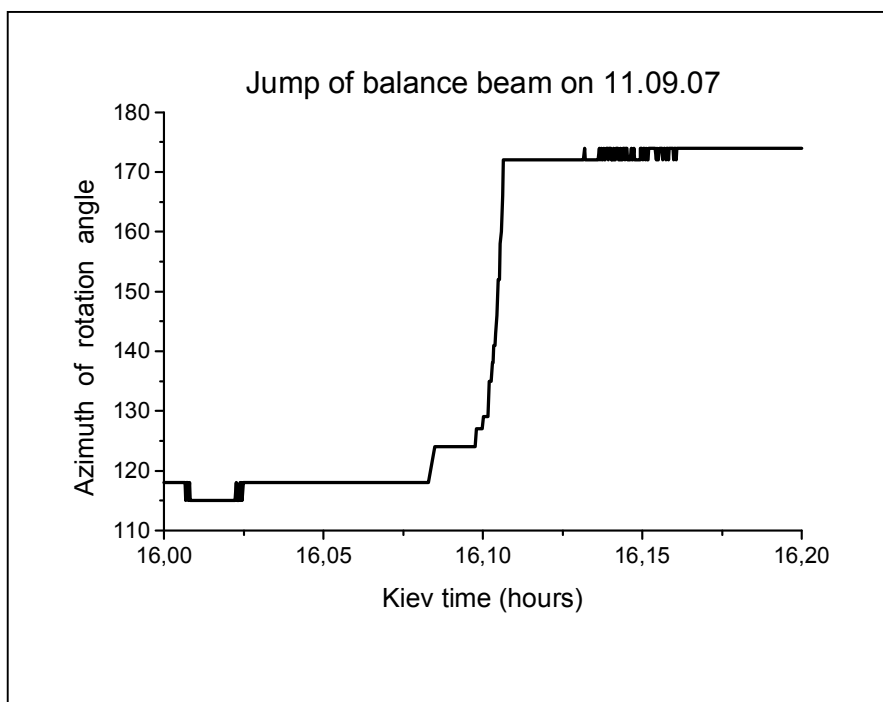


Рис. 4 . Резкое изменение положения коромысла весов в период между максимальной фазой затмения и соединением Солнца и Луны по прямому восхождению

Из рисунка четко следует, что весь процесс изменения положения коромысла на  $54^\circ$  занял всего 79 секунд. Такое быстрое движение коромысла прибора зарегистрировано впервые, хотя это совсем не означает, что подобные скачки отсутствовали в наших прежних наблюдениях. Дело однако в том, что при визуальных измерениях, которые были единственным методом регистрации до сих пор, такие быстрые движения оцифровать просто невозможно.

Таким образом, опробованная нами в реальных условиях научных наблюдений схема фотоэлектронной регистрации показаний КВ проявила свою работоспособность, надежность и объективность.

## **ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

1. Полученный с помощью Ф/Э устройства результат дал возможность подтвердить ранее полученный вывод о том, что в моменты солнечных затмений стрелка крутильных весов испытывает какие-то пока не понятные воздействия, заставляющие ее менять положение в пространстве. В данной статье мы не обсуждаем ни причины, ни механизм указанных воздействий. Цель данной публикации показать, что колебания коромысла крутильных весов во время солнечных затмений не связаны с присутствием наблюдателя, а являются отражением каких-то объективно существующих в природе сил и взаимодействий. Именно это показали измерения с использованием Ф/Э регистратора.

2. Тот факт, что большое по амплитуде и почти мгновенное изменение положения коромысла совпало по времени в тот день и в тот час, когда наблюдалось соединения Солнца и Луны по прямому восхождению, скорее всего указывает на то, что причина такой реакции КВ имеет астрономическую природу и связана с планетно-солнечными конфигурациями. Этот же вывод был получен из анализа наших предшествующих наблюдений. Необъяснимым пока остается факт **запаздывания почти на 40 минут резкой реакции весов относительно момента максимальной фазы затмения.**

3. Сравнение результатов настоящих наблюдений с результатами предшествующих обнаруживает одно интересное обстоятельство, которое следует оговорить особо. Наши прежние визуальные наблюдения показывали, что коромысло КВ очень редко находится в неподвижном состоянии. КВ настолько чувствительны к внешним воздействиям, что их показания почти все время меняются с характерным временем десятков минут или часов. Причины этих флуктуаций многочисленны: это и температурные изменения окружающей среды, изменения внешних электрических и магнитных полей, присутствие поблизости работающих компьютеров, людей, массивных скоплений металла, экранирование электропроводящими средами и многое другое, что пока не поддается анализу и учету. Именно высокая чувствительность КВ ко многим внешним факторам приводит к тому, что их показания почти все время меняются. Но как следует из рис. 2, в наших наблюдениях имеются отдельные фрагменты, где отсчеты КВ оставались неизменными на протяжении многих часов.

Этот факт можно интерпретировать с тех позиций, что присутствие рядом с КВ компьютера и работающей электронной аппаратуры создает сильный сигнал-пьедестал, который забивает другие шумовые факторы и удерживает положение коромысла в одном положении. И только лишь появление сильнее импульса во время солнечного затмения, намного превышающего по амплитуде сигнал-пьедестал, выводит весы из кажущегося равновесия.



Если дело обстоит именно так, то дальнейшая работа по усовершенствованию системы Ф/Э регистрации будет направлена на снижение интенсивности сигнала-пьедестала до уровня, обеспечивающего адекватную регистрацию других сигналов.

Наблюдения солнечно-лунных затмений с целью изучения механизма их влияния на крутильные весы представляется исключительно перспективным направлением в науке, поскольку такие наблюдения дают принципиально новую информацию, которая в настоящее время пока не находит адекватного объяснения. Спектр воздействий солнечно-лунных конфигураций на физические приборы не ограничивается только их влиянием на КВ. Более полувека назад нобелевский лауреат по экономике француз М. Алля обнаружил, что во время полного солнечного затмения изменяется период колебания физического маятника, подвешенного на тонкой стальной проволоке длиной около метра [2]. В конце прошлого века группа китайских исследователей установила, что во время полного солнечного затмения скачком изменяется разность хода нескольких пар атомных часов, установленных вдоль полосы полного солнечного затмения 1992 года [4]. Эти факты указывают на существование новых, не изученных взаимодействий в природе. Одним из средств их исследования служат наблюдения с помощью крутильных весов. До сих пор наблюдения с КВ не были полностью объективными, поскольку ввиду сложности автоматизации измерений наблюдения основывались на визуальном снятии отсчетов. Этот метод, во-первых, страдал некоторым субъективизмом и, кроме этого, давал несколько искаженные результаты именно из-за присутствия самого наблюдателя. Во-вторых, большую сложность представляла организация длительных по времени наблюдений с привлечением большого количества наблюдателей, особенно в ночное время.

Использование Ф/Э регистрирующего устройства описываемого типа позволит избежать этих трудностей и повысить достоверность измерений.

## ВЫВОДЫ

Разработано и изготовлено действующее устройство, позволяющее непрерывно на протяжении неограниченного времени регистрировать положение коромысла крутильных весов. Полная независимость от наблюдателя, возможность снимать угловые отсчеты в пределах  $\pm 2\pi$  и возможность работать с разной частотой снятия отсчетов (от 3600 до 360 отсчетов в час) позволяют регистрировать как медленные, так и быстрые колебания коромысла, что делает такой прибор полезным и информативным инструментом исследования новых видов взаимодействий, обусловленных изменением солнечно-планетных конфигураций. Небольшая точность снятия отсчетов ( $\pm 2.81^\circ$ ) не является принципиальным недостатком, поскольку амплитуда регистрируемых колебаний обычно составляет десятки градусов, что видно из приведенных выше рисунков.

Работа описываемого устройства в реальных условиях позволила объективно зарегистрировать факт изменения положения коромысла КВ в дату полного солнечного затмения в сентябре 2007 года и тем самым независимо подтвердить то, что было

известно из визуальных наблюдений за поведением крутильных весов в моменты других солнечных и лунных затмений.

Кроме этого, зарегистрирован факт очень быстрого вращения коромысла с угловой скоростью около 0.7 градуса в секунду, что со всей очевидностью показывает преимущества инструментальных наблюдений перед визуальными.

Полученные данные пополняют фактологическую базу, относящуюся к проявлению сверхслабых взаимодействий в природе.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пугач А.Ф., Медведский М.М., Перетятко Н.Н. и др. Первый опыт наблюдений солнечного затмения с помощью миниатюрных крутильных весов // КФНТ – т. 24, №2, -- с. , 2008.
2. Allias M.F.C. Mouvement du pendule paraconique et eclipse totale de Soleil du 30 juin 1954 // C.R.Acad. Sci.- v.245.- p. 2001, 1957
3. F. Notling, J. Schurr, St. Schlamminger et al. Determination of the gravitational constant G by means of beam balance // Europhysics News, v. 31, n 4, 2000.
4. Zhou S.W., Huang B.J., Ren Z.M. The abnormal influence of the partial solar eclipse on December 24<sup>th</sup>, 1992, on the time comparison between atomic clocks // IL NUOVO CIMENTO, v. 18C, n.2, p. 223-236, 1995.

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1. Общий вид приемной части крутильных весов (регистрирующая часть не показана). На этом рисунке тень от лепестка, укрепленного на коромысле весов, отклонена в сторону из-за условий солнечного освещения. В рабочих условиях свет падает строго сверху.

Рис.2 Блок-схема электронной части

Рис.3. Суммарный результат измерений в период с 10 по 13 сентября

Рис. 4 . Резкое изменение положения коромысла весов в период между максимальной фазой затмения и соединением Солнца и Луны по прямому восхождению