

## УЛУЧШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕСКОПОВ-РЕФЛЕКТОРОВ СИСТЕМЫ НЬЮТОНА – ЧАСТЬ 1

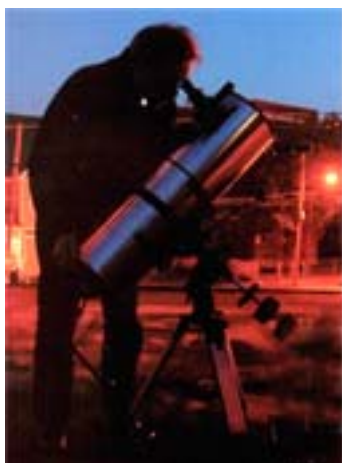
### Анализ режима охлаждения вашего телескопа – первый шаг на пути к получению оптимального изображения.

Статья написана Брайаном Гриром.

Из физики известно, что качество изображения зависит, в основном, от апертуры телескопа. И все же, на протяжении долгого времени остается загадкой, почему изображение, полученное с помощью рефлекторов Ньютона, так часто разочаровывает по сравнению с изображением, полученным с помощью высококачественных рефракторов с аналогичной апертурой. Со временем было выдвинуто много теорий, объясняющих недостатки рефлектора. В качестве возможного объяснения предлагалось все: от эффектов экранирования и шероховатости поверхности зеркал до крестообразной дифракции и светорассеивания в отражающих покрытиях. Но если эти свойства тщательно проанализировать, окажется, что они не полностью объясняют нестабильное поведение телескопов Ньютона. Однако некоторые простые аналитические методы позволяют обнаружить истинную причину, и становится ясно, что единственным самым важным фактором, влияющим на качество изображения, является восприимчивость конструкции телескопа к тепловым искажениям.

Большинство наблюдателей уже знают, что телескопы Ньютона некоторое время необходимо поддержать на открытом воздухе, чтобы они акклиматизировались к ночной температуре воздуха. Принято считать, что температурных проблем можно избежать либо позволив главному зеркалу остыть до температуры ночного воздуха, либо держа телескоп в не отапливаемом помещении. Хотя этот совет все еще актуален, мои испытания показывают, что одних только этих мер недостаточно. Как описано в моей сентябрьской статье 2000 года ("Учет влияния температуры на характеристики рефлекторов Ньютона", страница 125), *испытание тенью* (аналогичное более знакомому испытанию по методу Фуко, используемому производителями зеркал), позволяет нам непосредственно наблюдать, что происходит с телескопом, и показывает постоянную турбулентность вокруг главного зеркала, создающую эффекты, которые более деструктивны и продолжительны, чем думают большинство пользователей телескопов.

В то время как самые очевидные проявления температурной нестабильности исчезают после относительно короткого промежутка времени, в течение ночи телескоп продолжает находиться под воздействием остаточного тепла, накопившегося в зеркале, и непрерывно падающей температуры воздуха. Последней проблеме редко придается большое значение. Даже если наблюдения начинают проводиться во время, когда температура телескопа точно соответствует температуре окружающего воздуха, качество изображения начинает быстро ухудшаться с падением ночной температуры воздуха. К сожалению, в большинстве регионов температура после захода солнца понижается просто слишком быстро, чтобы зеркала успевали остывать, уже не говоря о том, чтобы их температура падала одновременно с температурой воздуха.



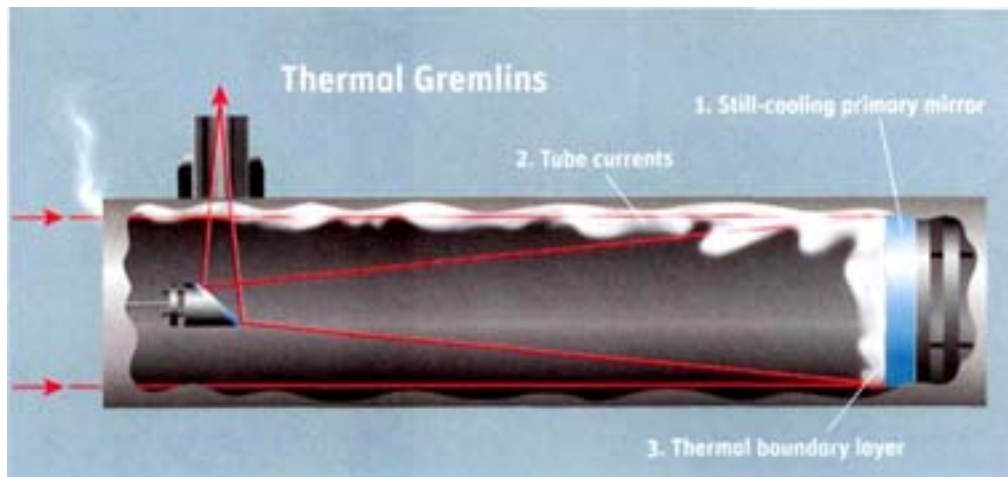
*Несмотря на то, что рефлектор Ньютона способен давать изображение превосходного качества, его главное зеркало должно иметь одинаковую температуру с атмосферным воздухом для того, чтобы полностью реализовать свой потенциал.*

## Определение причин тепловых искажений

Фраза "температурные проблемы" понимается разными людьми по-разному. Фактически существует три причины ухудшения изображения, связанного с температурой:

- (1) изменяющаяся форма, или геометрия, охлаждающегося главного зеркала;
- (2) так называемые потоки трубы, и;
- (3) тепловой пограничный слой;

Важно провести различие между ними для того, чтобы мы могли выявить и исправить проблемы.



*На этой иллюстрации изображены три основные температурные проблемы. Из них самой главной является тепло, которое излучает главное зеркало, формирующее тепловой пограничный слой. Стоит отметить, что причиной всех трех проблем является тёплое главное зеркало.*

Главной проблемой часто считают изменение формы охлаждающегося зеркала, но в действительности размеры и длительность изменения так малы, что я расцениваю эту проблему как наименее важную из трех, которые я выдвинул на первый план. Для получения качественного изображения, форма зеркала телескопа должна иметь точность в пределах нескольких миллионных долей дюйма, но когда теплое зеркало внезапно помещается в прохладную окружающую среду, его форма изменяется, поскольку внешняя часть зеркала охлаждается немного быстрее, чем его центр. Даже стекло с низким коэффициентом теплового расширения, такое как пирекс, претерпевает некоторое изменение в объеме под воздействием температуры. К счастью, существенное изменение формы зеркал из пирекса в телескопах обычно длится недолго и почти никогда не заметно при наблюдениях, если только температура окружающего воздуха не падает с очень большой скоростью.

Причиной возникновения потоков в трубе является теплый воздух, поднимающийся с главного зеркала (или других конструктивных элементов),двигающийся вверх по внутренней стенке трубы, и частично попадающий в оптическую часть телескопа. Это приводит к искажению изображений при тестировании телескопа по звезде, которое обычно заметно сразу, после того как телескоп выносится наружу. Это состояние также не будет сохраняться долгое время, так как главное зеркало не может отдавать тепло с необходимой для этого высокой скоростью больше, чем несколько минут. Телескопы с трубой открытой ферменной конструкции, [Open-framework truss-tube telescopes], как правило, лишены данной проблемы.

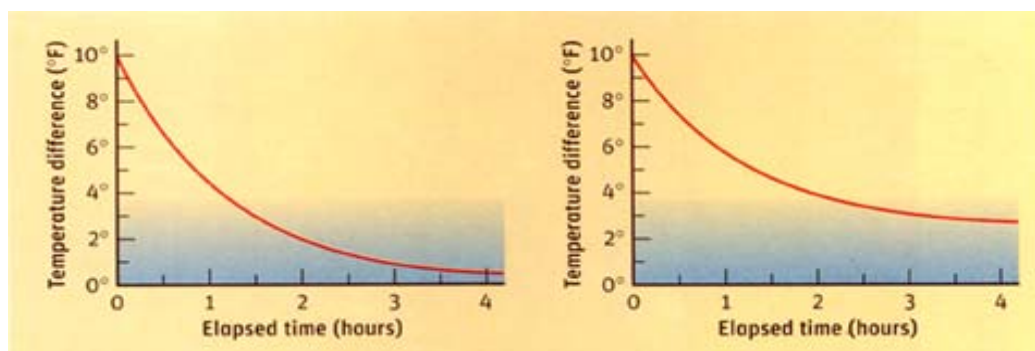
Существует еще один потенциальный источник потоков в трубе, характерный для телескопов с металлической трубой. Внешняя поверхность трубы может стать на несколько градусов холоднее температуры окружающего воздуха из-за излучения тепла в открытое пространство (ночное небо), заставляя воздух около внутренней стенки трубы непрерывно охлаждаться и смешиваться с более теплым воздухом внутри трубы. (Эти потоки можно наблюдать непосредственно на испытании, которое я описал ниже в этой статье.) Данная разновидность потоков трубы может иметь очень длительный эффект, но его также просто устранить, изолировав трубу (обычно изнутри) пробковой или пенопластовой облицовкой.

Третье явление – это тепловой пограничный слой, который формируется на лицевой стороне главного зеркала, когда оно выделяет тепло. Тепловой пограничный слой – безусловно, самая серьезная из трех проблем и заслуживает детального рассмотрения хотя бы потому что, если вы устранили этот недостаток, остальные две температурные проблемы, по большей части, разрешатся также.

### Знакомство с тепловым пограничным слоем

Пограничный слой образуется на поверхности любого твердого тела, температура которого не соответствует температуре окружающего воздуха. Это – зона, в которой происходит теплообмен между предметом и воздухом, когда они стремятся достигнуть температурного равновесия. Относительно оптических свойств, пограничный слой проблематичен, потому что он характеризуется резким перепадом температуры (который происходит на участке всего 5-15 мм толщиной) и проявляется как шероховатая линза неправильной формы, где свет, преломляясь, отклоняется от заданного направления. Что хуже, в рефлекторе Ньютона волновой фронт должен пересечь эту область дважды – один раз на пути к зеркалу и второй раз обратно в сторону фокуса.

Проблема пограничного слоя длится долго, потому что зеркала телескопа имеют неудачную комбинацию свойств – они хорошо аккумулируют тепло и имеют плохую теплопроводность. Это означает, что зеркалам требуется много времени, чтобы высвободить накопленное тепло, и что более важно, их температура не успевает меняться вместе с температурой окружающего воздуха. Это происходит независимо от сезона, так как источником проблемы является *изменение* температуры, а не сама фактическая температура. Из трех проблем, обрисованных в общих чертах ранее, тепловой пограничный слой устранить труднее всего, и телескопы с трубой как сплошной, так и открытой [ферменной] конструкций одинаково подвержены данной проблеме.



**Графики времени охлаждения зеркала.**

На этих графиках показано охлаждающееся главное зеркало в 1 дюйм толщиной (которое типично для 6-дюймового рефлектора).

*Слева:* зеркало начинает охлаждаться ночью, имея температуру на 10°F выше температуры окружающего воздуха, которая остается неизменной в течение ночи. Даже в этих нереально благоприятных условиях, проходит более часа, прежде чем перепад температур ( $\Delta T$ ) между зеркалом и воздухом уменьшается до того минимума, при котором возможно получить довольно качественное изображение (синяя зона).

*Справа:* немного более реалистичный пример показывает то же самое зеркало, начинающее охлаждаться, имея температуру на 10°F выше температуры окружающего воздуха, ночью, когда температура опускается только на 2°F в час, что типично для теплого летнего вечера. Должно пройти более двух часов, прежде чем качество изображения приблизится к оптимальному.

Эти графики были построены с помощью бесплатной программы Алана Эдлера «Cool», доступной на: [SkyandTelescope.com/resources/software](http://www.skyandtelescope.com/resources/software).

примечание переводчика:

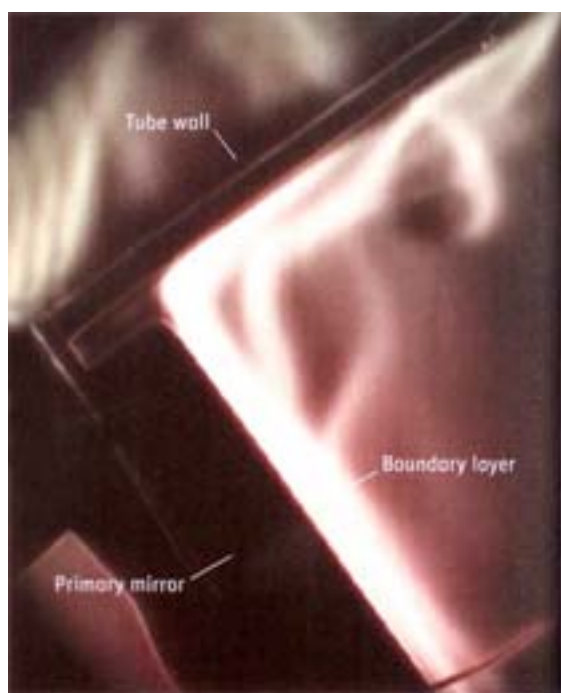
<http://www.skyandtelescope.com/resources/software/3304921.html?c=y&page=4>

Разновидность испытания теневым методом, получившая соответствующее название *радужный теневой метод* из-за своего красочного вида, может использоваться для определения количества погрешностей в высоте неровностей профиля волнового фронта, вызванных тепловым пограничным слоем. Это испытание показывает,

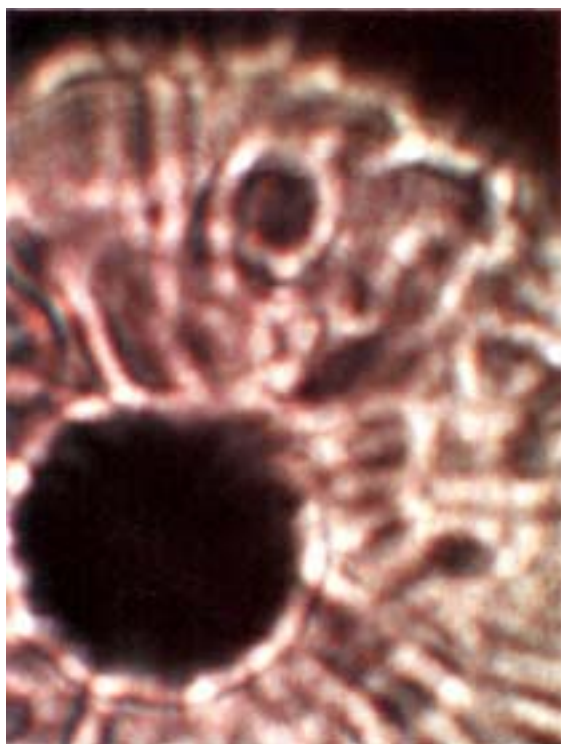
насколько локализованным погрешностям  $1/4 - 1/10$  волны свойственно появляться спонтанно, даже когда температура зеркала только на  $2^{\circ}\text{C}$  ( $3.6^{\circ}\text{F}$ ) выше температуры окружающего воздуха. Для зеркал, оставленных охлаждаться самостоятельно, это распространенное условие, которое обычно будет сохраняться в течение ночи.

Структура пограничного слоя неравномерна и находится в постоянном движении. Ее воздействие - внезапное уменьшение контрастности в широком диапазоне пространственных частот. В зависимости от размера и формы слоя эффект может варьироваться от смазывания мелких планетарных деталей до нежелательного света, попадающего в зрачок.

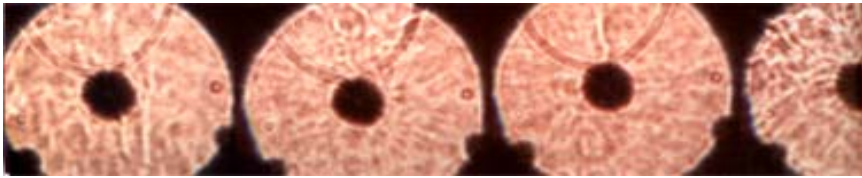
Учитывая неустойчивую природу теплового пограничного слоя, легко понять, почему в нем трудно разобраться. Даже без каких-либо доработок большинство телескопов Ньютона иногда дают великолепное изображение. При соответствующих условиях иногда бывает так, что и атмосфера и пограничный слой становятся относительно ламинарными, и внезапно изображение планеты покажется четким. Тогда наблюдатель ошибочно полагает, что телескоп достиг теплового равновесия, и будет винить неустойчивую атмосферу, когда изображение снова станет посредственного качества. Неправильный вывод - вот, вероятно, действительная причина, по которой до недавнего времени истинное воздействие пограничного слоя на качество изображения не полностью учитывалось.



*Пограничный слой обволакивает лицевую сторону главного зеркала (как показано на изображении, полученном при испытании теньвым методом) и сохраняется до тех пор, пока имеется разность температур между стеклянной поверхностью и окружающим воздухом. Модель стенки трубы телескопа была помещена сверху охлаждающегося зеркала, чтобы продемонстрировать, как теплый воздух, поднимающийся с поверхности зеркала, превращается в потоки трубы.*



*Этот снимок расфокусированной искусственной звезды, сделанный через 8-дюймовый телескоп Ньютона, принадлежащий автору, ярко демонстрирует оптические эффекты теплового пограничного слоя. Это - пример экстремального случая при  $\Delta T\ 25^{\circ}\text{C}$ , когда телескоп был вынесен на открытый воздух в холодную зимнюю ночь. К счастью, степень турбулентности пограничного слоя, продемонстрированная здесь, длится недолго.*



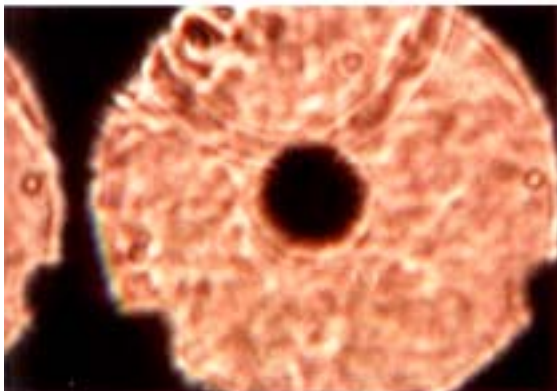
*Это - более типичное появление пограничного слоя во время проведения модифицированного тестирования по звезде при  $\Delta T$  5°C. Эти отдельные кадры были отобраны из 10-секундного видеоряда, чтобы проиллюстрировать, насколько быстро меняется структура пограничного слоя. Обратите внимание, как изменяется масштаб структуры пограничного слоя. (На этих снимках верхняя часть зеркала находится вверху).*

### **Лучше один раз увидеть...**

Прежде чем пытаться каким-либо образом исправить недостаток, необходимо использовать действительно объективный и воспроизводимый метод, чтобы определить состояние температурного равновесия вашего телескопа. Несмотря на то, что установка для испытания теньвым методом, которую я использую, очень чувствительна и способна обнаружить пограничный слой, она не подходит для испытаний в полевых условиях. К счастью, пограничный слой, с подобным уровнем чувствительности, возможно увидеть, используя модифицированный вариант известного тестирования по звезде. Более того, вы, вероятно, поймете, что это испытание по обнаружению пограничного слоя проводить даже легче.

Чтобы увидеть тепловой пограничный слой в вашем телескопе, вставьте окуляр, который дает увеличение, в 5 - 10 раз превосходящее апертуру вашего телескопа в дюймах (это увеличение намного ниже стандартного, используемого в тестировании по звезде). Например, в 8-дюймовом телескопе, 40х-80х – более или менее достаточно. Затем, наведите свой телескоп на самую яркую звезду на небе, или даже на яркую планету, такую как Юпитер или Венера. Колесом фокусировки размывайте изображение до тех пор, пока контур вторичного зеркала и паука не начнет четко вырисовываться на фоне яркого, увеличенного диска светящегося главного зеркала. В зависимости от диафрагменного числа вашего телескопа, вы можете расфокусировать его на половину дюйма или более - намного больше, чем для стандартного тестирования по звезде. Наблюдайте до тех пор, пока не найдете точку, где турбулентность проявляется в виде пятнистого теневого рельефа, перемещающегося быстрым, случайным образом. Скорость изменения рельефа не постоянна из ночи в ночь, и на нем легче сфокусироваться, когда он перемещается более медленно. Если температурные проблемы возникнут внутри телескопа, то вы увидите их на данном рельефе, расположенными в виде пятнистой теневой структуры, которая перемещается намного медленнее. Эти "тепловые волны" имеют тенденцию медленно подниматься с основания зеркала, и вызваны тепловым пограничным слоем, окутывающим лицевую сторону главного зеркала.

Лучше всего проводить первое испытание данным методом, будучи уверенными в том, что ваш телескоп имеет температурные проблемы. Если телескоп в холодную зимнюю ночь вынести на улицу, присутствие заметных рельефов пограничного слоя будет гарантировано в течение приблизительно 30 минут, и его появление в вышеописанном испытании должно быть очевидным. (Шутки ради, попробуйте поместить ладонь перед телескопом, если хотите увидеть действительно впечатляющее изображение!) Когда вы приобретете опыт, проводя данное испытание, вы сможете обнаруживать менее очевидные рельефы.



*Другой способ измерить температурный режим главного зеркала подразумевает использование недорогого цифрового термометра, измеряющего температуру снаружи и внутри помещения. «Наружный» датчик прикрепляется к тыльной стороне главного зеркала клейкой лентой и покрывается слоем пенопласта [пенорезины/термозита] толщиной достаточной для изоляции датчика от окружающего воздуха.*



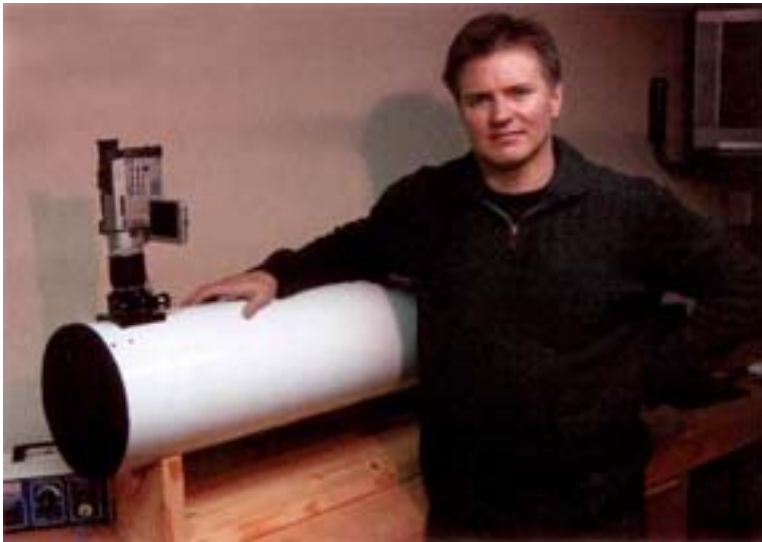
*Сам корпус термометра (в котором находится «комнатный» датчик) прикрепляется к наружной стороне трубы телескопа. Данное устройство служит удобным средством для сравнения температуры зеркала с температурой окружающего воздуха. На момент, когда была сделана эта фотография,  $\Delta T$  составляла 26.9°F.*

Если вы находите, что атмосферная турбулентность вас слишком дезориентирует, то это испытание можно также провести на подходящем земном источнике света. Для этого можно использовать отдаленный уличный фонарь или другой яркий точечный источник света, если он находится на расстоянии нескольких сотен метров. Важно, чтобы источник света был достаточно маленьким, иначе контраст теневых рельефов начнет уменьшаться.

В отсутствие атмосферной турбулентности, испытание покажет даже самые незначительные оптические погрешности из-за тепловых деформаций. Чтобы лучше понять, что представляет собой это испытание, посмотрите его примеры, представленные в видеофильме, который доступен для просмотра на: [SkyandTelescope.com/howto/scopes/article\\_1182\\_1.asp](http://SkyandTelescope.com/howto/scopes/article_1182_1.asp)

Выделите время, чтобы протестировать ваш телескоп и ознакомиться с видом температурных проблем. Во 2-ой части статьи я опишу некоторые способы их устранения, которые помогут вылечить ваш телескоп от тепловой болезни. Если вы будете знать заранее, как определять проблемы, то вы будете готовы оценить эффективность решений, которые я кратко изложу в статье в следующем месяце. \*

БРАЙАН ГРИР инженер-механик и любитель телескопостроения, из г. Уоррингтона, штат Огайо, который любит наблюдать планеты в свой излюбленный инструмент – термически оптимизированный рефлектор Ньютона. Более подробную информацию о его исследованиях в области телескопов можно найти на его персональном веб-сайте: [www.fpi-protostar.com/bgreer](http://www.fpi-protostar.com/bgreer).



На этой фотографии запечатлен автор статьи Брайан Грир со своим 8-дюймовым телескопом, подготовленным для испытания теньвым методом. К фокусирующему устройству телескопа прикреплена цифровая камера для записи результатов испытания.

Май 2004 Небо и Телескоп  
(перевод выполнен Aquila, октябрь 2009)

