

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА
ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА**

Курсовая работа

Определение вращения Солнца

Выполнил: студент 4-курса Гайнетдинов Азамат

Ташкент - 2012

План:

- 1. Введение**
- 2. Методы определения вращения Солнца;**
- 3. Что такое вращение Солнца?**
- 4. Дифференциальное вращение солнечной фотосферы;**
- 5. Вращение поверхности Солнца по крупным (фоновым) магнитным полям;**
- 6. Изменение скорости вращения в атмосфере.**
- 7. Литература**

Введение

Определить скорость вращения Солнца - это значит узнать на наблюдений, с какой скоростью вращаются различные слои Солнца, детали и образования на его поверхности. Обычно скорость вращения выражается в угловой мере (градус/сутки) и линейной (км/сек). Употребляют понятие периода вращения, приводя количество суток, в течение которого Солнце совершает полный оборот.

Длительные и трудоемкие наблюдения завершались обычно выводом эмпирических формул, описывающих зависимость угловой скорости от гелиографической широты. Наиболее известной и распространенной до сих пор является формула, имеющая вид

$$\omega(\varphi) = A + B \sin^2 \varphi, (1)$$

где φ - гелиографическая широта; A - значение экваториальной скорости вращения Солнца; B - коэффициент, определяющий, как быстро убывает с ростом широты угловая скорость вращения, т. е. он является мерой дифференциальности вращения. Эта формула была впервые получена французским астрономом Фаем и носит его имя. Коэффициенты A и B могут быть различными для разных образований солнечной атмосферы, по которым определяется скорость вращения Солнца. Даже для одних и тех же образований, например, солнечных пятен, значения коэффициентов в формуле Фая будут отличаться, если использованы различные временные ряды наблюдений.

Существует много способов исследования вращения Солнца. Все они сводятся к двум основным методам его измерения:

1) по смещению со временем различных образований солнечной атмосферы (трассеров), таких, как солнечные пятна, факелы, волокна, крупно- и мелкомасштабные магнитные поля, образования в зеленой и электронной коронах, проявления в радиоизлучении и т. д.;

2) по доплеровским сдвигам отдельных спектральных линий в спектре Солнца в различных точках диска или его края (лимба). Этот метод называется спектральным. Информация, полученная из наблюдения трассеров, может быть проанализирована также двумя различными путями, а именно:

а) вычислением ежедневных смещений отдельных образований на солнечном диске;

б) статистическим анализом серии временных данных.

При использовании первого способа можно получить непосредственно угловую скорость, второго - объяснить основные

периоды вращения Солнца для различных широт. Во всех этих методах есть свои достоинства и недостатки. Например, большие трудности возникают при определении скорости вращения по трассерам, так как скорости вращения и вид кривой дифференциального вращения зависят от вида трассера. Предполагается, что они связаны с подповерхностными слоями, которые вращаются с большей скоростью. Таким образом, трассеры не обязательно отражают движение того слоя атмосферы Солнца, которому они принадлежат. К этому следует добавить, что все образования солнечной атмосферы имеют тенденцию менять свою форму и вообще разрушаться со временем, что неизбежно отражается на значении искомой величины.

Спектральный метод, дающий линейную скорость вращения, имеет свои недостатки, в основном методического и технического характера.

Что такое вращение Солнца?

Вращение поверхности Солнца. Солнцу присуще вращение, как и многим звездам во Вселенной. При современной технике наблюдений у звезд солнечного типа может быть определена экваториальная скорость только более 5 км/сек. Скорость же вращения Солнца на экваторе ~2 км/сек, следовательно, она не может быть обнаружена из какой-либо иной планетной системы, кроме нашей собственной. Самые массивные звезды главной последовательности класса O, B, A и ранние F могут иметь среднюю скорость вращения на два порядка большую. У некоторых звезд подобного типа скорость вращения, определенная по эмиссионным спектральным линиям H и K ионизованного кальция, уменьшается с возрастом звезды. Можно привести такой пример. Было показано, что интенсивность эмиссий в этих линиях меняется обратно пропорционально квадратному корню из ее возраста. Этот вывод получен из наблюдения Солнца и звезд класса G в скоплениях Гиад, Плеяд и Большой Медведицы. Экстраполируя известную для Солнца пропорциональность между интенсивностью излучения в этих линиях и напряженностью поверхностного магнитного поля, исследователи однозначно приходят к выводу, что магнитное поле пропорционально скорости осевого вращения звезды и меняется обратно пропорционально корню квадратному из времени ее эволюции.

Внутреннее вращение Солнца. Пока что астрономы не имеют возможности непосредственно измерить вращение внутренних областей Солнца. Однако некоторые косвенные способы для этого есть. Например, не так давно была обнаружена незначительная сплюснутость солнечного диска. Из измерений этой сплюснутости делается вывод, что "внутреннее" Солнце, включая и конвективную зону, возможно, вращается в 20 раз быстрее, чем поверхностные слои. Такая интерпретация измерений

сплюснутости и теоретические выводы, сделанные на основе этих измерений, весьма важны, и они вызвали среди гелиофизиков очень острую полемику.

Предметом дискуссии являются два положения - реальна ли наблюдаемая геометрическая сплюснутость Солнца или же этот наблюдаемый факт отражает изменение температуры с широтой в солнечной атмосфере. Для расстановки точек над "i" в затянувшейся дискуссии в нескольких обсерваториях были проведены на чувствительных приборах измерения, которые показали реальность сплюснутости. Проведен ряд исследований, различия температуры между полюсом и экватором - они не противоречат данным о сплюснутости. Но и в тех и других измерениях есть свои подводные камни. Например, проблема вклада ярких образований на поверхности Солнца, в особенности факелов, может радикально сказаться на результатах измерений разницы температур между полюсом и экватором.

Если наблюдения показывают сплюснутость, то это означает, что в данном случае действуют процессы, происходящие внутри Солнца. В таком случае можно предположить лишь наличие твердотельного внутреннего вращения, что может быть подходящей причиной геометрической сплюснутости, причем она намного предпочтительнее, чем, например, сильнейшее внутреннее магнитное поле. Недавно предложен новый метод измерений дифференциального вращения и характеристик конвективной оболочки до глубины 20 тыс. км ниже фотосферы. Метод основан на использовании факта существования в конвективной оболочке различных нерадиальных колебаний.

Теоретические дискуссии о динамике внутреннего Солнца будут разрешены со временем. Пока же на эти вопросы нет окончательного ответа, и эта проблема вызывает множество точек зрения по теории солнечного и звездного вращения.

Дифференциальное вращение солнечной фотосферы

Для определения скорости вращения атмосферы Солнца используются как спектральный, так и метод "трассеров". Однако поскольку скорость вращения атмосферы невелика, то ошибки измерений существенно влияют на ее точность. Например, шкала скоростей грануляции и отдельных супергранул соизмерима с величиной скорости вращения Солнца. Есть еще ряд всевозможных источников ошибок, таких как, например, красное смещение к краю солнечного диска, барометрические изменения, рассеяние света, изменение профилей спектральных линий и т. д. Все это необходимо учитывать при изучении скорости вращения Солнца по доплеровским сдвигам.

Трассеры также являются далеко не идеальными объектами для получения значений скорости. Во-первых, как уже отмечалось, они не

обязательно показывают движение того слоя атмосферы Солнца, которому они принадлежат. Во-вторых, например, солнечные пятна, хотя и связаны со средой, в которой они существуют (с фотосферной плазмой), сильно, тем не менее они имеют собственные движения. В-третьих, образования солнечной атмосферы, которые берутся в качестве реперов, меняют свою форму и разрушаются со временем, что затрудняет отождествление их деталей день ото дня. Все это увеличивает ошибки при определении значений скорости вращения.

Вращение фотосферы по доплеровским сдвигам. Значения скоростей дифференциального вращения Солнца по измерениям доплеровских сдвигов спектральных линий получены многими исследователями. Не будем приводить историю исследования дифференциального вращения Солнца спектроскопическим методом, а сконцентрируем внимание на наблюдениях, проведенных в последнее время.

Современная электронная техника позволяет обнаружить поле скоростей на поверхности Солнца с точностью до ~ 5 м/сек. В качестве примера приведем уникальные наблюдения вращения Солнца спектроскопическим методом, проведенные на 45-метровом солнечном башенном телескопе обсерватории Маунт Вилсон (США). Наблюдения проводятся ежедневно с 1967 г., когда позволяют погодные условия. Измерения ведутся в 24 тыс. точках солнечного диска. Каждой точке соответствует сигнал скорости, который представляет собой скорость фотосферы, наблюдаемой в крыльях спектральной линии нейтрального железа с длиной волны $\lambda 5250,2 \text{ \AA}$. Ход наблюдений Солнца вводится в ЭВМ, которая делает всевозможные эффемеридные коррекции (поправки с учетом вращения Земли вокруг Солнца, Земли вокруг своей оси и т. д.) и обрабатывает данные, аппроксимируя их на первом этапе формулой

$$\omega(\varphi) = A + B \sin 2\varphi + C \sin 4\varphi. \quad (2)$$

Из результатов измерений 5 107 сдвигов этой линии за 5570 дней с января 1967 г. по настоящее время сделан вывод, что дифференциальное вращение, описываемое выражением (2), меняется со временем. Изменения составляют в среднем 10-20% без какой-либо временной закономерности. Отдельные значения скорости пока бывают, что в некоторые дни Солнце на экваторе вращается со скоростью, присущей высоким широтам.

Временные вариации скорости вращения Солнца были обнаружены почти одновременно с началом измерений скорости спектроскопическим методом. Природа этих временных флуктуаций вращения Солнца еще не ясна. Широкие программы по исследованию этих явлений только начинают реализовываться с привлечением крупнейших солнечных телескопов и большого интервала длин волн.

Вращение Солнца, определяемое по солнечным пятнам. В начале 60-х годов нынешнего столетия начались планомерные регулярные наблюдения солнечных пятен с целью определения по ним скорости вращения Солнца. Эти наблюдения показали, что различные типы пятен дают разные значения скорости. Например, экваториальная скорость больше и профиль графика дифференциального вращения $\omega(\varphi)$ "круче" для солнечных пятен мелких размеров и для пятен с более асимметричными формами. Небольшие группы пятен двигаются в среднем на 2% быстрее, чем большие группы. Очень растянутые по долготе группы движутся быстрее, чем одиночные пятна. Средние значения скоростей вращения для разных типов пятен показывают значительное их различие в зависимости от времени наблюдения, широты и долготы этих образований. Пятна с большей угловой скоростью вращения имеют заметную тенденцию перемещаться к экватору, пятна же с медленным вращением дрейфуют к полюсам (или не так сильно движутся к экватору). Все это вызвано, вероятно, наличием вихревых движений или ячеек, которые увлекают своими действиями пятна. Если принять такую схему, то можно построить механизм для создания и поддержания экваториального ускорения вращения Солнца. Если еще учесть величины этих перемещений пятен, то нужно иметь мощный механизм торможения вращения на широтах, где образуются солнечные пятна королевской зоны.

С учетом этого механизма дифференциальное вращение по величине должно быть в несколько раз больше того, которое наблюдается. Интерпретация связи движения пятен со скоростью вращения вызвала большую и принципиальную дискуссию среди гелиофизиков то ли этот эффект обусловлен реальными движениями пятен, или же это соединенные случайным образом всевозможные флуктуации размеров и форм пятен с их собственными движениями. Вопрос до сего времени остается открытым.

Из проведенных в последнее время исследований вращения Солнца по наблюдению солнечных пятен можно вывести следующее:

1. Значения скоростей, определенных по пятнам, примерно на 4% выше таковых, найденных спектроскопическим методом.
2. Кривая зависимости вращения Солнца от широты в свою очередь зависит от возраста, площади, стабильности и рекуррентности (повторяемости) пятна в течение более одного оборота Солнца) трассеров.
3. Скорость и дифференциальность вращения обладают северо-южной асимметрией, вид зависимости $\omega(\varphi)$ для северной и южной полусфер Солнца различны.
4. Значения угловой скорости и дифференциальности вращения зависят от фазы 11-летнего цикла солнечной активности.
5. Существуют коротко- и долговременные нерегулярные флуктуации вращения Солнца.

Вращение поверхности Солнца по крупным (фоновым) магнитным полям

Магнитное поле на Солнце вне солнечных пятен впервые было обнаружено и исследовано в середине пятидесятых годов текущего столетия. Была показана реальность существования магнитного поля в полярных областях и двух типов полей на низких гелиографических широтах. Из ежедневных определений распределения магнитных полей по диску Солнца можно получать данные о вращении фотосферных магнитных полей. Для этого используются синоптические карты, на которых магнитное поле фиксируется при прохождении его через центральный меридиан. Так, исследуя синоптические карты фотосферных магнитных полей методом автокорреляционных функций, применяемым в математической статистике, было показано, что у близэкваториальных областей Солнца период вращения соответствует скорости вращения рекуррентных пятен, на высоких же широтах фотосферное магнитное поле вращается быстрее, чем пятна, и быстрее, чем показывают доплеровские измерения вращения фотосферы.

По-видимому, вращение магнитных полей на поверхности Солнца является отражением вращения более глубоких слоев, с которыми эти поля связаны или из которых они выходят. Причем, поскольку поля на поверхности вращаются быстрее, чем большая часть фотосферы, можно сделать вывод, что с глубиной угловая скорость возрастает. Скорость фоновых полей систематически выше угловой скорости магнитных полей в активных областях, следовательно, фоновые поля должны быть связаны с более глубокими слоями, чем поля активных областей.

Вращение хромосферы

Вращение хромосферы исследуется, в основном, методом трассеров, при котором измеряются смещения узелков хромосферной сетки на фильтрограммах (фотоснимок Солнца в какой-либо спектральной линии) в линии К ионизованного кальция или же хромосферных образований на на фильтрограммах.

Благодаря равномерному распределению по поверхности Солнца и относительно большому времени жизни (несколько часов) узелки кальциевой хромосферной сетки являются удобными индикаторами дифференциального вращения. Одним из преимуществ использования этих узелков является также возможность измерений дифференциального вращения в период минимума солнечной активности. Анализируя движение узелков на фильтрограммах в линии К ионизованного кальция и измеряя доплеровские сдвиги избранных фотосферных линий, исследователи пришли к выводу, что экваториальная скорость вращения

кальциевой хромосферы незначительно отличается от скорости вращения фотосферы.

Исследуя хромосферные образования, наблюдатели не находят сколько-нибудь заметной зависимости скорости их вращения от широты. При изучении зависимости скорости вращения хромосферы от продолжительности жизни и размеров хромосферных "трассеров" было обнаружено, что долгоживущие образований (~27 дней) вращаются как твердые тела, в то время как у короткоживущих (~1 день) наблюдается небольшая дифференциальность. Из наблюдений других хромосферных образований, например, флоккулов, был получен несколько иной результат. У небольших по площади и наиболее компактных флоккулов обнаружена, более высокая угловая скорость и более крутой профиль дифференциального вращения по сравнению с менее компактными флоккулами. При рассмотрении широтной и радиальной зависимостей скорости по хромосферным волокнам видно, что скорость вращения волокон существенно больше скорости вращения пятен. Причем волокна, тесно связанные с активными областями, не обнаруживают дифференциального вращения, в то время как удаленные показывают его четко. В период максимума солнечной активности скорость вращения волокон выше, чем в среднем по циклу, и уменьшение угловой скорости с ростом широты в максимуме активности более заметное, чем в целом по 11-летнему циклу.

Таким образом, хромосфера вращается на экваторе с почти такой же угловой скоростью, как фотосфера. Дифференциальность вращения хромосферы меньше, чем у фотосферы. Соотношение скорости вращения хромосферы и гелиографической широты зависит от времени жизни и площади хромосферных трассеров.

Вращение короны

Изучать вращение короны можно как спектроскопическим методом, так и по трассерам. По доплеровскому смещению корональных спектральных линий было определено, что скорость вращения короны зависит от гелиошироты - на высоких широтах она значительно больше, чем у фотосферы, на широтах менее 25° - меньше.

Анализируя интенсивность излучения зеленой корональной линии с длиной волны $\lambda 5303 \text{ \AA}$, наблюдатели пришли к выводу, что корона имеет незначительную дифференциальность вращения в начале солнечного цикла, а к концу цикла оно становится близким к твердотельному из-за уменьшения скорости на экваторе. Причем имеет место асимметрия вращения северного и южного полушарий, как и для фотосферы.

В качестве трассеров для исследования вращения короны используются корональные дыры. Несмотря на их большой размер, корональные дыры мало деформируются за время нескольких оборотов

Солнца. Это указывает на то, что вращение трассеров мало отличается от твердотельного. При детальном изучении эволюции корональных дыр и магнитных структур на Солнце обнаружена тесная связь корональных дыр с крупномасштабной структурой фотосферного магнитного поля - каждая дыра лежит внутри гигантской ячейки магнитного поля с доминирующей полярностью.

Изменение скорости вращения в атмосфере

Из спектральных исследований было замечено, что скорости вращения, определенные по разным фраунгоферовым линиям, не одинаковы. Это различие трактовалось существованием градиента скорости с глубиной в фотосфере. Такой результат трудно объяснить моделью фотосферы, верхние слои которой конвективно устойчивы, а нижние испытывают некоторые конвективные движения.

4%-ное различие в скорости вращения между фотосферой и хромосферой маловероятно, так же, как и градиент скорости в фотосфере. Но, с другой стороны, амплитуда эффекта настолько велика, что ее трудно объяснить ошибкой в наблюдениях. Уменьшение скорости вращения внутрь Солнца удовлетворяет современным конвективным моделям, по которым вращение убывает с уменьшением радиуса Солнца. Но это противоречит кинематической модели динамо, где принимается, что скорость увеличивается к центральным частям Солнца.

В принципе, внутреннее вращение можно измерить по частотным сдвигам солнечных глобальных колебаний, о чем уже упоминалось выше. Изучение солнечных колебаний разных типов (солнечная сейсмология) обещает дать огромную информацию о внутренних частях Солнца и звезд, о которой всего десятилетие назад ученые не могли и мечтать.

К настоящему времени астрономы имеют следующие данные о вращении Солнца.

1. Солнце, как звезда класса G, вращается довольно медленно.
2. Угловая скорость звезд солнечного класса уменьшается с возрастом возможно пропорционально корню квадратному из времени жизни.
3. В среднем вращение поверхностных слоев солнечной атмосферы уменьшается с широтой от максимума на экваторе к минимуму у полюсов, по крайней мере, с разницей в 20%.
4. Возможно, что Солнце внутри вращается в 20 раз быстрее, чем на поверхности.
5. Скорость вращения атмосферы незначительно увеличивается с высотой до расстояния, примерно, двух солнечных радиусов.
6. Различные трассеры показывают более быстрое вращение на всех широтах, чем доплеровские измерения.
7. Магнитные поля вращаются примерно на 5% быстрее, чем фотосферная плазма.

8. Характер изменения угловой скорости с широтой для магнитных полей вне активных областей (фоновые поля) более близок к твердотельному вращению по сравнению с активными областями.

9. Дифференциальное вращение меняется со временем в зависимости от фазы цикла солнечной активности.

В распоряжении современной астрономии нет совершенной теории, которая могла бы объяснить все наблюдаемые аспекты вращения Солнца. Однако много теоретиков пытаются не без успеха решить эту проблему.

Так, для первых трех пунктов применяются модели развития солнечного углового момента. Для остальных теория предлагает модель взаимодействия конвекции и вращения. Эти две модели базируются на различных временных шкалах. Модели, использующие развитие углового момента, могут быть реально применены лишь для усредненного вращения, в то время как наблюдаемое дифференциальное вращение всецело определяется динамикой конвективной зоны с влиянием среднего вращения.

Высокая удельная проводимость солнечной плазмы имеет отношение к турбулентности и вращению атмосферы, к генерации и движению магнитного поля. Отсюда вытекает, что причиной солнечного дифференциального вращения является динамика внутренних течений, комбинация истечения энергии и эффект Кориолиса. Это, по так называемой динамо-теории, связано с гигантскими конвективными ячейками, чье существование она и предсказала. Однако следы этих гигантских элементов не обнаружены наблюдениями. Вопрос, следовательно, остается открытым.

Из-за магнитного поля, конвекции и движения вверх распространяющихся волн различного типа вращение фотосферы, хромосферы и внутренней короны связано с конвективной зоной. Вращение Солнца взаимодействует также с межпланетной средой, главным образом через магнитные поля, которые простираются в пространство и тянутся через среду вдоль оси вращения. Однако влияние межпланетной среды слишком слабо по сравнению с результатами других эффектов. Общая же скорость вращения увеличивается во время солнечного минимума активности, так как в этот момент значительная часть солнечного магнитного поля отсутствует. Из этого следует, что часть внешнего воздействия оказывает магнитное поле.

Наше понимание явления дифференциального вращения Солнца еще далеко от полного. Неизвестно и непонятно такое явление, как крутильные колебания (локальные избытки скорости, распространяющиеся в виде волн), которые только что обнаружены на солнечной поверхности. Не ясно, например, будет ли движение крутильных волн более или менее однородно распределено по солнечной поверхности в любой момент времени, или же они состоят из

локализованных областей, которые движутся неправильно, так что среднее движение кажется крутильной волной.

Итак, Солнце - единственная звезда, которую мы можем детально исследовать с учетом последних достижений атомной физики, ядерной физики, физики плазмы и магнитогидродинамики. Проводимые в наше время исследования Солнца дают основу для многочисленных астрофизических теорий и моделей. Сюда входят:

- фундаментальная теория высвобождения термоядерной энергии и переноса энергии в оболочках звезд;
- модели звездных структур и звездной эволюции; теории, объясняющие вращение звезд и их активности;
- модели звездного ветра и звездных корон;
- теории магнитных явлений на звездах и высвобождение накопленной магнитной энергии в виде взрыва, когда частицы ускоряются до энергий в миллиарды электрон-вольт на один нуклон.

Прогресс в теории солнечной активности, достижения в изучении действия солнечного ветра и межпланетного магнитного поля стимулируют исследование действия солнечного вращения и поля крупномасштабных скоростей на солнечное динамо. (Динамо-эффект - самовозбуждение магнитных полей вследствие движения проводящей жидкости или газовой плазмы. Динамо-эффект применяют для объяснения происхождения или поддержания магнитных полей Земли, звезд и других небесных тел). Исследование скорости вращения Солнца, ее изменение с широтой, временем и радиусом имеет не только прикладной характер. Эта проблема является одной из самостоятельных фундаментальных задач физики Солнца. В настоящее время принято, что во вращающихся астрофизических объектах, имеющих конвективную зону, генерируются крупномасштабные магнитные поля. Усиление солнечного магнитного поля достигается за счет дифференциального вращения конвективной зоны. Таким образом, существует тесная связь между теориями дифференциального вращения и теориями динамо, что налагает серьезные ограничения как на те, так и на другие. Следовательно, очень важно достоверно установить, что механизм динамо действительно работает в конвективной зоне Солнца, и тем самым показать, что дифференциальное вращение проявляется не только на поверхности, а действует на всем протяжении конвективной зоны. Наши знания о явлениях, происходящих внутри Солнца ("под поверхностью"), и ответственных за основной механизм цикла активности, очень ограничены. Именно поэтому данные о дифференциальной характеристике вращения с изменением угловой скорости, глубины и времени являются жизненно необходимой частью информации, доступной нам.

Решение этих вопросов зависит от лучшего теоретического анализа солнечного "динамо". В конечном счете, однако, это все зависит от

наблюдений, которые и позволят сделать окончательный вывод о таком сложном и многообразном явлении, как вращение Солнца.

Из краткого обзора явлений на Солнце можно понять, почему в течение многих сотен лет Солнце не перестает удивлять ученых, и волновать умы людей.

Сейчас человек много знает о Солнце. Однако каждое открытие в области гелиофизики, каждый новый результат наблюдений оживляют солнечную астрономию, дают толчок развитию фундаментальных исследований, разработке новых теоретических методов, появлению все более смелых гипотез, созданию более совершенной техники для наблюдений. Сейчас Солнце исследуют с поверхности Земли с помощью оптических и радиотелескопов, с шаров-зондов, баллонов и стратостатов, ракет и орбитальных солнечных обсерваторий. В недалеком будущем Солнце будет изучаться с Луны. Будущие исследователи смогут дать полный ответ на многие вопросы, касающиеся природы многочисленных явлений на Солнце, на те вопросы, которые ставят в тупик современных гелиофизиков. Изучение каждого явления на Солнце вырастает в конечном итоге в сложнейшую проблему, связанную с проведением длительных высокоточных наблюдений, интерпретации полученных данных на основе самых последних теоретических представлений, созданием в ряде случаев новых теорий. Путь от гипотезы до научного открытия и тернист, и пройти его нелегко. Но другого пути в науке нет.

Литература:

1. Витинский Ю. И., Конецкий М., Куклин Г. В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. - М.: Наука, 1988.
2. Гибсон Э. Спокойное Солнце. - М.: Мир, 1977.
3. Мензел Д. Наше Солнце. - М.: Мир, 1963.
4. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. - М.: Мысль, 1976.
5. Шкловский И. С. Звезды. Их рождение, жизнь, смерть. - М.: Наука, 1977.
6. <http://adeva.ru/books/item/f00/s00/z0000005/st022.shtml>