



ТЕЛЕСКОП? НАЛИВАЙ!

Один из самых сложных этапов создания крупных телескопов – это получение зеркала точной формы. Но есть гораздо более простой и дешевый способ сделать параболическую поверхность – раскрутить в круглом сосуде жидкость. Есть ли у «жидких телескопов» будущее? **Текст: Дмитрий Виб**

Сейчас в мире идет создание нескольких телескопов, диаметры объективов которых измеряются десятками метров. Что примечательно: несмотря на общее бурное технологическое развитие человечества, шаги в увеличении максимального диаметра объектива телескопа по-прежнему происходят с интервалом, измеряемым столетиями. Причина проста – с увеличением диаметра объектива растет не только научная отдача телескопа, но и его цена. Если стоимость действующих инструментов с многометровыми объективами измеряется сотнями миллионов долларов, то на мегателескопах будущего висят уже миллиардные ценники.

Проблемы гигантов

Неудивительно, что конструкторская мысль непрерывно ищет способы удешевить столь дорогостоящие астрономические игрушки. Поскольку наше все – диаметр объектива, естественно попытаться увеличить размер «глаза» телескопа за счет принесения в жертву других конструктивных особенностей. Примерами могут служить телескопы Хобби–Эберли (США), Большой южноафриканский телескоп (ЮАР) и телескоп LAMOST

(Китай). Эти инструменты не являются полноповоротными, то есть, в отличие от классического телескопа, зафиксированы относительно одной из двух осей вращения и потому лишены возможности в любой момент времени наводиться в любую точку видимого полушария неба. Конечно, подобная фиксация накладывает существенные ограничения, но при помощи продуманной программы наблюдений их можно сделать не столь критичными. При этом стоимость снижается в разы по сравнению с полноповоротным телескопом. Однако есть и более радикальный способ удешевления астрономического инструмента.

В современных телескопах, как правило, в качестве объектива используется вогнутое зеркало. Чтобы зеркало фокусировало отражаемые им лучи, то есть сводило их в точку, оно должно иметь форму параболоида вращения. Изначально зеркала для телескопов отливали из специальных сортов бронзы, а потом долго и нудно шлифовали до нужной формы. В середине XIX века после изобретения процедуры серебрения зеркала начали изготавливать из стекла, шлифовать которое гораздо проще, однако и по сей день один из самых сложных

этапов создания телескопа состоит в придании зеркалу точной формы. При этом ошибки в форме поверхности должны быть существенно меньше длины волны отражаемого света, а она в видимом диапазоне составляет всего 0,5 мкм. Представляете задачу – отшлифовать поверхность площадью в десятки квадратных метров с субмикронной точностью!

Старая идея

Куда более простой и дешевый способ получения параболической отражающей поверхности был придуман еще Ньютоном. Часто спокойную гладь воды сравнивают с зеркалом, подразумевая, что ее поверхность идеально гладкая и плоская. Если же воду или другую жидкость раскрутить в круглом сосуде, ее поверхность примет параболическую форму, за исключением края, где ее исказит поверхностное натяжение. Правда, у воды невысокий коэффициент отражения, по крайней мере для лучей, падающих почти перпендикулярно поверхности, но воду можно заменить более отражающей жидкостью.

Считается, что первым идею создания вращающегося ртутного зеркала для телескопа высказал в 1850 году итальянский астроном Эрнесто Капоцци. Успешное воплощение зеркала было представлено в 1872 году в Новой Зеландии Генри Скеем, а астрономические наблюдения на ртутном телескопе впервые провел Роберт Вуд в самом начале XX века. В описании своих опытов в 1909 году Вуд отметил, что астрономы всегда воспринимали идею о жидком зеркале как шутку: о каком качестве наблюдений может идти речь, если на поверхности от малейшего внешнего возмущения появляется рябь?

Сам Вуд занялся этой проблемой, как он сам писал, «исключительно чтобы развлечься в летние месяцы». Он

выявил основные источники возникновения ряби на поверхности зеркала: вибрации от двигателя и подвески зеркала, негоризонтальное расположение вращающейся чаши с ртутью и неравномерная скорость вращения двигателя – и доказал, что все они могут быть в значительной степени устранены продуманной конструкцией телескопа и тщательностью его изготовления. К ряби, создаваемой механизмами телескопа, нужно добавить и внешние возмущения: самый большой телескоп Вуда с 20-дюймовым зеркалом был установлен в оживленном месте на острове Лонг-Айленд (США) и потому содрогался и от прибоя, и от проезжавших мимо повозок, и даже от шагов прохожих. Вуд предложил два метода избавления от остаточных колебаний зеркала. Первый состоит в том, чтобы делать слой ртути в чаше максимально тонким: чем тоньше ртутное зеркало, тем меньше в нем ряби. Второй способ предполагает покрытие ртути еще какой-либо жидкостью, которая гасила бы колебания, – например, водой или глицерином.

Вуд довел свой ртутный телескоп до совершенства, доказал, что он дает изображения не худшего качества, чем «обычный»... и забросил эту работу. Технические сложности были преодолены, научная же ценность неподвижного телескопа, направленного в зенит, осталась совершенно неочевидной. Идея вращающихся ртутных зеркал была забыта на долгие десятилетия.

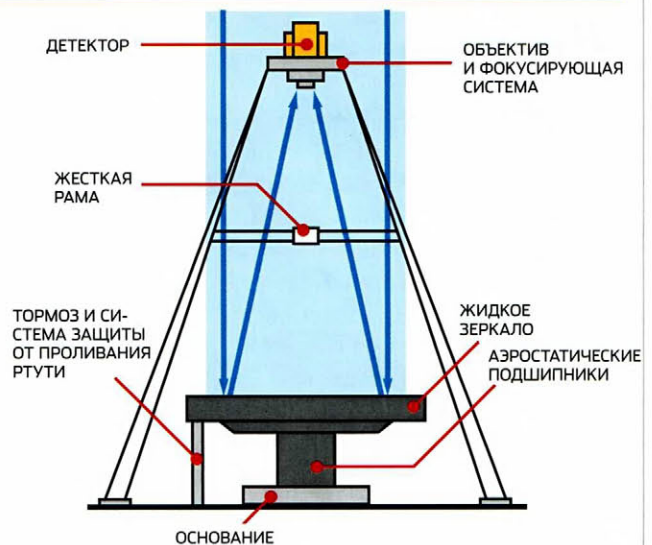
Это не означает, что ртуть полностью ушла из астрономического обихода. Ее широко применяли в так называемых ртутных горизонтах фотографических зенитных труб (ФЗТ). Спокойная поверхность ртути по определению параллельна плоскости горизонта, и ее можно использовать для точного наведения объектива в зенит, что требуется при некоторых астрометрических

НАЛИТЬ ЗЕРКАЛО

ПОДГОТОВКА ЗЕРКАЛА НАЧИНАЕТСЯ С ТОГО, ЧТО В ЧАШУ LZT НАЛИВАЮТ ОКОЛО 100 Л РТУТИ. ЗАБАВНО, ЧТО МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ НЕ ХВАТАЕТ, ЧТОБЫ ПРИВЕСТИ ЧАШУ В ДВИЖЕНИЕ, И ПОТОМУ ИЗНАЧАЛЬНО ЕЕ РАСКРУЧИВАЮТ ВРУЧНУЮ.

Примерно через час вращения зеркало стабилизируется, и начинается двухдневная процедура откачивания ртути, чтобы довести толщину зеркала до минимального значения (начальная толщина – примерно 3,5 мм). После стабилизации поверхности зеркала на нем образуется пленка оксида ртути, которая практически останавливает испарение металла, так что через пару дней после раскручивания зеркала возле него можно находиться, не предпринимая особых защитных мер. Коэффициент отражения ртути (порядка 70%) меньше, чем у свеженанесенного алюминиевого покрытия. Но со временем алюминий мутнеет, и его коэффициент отражения падает. При этом процедура алюминирования сложна и дорогостояща. Ртуть тоже мутнеет, но ртутное зеркало можно без особых проблем и затрат обновлять хоть ежемесячно.

Телескоп LZT в настоящее время применяется для исследований атмосферы в рамках создания систем адаптивной оптики для гигантских телескопов TMT и E-ELT. Качество изображений на LZT оказалось средним, однако нужно учитывать, что он создавался в значительной степени как испытательный инструмент и потому установлен в месте, не очень удачном с точки зрения состояния атмосферы, в 70 км от Ванкувера на высоте всего 400 м.



наблюдениях. Но идея об использовании ртути как материала для объектива телескопа возродилась только в начале 1980-х годов благодаря ученому Эрманно Борра из Университета Лавала (Канада).

Фиксированный прицел

Чем астрономов не устраивает подобный инструмент? В первую очередь – невозможностью наведения на произвольный объект. Хотя и в течение ночи, и в течение года набор светил, проходящих через околосолнечную область, меняется, он остается ограниченным. Кроме того, телескоп с жидким зеркалом (ТЖЗ) невозможно навести даже на объекты, попавшие в поле его зрения. Они будут проплывать над телескопом по изогнутым траекториям (если телескоп не на экваторе). Пока использовались фотопластинки, можно было рассчитывать только на фотографирование звездных треков, а от них пользы не особенно много.

Ситуация изменилась, когда на смену фотопластинкам пришли приемники излучения нового типа на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Светочувствительные элементы – пиксели – в ПЗС-приемнике выстроены в набор отдельных линеек, составляющих ПЗС-матрицу. При обычной кадровой съемке изображение считывается одновременно со всех линеек. Поскольку из-за вращения Земли картинка смещается по небосводу, телескоп во время экспозиции нужно поворачивать следом за ней. Такой режим съемки на-

к концу XX века подоспели и аэростатические подшипники, позволившие свести к минимуму трение при вращении чаши со ртутью, и синхронные электродвигатели, обеспечивающие высокую стабильность вращения. Основные препятствия на пути к качественному жидкому зеркалу, описанные Вудом, теперь преодолеваются куда проще и лучше, чем в начале XX века. Начиная с 1980-х годов в различных лабораториях создавались все более и более крупные зеркала, которые постепенно стали основой для создания современных ртутных телескопов. Эти работы проводились преимущественно в Канаде, но кое-что делалось и в других странах. В СССР эксперименты с жидкими зеркалами в конце 1970-х – начале 1980-х проводили Виктор Васильев и Александр Согоконь из Харьковского университета: они предложили гасить колебания жидкого зеркала, заставляя чашу с ним плавать в другой вращающейся чаше – например, с водой. Правда, до создания телескопа эта работа не дошла.

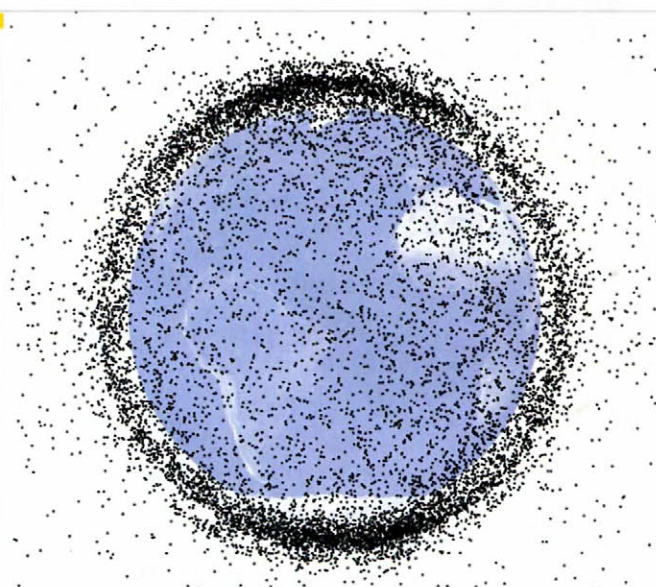
Что отражается в ртути

Хотя возможности ТЖЗ ограничены, в нашей Вселенной есть объекты, которые всегда попадают в поле зрения телескопа, куда бы он ни был направлен. Во-первых, это сама Вселенная. Высказывались предложения использовать ТЖЗ для проведения космологических обзоров, которые позволили бы уточнить строение Вселенной по наблюдениям большого

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕЛЕСКОПОВ С ЖИДКИМ ЗЕРКАЛОМ ОГРАНИЧЕНЫ, НО В НАШЕЙ ВСЕЛЕННОЙ ЕСТЬ ОБЪЕКТЫ, КОТОРЫЕ ВСЕГДА ПОПАДАЮТ В ПОЛЕ ЗРЕНИЯ ТЕЛЕСКОПА, КУДА БЫ ОН НИ БЫЛ НАПРАВЛЕН.

зывается режимом слежения. Он позволяет получать снимки с почти неограниченным временем экспозиции, наблюдая очень слабые объекты.

Однако одновременность считывания изображения со всех линеек вовсе необязательна. Если звезда, галактика или любой другой объект «ползет» по матрице поперек линеек, изображение можно считывать с них по очереди, а потом складывать в общую картинку. Этот режим съемки называется сканированием, поскольку телескоп как бы сканирует небо. Если нас интересует конкретный небесный объект, режим сканирования не особенно удобен, но при проведении обзорных наблюдений он в некоторых случаях даже практичнее режима слежения и сейчас широко применяется. Правда, в режиме сканирования длительность экспозиции ограничена временем прохождения звезды от одного края матрицы к другому, но ее можно увеличить, суммируя снимки одной и той же области неба, полученные в разные ночи. Кроме того, ограниченность времени съемки на телескопах с жидкими зеркалами с лихвой компенсируется возможностью делать эти зеркала очень большими.



В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ насчитывается порядка 20 000 искусственных объектов, среди которых есть и функционирующие спутники, и фрагменты космических аппаратов самых разных размеров. Дешевый телескоп с жидким зеркалом мог бы проводить регулярные патрульные наблюдения в расчете на то, что большая часть фрагментов рано или поздно пролетит над ним и будет обнаружена.

ПАРК ЛЕГЕНДА

СПОРТИВНО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫЙ КВАРТАЛ



реклама

**Ваше событие
станет легендой!**

- ★ Многофункциональный комплекс с тремя аренами
- ★ Уникальная outdoor площадка более 20 000 кв. м
- ★ Лучшие хоккейные матчи
- ★ Продажа VIP-лож

WWW.PARKLEGENDS.RU

ул. Автозаводская, д. 23А

количества галактик и квазаров. Поскольку Вселенная считается изотропной (одинаковой во всех направлениях), вполне можно ограничиться наблюдениями узкой полосы, опоясывающей небо.

Второй объект, который виден с Земли во всех направлениях, — это земная атмосфера. Телескопы с жидкими зеркалами используются для исследования свойств атмосферы — в частности, натриевого слоя на высоте 100 км. Атомы натрия заставляют светиться с помощью лазерного импульса, а ТЖЗ регистрирует это свечение и по его параметрам определяет свойства натриевого слоя (такое искусственно вызванное свечение используется при астрономических наблюдениях с адаптивной оптикой, так что свойства натриевого слоя необходимо хорошо знать).

На протяжении восьми лет (с 1995 по 2002 год) в США работал трехметровый телескоп с ртутным зеркалом обсерватории NODO (NASA Orbital Debris Observatory) для наблюдений космического мусора. Однако если фрагменты мелкие (менее 10 см), сложно даже оценить их количество. В этом отношении дешевый и большой инструмент, позволявший видеть фрагменты размером до 2,5 см, оказался весьма полезен.

Большой зенитный телескоп

На сегодняшний день самый большой ТЖЗ создан в Канаде, в Университете Британской Колумбии группой специалистов под руководством Пола Хиксона. Это



ЗЕРКАЛО ТЕЛЕСКОПА LZT представляет собой пластиковую чашу из семи шестиугольных и шести треугольных сегментов. Сегментам с помощью термоформовки придается форма параболоида вращения, чтобы минимизировать толщину слоя ртути готового зеркала.

как терминатор Т-1000 (вот из него, кстати, зеркало получилось бы идеальным).

Чуть выше зеркала над всей его площадью протянута горизонтальная прозрачная пленка. Для получения необходимого фокусного расстояния (9 м) зеркало должно совершать один оборот примерно за 8,5 с. Это означает, что край зеркала движется со скоростью больше 2 м/с, поднимая ветер, способный нарушить гладкость поверхности ртути. Защитная пленка создает «ловушку» для воздуха, внутри которой он вращается

ТЕЛЕСКОПЫ С ЖИДКИМИ ЗЕРКАЛАМИ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ АТМОСФЕРЫ — В ЧАСТНОСТИ, НАТРИЕВОГО СЛОЯ НА ВЫСОТЕ 100 КИЛОМЕТРОВ.

Большой зенитный телескоп (Large Zenith Telescope, LZT) с диаметром зеркала 6 м. Его создание обошлось всего в \$0,5 млн (в ценах середины 1990-х годов)! В телескопе используется аэростатический подшипник, на котором закреплена стальная рама сложной конструкции, поддерживающая чашу из поливинилхлорида. Рама должна быть очень жесткой: если гигантская чаша будет хоть немного гнуться, вращение тяжелой жидкости сильно раскачает ее. Суровые требования предъявляются и к вертикальности оси вращения — отклонение от вертикали должно быть меньше угловой секунды.

Поверхность чаши покрыта эпоксидной смолой и сама имеет параболическую форму, на доли миллиметра отличающуюся от желаемой формы зеркала. Это сделано для того, чтобы свести к минимуму необходимую толщину слоя ртути. И цель не только в том, чтобы сократить расход ртути. Как уже говорилось, рябь на жидком зеркале гасится тем эффективнее, чем меньше его толщина. На шестиметровом LZT толщина слоя ртути составляет менее 1,5 мм. Меньше сделать не получается, так как при попытке создать чрезмерно тонкий слой ртуть распадается на отдельные капельки,

вместе с зеркалом. Пленка, конечно, сама несколько портит изображение, но с этим приходится мириться.

Будущее «жидких» телескопов

Следующий крупный проект ТЖЗ планируется реализовать на куда более качественной площадке. Международный телескоп с жидким зеркалом (International Liquid Mirror Telescope, ILMT) строится сейчас в Индии, в обсерватории Девасталь на высоте 2540 м. Это будет четырехметровый телескоп, посвященный решению уже не тестовых, а научных задач. Предполагается, что ILMT на протяжении пяти лет будет сканировать полосу неба шириной полградуса, детектируя различные переменные источники — вспышки на звездах, события микролинзирования и проч., — а также обнаруживая новые галактические и внегалактические объекты. Конечно, площадь этой полоски — 156 кв. градусов — ничтожно мала по сравнению с полной площадью неба (более 40 000 кв. градусов), но ее малость будет компенсироваться тщательностью наблюдений. В настоящее время на обсерватории возводится павильон для этого телескопа, сам он уже доставлен в Индию, благо перевозка

ЖУРНАЛ О ТОМ, КАК УСТРОЕН МИР

Популярная Механика

ПОДПИШИТЕСЬ НА ПЕЧАТНУЮ
ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА
И ПОЛУЧИТЕ ПОДАРОК!



ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ
СТОИМОСТЬ ПОДПИСКИ:
на 6 номеров – 695 руб.
на 12 номеров – 1360 руб.

ПОДАРКИ ДЛЯ ПОДПИСАВШИХСЯ НА ПЕЧАТНУЮ ВЕРСИЮ



Читатели, первыми оформившие подписку на журнал, получают в подарок набор инновационных продуктов для бритья от Gillette. В комплект входит новая бритва Fusion ProGlide Power с революционной технологией FlexBall, благодаря которой бреющая головка может менять угол во всех трех плоскостях. Кроме того, читатели получают наборы из двух сменных кассет с пятью ультратонкими лезвиями и средство Gillette Fusion ProGlide 2 в 1 – гель для бритья и крем для ухода за кожей в одном продукте.

СПЕШИТЕ! КОЛИЧЕСТВО ПОДАРКОВ ОГРАНИЧЕНО!



iPad-версия
iPhone-версия
СТОИМОСТЬ ГОДОВОЙ ПОДПИСКИ 849 руб.

ПОДПИШИТЕСЬ НА МОБИЛЬНУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА

Доступно в AppStore и Google Play



Android-версия
СТОИМОСТЬ ГОДОВОЙ ПОДПИСКИ 799 руб.



16+

Подписка по телефону: (495) 232-9251
факс: (495) 232-1760
Подписка по e-mail: podpiska@imedia.ru

Подробности на сайте www.porrmesh.ru

РАСПЕЧАТАЙТЕ КУПОН ПОДПИСКИ С РЕНВИЗИТАМИ С САЙТА WWW.PORRMESH.RU • СРОК ДЕЙСТВИЯ ДАННОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИСТЕКАЕТ 31 ДЕКАБРЯ 2015 ГОДА • ЦЕНЫ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫ ТОЛЬКО ПО РОССИИ; КУРС ВАЛЮТЫ – ПО КУРСУ ЦБ РОССИИ НА ДЕНЬ ОПЛАТЫ • ОТДЕЛ ПОДПИСК НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ПРОДАЖУ ЖУРНАЛОВ ИЗ ПОЧТОВОГО ЯЩИКА. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ДОСЫЛКА НЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ *ДЛЯ УЧАСТИЯ В РОЗЫГРЫШЕ ПОДАРКОВ ЗА ПОДПИСКУ В ЗАЯВКЕ НЕОБХОДИМО УКАЗАТЬ НОМЕР ПОДПИСНОГО КУПОНА

ТЖЗ особой проблемы не составляет. Создатели проекта, которым управляет Льежский университет (Бельгия), рассчитывают увидеть «первый свет» весной 2016 года.

Других значимых проектов ТЖЗ в настоящее время нет, но есть множество идей по их совершенствованию. Например, если использовать в качестве опоры для отражающей пленки ферромагнитные жидкости, можно формировать поверхность зеркала не вращением, а магнитным полем. Это открывает возможность установки ТЖЗ на космических аппаратах. Но самая амбициозная идея в отношении ТЖЗ состоит в том, чтобы установить такой инструмент на Луне, замахнувшись на совершенно недостижимый в земных условиях диаметр порядка сотни метров и сверхпроводящий магнит в качестве подвески. Конечно, ртуть здесь уже не подойдет, но на ее роль могут претендовать ионные жидкости с отражающим напылением. Правда, до сих пор не удалось подобрать жидкость, которая не замерзала бы при лунных температурах, однако авторы идеи (Э. Борра, П. Хиксон и их коллеги) считают, что это обязательно будет сделано.

Проблема в том, что сборку такого телескопа должны будут осуществлять люди, то есть его появление придется отложить до того времени, когда на Луне появятся постоянно действующие базы. Однако и в этом случае доставка, сборка и эксплуатация ТЖЗ обойдутся существенно дешевле, чем то же самое для обычного телескопа. Но это, конечно, дело очень далекого будущего.

Пока же создается впечатление, что эта технология в значительной степени недооценена, однако в будущем ситуация может измениться. Астрономические цены на «обычные» большие телескопы тормозят создание подобных инструментов, хотя потребность в больших зеркалах высока. Относительно дешевый и простой в изготовлении большой ТЖЗ может оказаться удачной альтернативой, особенно для задач, которые не требуют точного наведения. Такой телескоп, например, мог бы проводить регулярные патрульные наблюдения космического мусора в расчете на то, что большая часть фрагментов рано или поздно пролетит над ним и будет обнаружена.

Расширить возможности ТЖЗ могла бы дополнительная оптика, с помощью которой можно значительно расширить площадь доступного неба. Второе направление усовершенствования жидких телескопов состоит в том, чтобы научиться их наклонять. Со ртутью такое, может быть, и не получится, а вот с зеркалами в виде пленки из наночастиц, например серебра, на поверхности вязкой вращающейся жидкости такие эксперименты проводятся. Впрочем, конечно, нужно помнить, что все такие усовершенствования мало-помалу будут лишать ТЖЗ их главного преимущества – низкой стоимости.

ПМ

Автор благодарит за помощь в подготовке статьи Пола Хиксона (Университет Британской Колумбии, Канада) и Жана Сурдея (Льежский университет, Бельгия).

СБОРКУ «ЖИДКОГО» ТЕЛЕСКОПА НА ЛУНЕ ДОЛЖНЫ БУДУТ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ ЛЮДИ, ТО ЕСТЬ ЕГО ПОЯВЛЕНИЕ ПРИДЕТСЯ ОТЛОЖИТЬ ДО ТОГО ВРЕМЕНИ, КОГДА ТАМ ПОЯВЯТСЯ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИЕ БАЗЫ.

ЧАША МЕЖДУНАРОДНОГО ТЕЛЕСКОПА с жидким зеркалом (ILMT) изготовлена из кевлара, натянутого на основание из вспененного полимера. Чтобы она наиболее близко соответствовала форме идеального зеркала, ее покрывают слоем полиуретана путем ротационной полимеризации: жидкий мономер наливают в чашу и поддерживают вращение до тех пор, пока покрытие не затвердеет.

