

Луны, Солнца и планет провоцирует учителя к применению окуляров с очень малыми фокусными расстояниями (до 4 мм и короче). Однако к ожидаемому успеху это не приводит, так как, во-первых, снижается наблюдаемая яркость объекта и, следовательно, контрастность деталей; во-вторых, становятся заметными искажения, создаваемые атмосферой; изображение дрожит, деформируется, перестает быть четким; наконец, имеется ограничение, связанное с существованием явления дифракции света на краях объектива — даже при идеальном состоянии атмосферы и высоком качестве оптической системы изображение, которое объектив строит на фокальной поверхности, искажено дифракционной картиной (нельзя при помощи окуляра рассмотреть детали, которых объектив в принципе построить не может).

Исследования советского оптика Д. Д. Максудова показали, что максимально допустимое увеличение, которое еще имеет смысл использовать, работая с конкретным телескопом, можно оценить по формуле

$$\Gamma_{\text{макс}} = 1,43 D. \quad (2)$$

Следовательно, для школьного телескопа $\Gamma_{\text{макс}} = 114\times$, т. е. максимальное увеличение практически реализуется имеющимся окуляром с $f_{\text{ок}} = 10$ мм.

Учителю полезно знать также минимальное увеличение, которое целесообразно применять при наблюдениях. Это так называемое равнозрачковое увеличение, т. е. такое, при котором диаметр выходного зрачка телескопа d равен диаметру зрачка глаза наблюдателя d' . Диаметр зрачка глаза зависит от освещенности и меняется в пределах от 2 до 8 мм. Если $d > d'$, то часть света, вышедшего из окуляра телескопа, не попадает в глаз наблюдателя. Поскольку $D = 80$, следовательно, при ночных наблюдениях минимальное увеличение школьного телескопа

$$\Gamma_{\text{мин}} = 10\times.$$

2. При планировании наблюдений рассеянных скоплений, широких звездных пар, Луны, Солнца, спутников больших планет необходимо знать величину угла поля зрения телескопа. Угол поля зрения 2ω есть угловой размер области неба, доступной для наблюдений в телескоп. Понятно, что угол поля зрения ограничивается не только диаметром самого объектива, но и полем зрения применяемого

окуляра, которое определяется его фокусным расстоянием.

М. М. Дагаев¹ предлагает определять теоретический угол поля зрения (в минутах градусной меры) по формуле:

$$2\omega = \frac{2000'}{\Gamma}, \quad (3)$$

где Γ — применяемое увеличение, а $2000'$ — средний угол поля зрения окуляров, прилагаемых к школьному телескопу. Углы поля зрения, рассчитанные для 80-мм телескопа по этой формуле ($25'$, $50'$, $1^\circ 10'$), существенно отличаются от тех же углов, приводимых в пособии Г. С. Яхно (соответственно $30'$, $1^\circ 07'$, $1^\circ 35'$). Впрочем, это различие не имеет большого значения, так как угол поля зрения легко определить опытным путем, наблюдая в окуляр прохождение звезды вдоль диаметра объектива при неподвижном телескопе. Тогда

$$2\omega = (15 \cos \delta) \Delta t. \quad (4)$$

Здесь Δt — время (в минутах) прохождения звездой поля зрения телескопа, которое отмечается по секундомеру; $15 \cos \delta$ — зависящий от δ коэффициент перевода угла из часовой меры в градусную; δ — склонение наблюдаемой звезды. В результате 2ω получается в минутах градусной меры.

Рабочий угол поля зрения $2\omega_1$ отличается от определяемого по формуле (4) из-за наличия оптических aberrаций, таких, как кривизна поля, дисторсия, астигматизм, кома. Эти aberrации искажают изображение наблюдаемого объекта тем больше, чем ближе расположено оно к краям поля зрения. Для большинства любительских наблюдений можно полагать

$$2\omega_1 = 0,8 \cdot 2\omega. \quad (5)$$

3. С диаметром объектива телескопа и применяемым увеличением тесно связана такая практически важная характеристика инструмента, как проникающая сила $m_{\text{пред}}$, которая определяется предельной величиной звезд, доступных наблюдениям в середине темной безлунной ночи вдали от освещенных населенных пунктов.

Приводимая в пособиях М. М. Дагаева и Г. С. Яхно формула

$$m_{\text{пред}} = 2,1 + 5 \lg D \text{ (мм)} \quad (6)$$

¹ Дагаев М. М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. — М.: Высшая школа, 1972, с. 251—253.

получена из предположения, что проницающая сила зависит только от диаметра объектива. Однако это не совсем верно. Известно, что, применяя сильные увеличения, можно существенно снизить влияние фона неба и получить выигрыш в предельной звездной величине звезд, доступных наблюдениям. К тому же большую роль играет состояние атмосферы в момент наблюдений, так называемое качество изображений. Даже при идеальной прозрачности, но при сильных вертикальных и горизонтальных перемещениях воздушных масс уменьшается предельная звездная величина наблюдаемых звезд, так как изображение становится более расплывчатым, размазанным, а не сконцентрированным в точку. Путем многочисленных экспериментов получена эмпирическая формула для предельной звездной величины звезд, наблюдаемых с визуальным телескопом:

$$m_{\text{пред}} = C + 2,5 \lg D + 2,5 \lg \Gamma. \quad (7)$$

Здесь C имеет разные значения в зависимости от качества изображения звезд: $C \approx 4$ при отличных изображениях, $C = 3,0$ при хороших, $C = 1,9$ при плохих и $C \leq 1,8$ при очень плохих (неудовлетворительных).

Легко видеть, что формула (6) дает для школьного телескопа (независимо от применяемого увеличения и качества изображений) лишь одно значение проницающей силы: $11,6^m$. Формула (7) для того же телескопа дает диапазон от $13,5^m$ (для увеличения $80\times$ и отличного качества изображения) до $10,0^m$ (для увеличения $28,6\times$ и плохих изображениях).

Обе формулы (6) и (7) для учителей имеют сугубо познавательный интерес. На практике проницающая сила, рассчитанная по формулам (6) и (7), почти никогда не реализуется; виной тому целый ряд обстоятельств, влияющих на прозрачность и яркость неба: наличие аэрозолей в атмосфере, легкие, не видимые глазом облака, подсветка неба городским освещением, Луной и т. п. Кроме того, реальная «рабочая» проницающая сила телескопа даже при самых благоприятных условиях обычно бывает меньше расчетной, поскольку сам инструмент не идеален (плохое качество линз объектива, загрязнение зеркала).

Для проведения доброкачественных

наблюдений полезно приобрести практический навык быстро оценивать прозрачность атмосферы и «рабочую» проницающую силу телескопа.

Для оценки прозрачности можно предложить качественный метод, который в течение десятков лет применяется в Пулковской обсерватории АН СССР. Прозрачность считается «отличной», если невооруженным глазом при нормальном зрении (таким считается зрение, при котором в темную ночь при отличных атмосферных условиях видны звезды до 6^m) и при отсутствии подсветки от Луны в рассеянном скоплении Плеяды (его легко найти в созвездии Тельца) можно увидеть 9—10 звезд. Если видно 7—8 звезд, прозрачность «хорошая», если удастся наблюдать только 4—6 звезд, — «плохая». Прозрачность считается «неудовлетворительной», если в Плеядах различаются только 2—3 звезды. Обычно при такой прозрачности астрономические наблюдения не проводятся.

Звезды скопления Плеяды можно использовать и для определения «рабочей» проницающей силы телескопа. Для этого необходимо, применив наибольшее увеличение, навести инструмент на Плеяды и отождествить самые слабые звезды, видимые в него, с картой Плеяд. Видимая величина слабых отождествленных звезд и дает оценку рабочей проницающей силы телескопа. Целесообразно каждое определение прозрачности и рабочей проницающей силы записывать в журнал и на основании этих записей составить таблицу, которой и пользоваться при наблюдениях.

Необходимо отметить, что при наблюдении протяженных объектов (например, газово-пылевых туманностей, галактик, комет) проницающая сила будет почти на 2^m меньше, чем при наблюдении звезд.

4. Для определения разрешающей силы телескопа учителю обычно предлагается теоретический критерий Релея для визуальных лучей ($\lambda = 0,555 \text{ мкм}$):

$$\delta'' = \frac{140''}{D_{\text{мм}}}. \quad (8)$$

Критерий получен для наблюдений в идеальных атмосферных условиях и при наличии абсолютно правильной дифракционной картины изображения.

В соответствии с (8) разрешающая сила школьного телескопа $\delta'' = 1'',75$, т. е. если угловое расстояние между компонентами двойной системы больше или равно этому значению, то наблюдатель увидит компоненты раздельно.

Однако формула (8), как и предыдущие, не может быть принята в качестве практического руководства для учителя. Например, как указывает А. В. Засов в статье «Телескопы и их возможности» (Физика в школе, 1977, № 1, с. 66—71), даже «идеальный объект при идеальных атмосферных условиях изобразит звезды как диски с угловым размером λ/D ». Уже отсюда очевидно, что два изображения звезд, находящихся в поле зрения на расстоянии $1'',75$, в школьный телескоп разрешаться не будут. И это в идеальном случае. В действительности качество изображения (которое можно оценить размером видимого диска звезды в геометрическом центре поля зрения телескопа) зависит от множества причин, в частности таких, как недостаточное качество изготовления оптической системы прибора, дифракция света на оправе объектива, атмосферные искажения из-за наличия и движения воздушных неоднородностей. Если первые две причины для конкретного телескопа являются постоянно действующими факторами, то атмосферные искажения, вносящие решающий вклад в ухудшение изображения, весьма изменчивы и практически не поддаются учету никакими формулами.

Для оценки качества изображений можно также рекомендовать учителю воспользоваться пулковской пятибалльной шкалой². В этом случае поступают так. Используя максимальное увеличение, наводят телескоп на яркую звезду. Качество изображения оценивается в 5 баллов, если звезда видна в виде яркого резкого ядра, окруженного целыми дифракционными кольцами; в 4 балла — если дифракционные кольца разорваны; в 3 балла — если отчетливо заметно довольно резкое ядро, а дифракционных колец

не видно; и наконец, 2 балла — если изображение неустойчивое, размытое, меняющее форму. При оценке качества изображения в 2 балла нецелесообразно проводить наблюдения с целью изучения тесных двойных звезд, темных полос на Юпитере, полутеней солнечных пятен, тонких деталей лунного рельефа. (Надо иметь в виду, что высокая прозрачность далеко не всегда сопровождается отличным качеством изображения.)

Для определения фактической разрешающей силы δ''_1 телескопа обычно рекомендуется наблюдать двойные (кратные) звезды, угловые расстояния между компонентами которых заранее известны. Здесь учитель сталкивается с тем, что стандартный школьный телескоп не имеет оптического визирного устройства, наведение же инструмента на звезду с помощью визуального визирования вызывает порой значительные затруднения. Нельзя также во время работы использовать экваториальные координаты двойной звезды — у школьного инструмента отсутствуют хотя бы грубо разделенные круги по часовому углу и склонению. Трудно также зафиксировать найденную звезду в поле зрения из-за чрезвычайно слабой устойчивости телескопа. Впрочем, если у учителя имеется большой опыт работы с немодернизированным школьным телескопом, то для вычисления δ''_1 он может воспользоваться данными наблюдений двойных звезд, которые публикуются во многих учебных пособиях.

Мы предлагаем определять разрешающую силу, используя наблюдения лунной поверхности. Не представляет никакого труда навести на Луну любой инструмент (в том числе и школьный телескоп) и отождествить видимые на Луне объекты с картой Луны. Угловой размер наименьшего кратера, различимого на Луне, дает оценку разрешающей силы δ''_1 телескопа.

В заключение отметим, что предлагаемые способы оценки прозрачности, качества изображения, рабочих углов поля зрения, проникающей силы и разрешающей силы школьных телескопов могут быть использованы также в качестве практических заданий в работе школьного астрономического кружка.

² См.: Курс астрофизики и звездной астрономии. — М.: Наука, 1973, т. 1, гл. VIII, с. 196.