

В.И.Есин (учитель физики и астрономии) <Vesin2007@yandex.ru>
 МБОУ Запрудновская СШ, с. Запрудное, Кстовского района, Нижегородской области

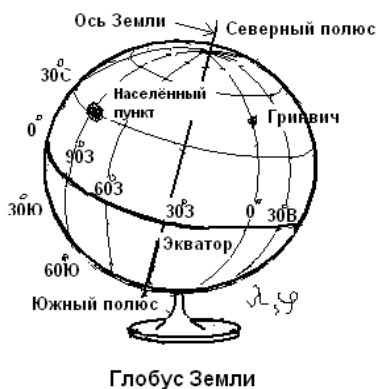
Решение астрономических задач на занятиях по физике

Решение задач сферической астрономии в разделе «Кинематика» в 9 классе при поэтапном усложнении решаемых задач

Первый уровень сложности - урочный

Тема: «Механическое движение»

Рассматриваем разновидности систем координат (одномерная, двухмерная, трехмерная), приводим их примеры (все теоретические вопросы и задачи по физике решаются сполна, только после этого идет астрономическая тематика). Одним из примеров является система координат на поверхности Земли, положение объектов на которой определяется с помощью двух координат – широты и долготы. Путем сравнения с данной системой вводим понятие экваториальной системы координат, положение объектов на которой определяется



Глобус Земли



Небесный глобус

двумя координатами – прямым восхождением и склонением. [1]

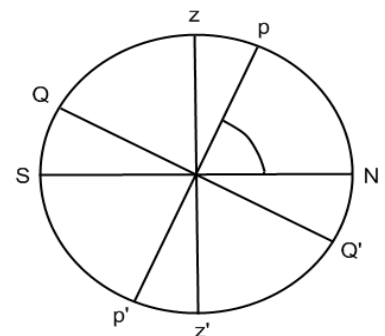
На этом этапе решаются задачи на определение экваториальных координат звезд по звездной карте, например:

- 1) определить, в каком созвездии находится объект с координатами ($\alpha = 6^h 32^m$, $\delta = 46^\circ 57'$).
- 2) определить экваториальные координаты звезды Альдебаран (α Тельца) и т.д. [2]

Второй уровень сложности - урочный

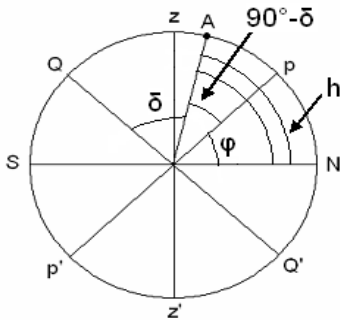
Тема: «Относительность механического движения»

Вводим понятие системы отсчета и рассматриваем движение тел относительно разных систем отсчета (все теоретические вопросы и задачи по физике решаются полностью, только после этого идет астрономическая тематика). Вводим понятие небесного меридиана, формируем представление о небесной сфере и рассматриваем процесс кульминации светила. Проецируем небесную сферу на плоскость небесного меридиана, делаем чертеж.



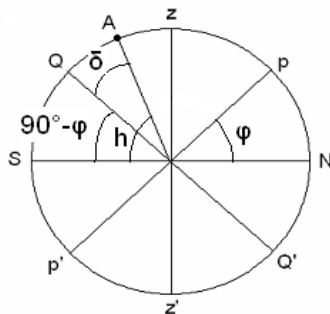
Рассматриваем связь между высотой светила (h), его склонением (δ) и широтой местности (φ) для верхней кульминации к северу и к югу от зенита, и для нижней кульминации.

Верхняя кульминация к северу от зенита



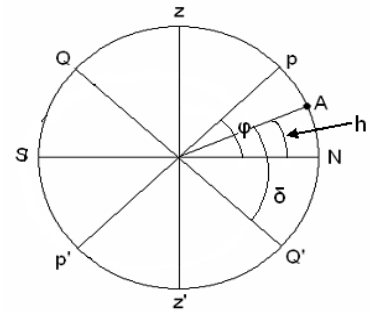
$$h = \varphi + 90 - \delta$$

Верхняя кульминация к югу от зенита



$$h = 90 - \varphi + \delta$$

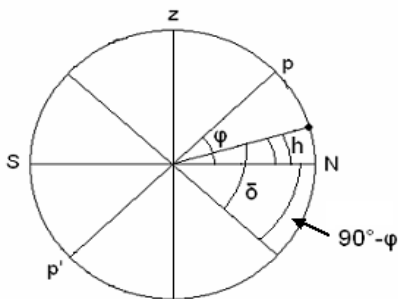
Нижняя кульминация



$$h = \delta - (90 - \varphi)$$

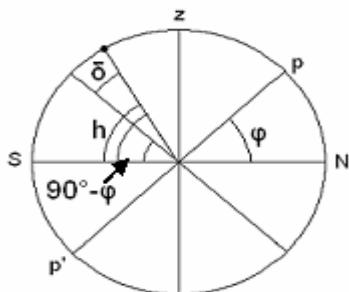
На этом этапе решаем задачи примерно следующего содержания:

(причем, решение задач сводится не к знанию и подбору нужной формулы, а к построению чертежа и выводу из него этой формулы)



1) каково склонение звезды, наблюдавшейся в г. Кстово ($\varphi = 56^{\circ} 09'$) в нижней кульминации на высоте 10° .

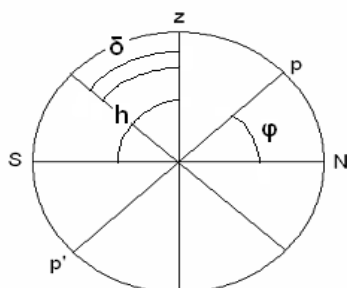
$$\delta = 90^{\circ} - \varphi + h \quad \delta = 90^{\circ} - 56^{\circ} 09' + 10^{\circ} = 43^{\circ} 51'$$



2) в Москве ($\varphi = 55^{\circ} 45'$) в полдень высота Солнца оказалась равной $57^{\circ} 17'$. Пользуясь астрономическим календарем или картой звездного неба, определите, в какой день года было сделано это измерение?

$$h = 90^{\circ} - \varphi + \delta \quad \text{отсюда следует } \delta = h + \varphi - 90^{\circ}$$

$$\delta = 57^{\circ} 15' + 55^{\circ} 45' - 90^{\circ} = 23^{\circ} 2' \quad \text{11 июня или 3 июля}$$



3) Определите географическую широту, на которой Солнце в день летнего солнцестояния кульминирует в зените; и другие. [3]

Из рисунка видно, что $\varphi = \delta$; $\delta = 23^{\circ} 27'$

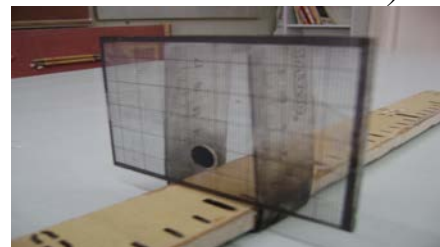
Третий уровень сложности – внеурочный
Подготовка к олимпиадам и турнирам

Рассмотрим непосредственный пример реализации данного уровня.

1) подготовка и участие в астрофизбое, организованном ИПФ РАН (2008 – 2009уч.г.).

Одна из предложенных задач турнира формулировалась так:

«Воспользовавшись фотографиями наблюдений солнечного и лунного затмений в августе 2008 года (см. Internet) и проведя дополнительные наблюдения, оцените размеры Луны и Солнца и расстояния до них (радиус Земли можете считать известным)».

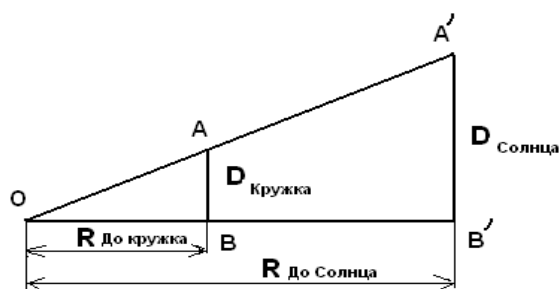
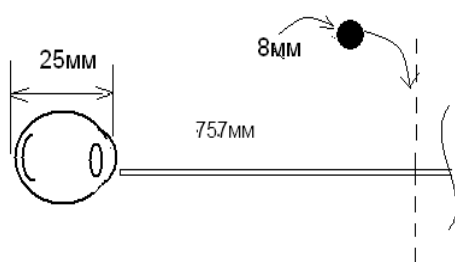


Для выполнения задания ребята сконструировали «визирную линейку». Для этого на стандартную метровую линейку прикрепили фильтр от объектива телескопа, с одной стороны, и миллиметровое стекло с приклеенным к нему чёрным кружком (8мм), с другой стороны. Это стекло можно было передвигать по линейке.

С помощью «визирной линейки» учащиеся определили отношения:

$R_{\text{до Солнца}} / D_{\text{Солнца}}$, применяя фильтр и $R_{\text{до Луны}} / D_{\text{Луны}}$ без фильтра.

При этом был учтён диаметр глазного яблока (25мм). Пунктирной линией обозначено место расположения чёрного кружка.



Из подобия треугольников OAB и OA'B' следует:

$$782\text{мм}/8\text{мм} = R_{\text{до Солнца}}/D_{\text{Солнца}}, \text{ где } D_{\text{кружка}} = 8\text{мм}, R_{\text{до кружка}} = 782\text{мм}.$$

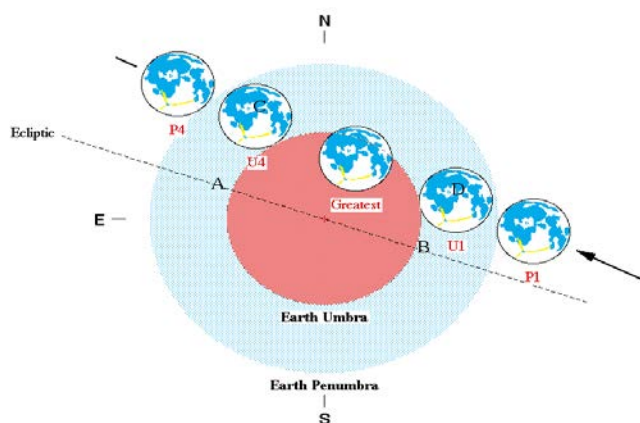
Расчёты для Солнца дали $R_{\text{до Солнца}}/D_{\text{Солнца}} = 98$,

Расчёты для Луны:

$$849\text{ мм}/8\text{ мм} = R_{\text{до Луны}}/D_{\text{Луны}}, R_{\text{до Луны}}/D_{\text{Луны}} = 106$$

Для сравнения линейных размеров Земли и Луны воспользуемся информацией из Internet о частном лунном затмении 16 августа 2008г.[4]

Будем считать, что Луна движется вокруг Земли с постоянной по модулю скоростью. Тогда можно воспользоваться прямопропорциональной зависимостью между линейными размерами и временем движения. Хотя затмение не центральное, но всё же:



Из рисунка следует:

$$1. CD=43 \text{ мм} \sim 189 \text{ мин.}$$

$$AB=37 \text{ мм} \sim x \text{ мин.}$$

$$AB/CD=x/189$$

$$x=162,6 \text{ мин.}$$

$$2. CD=43 \text{ мм} \sim 189 \text{ мин.}$$

$$D_{\text{Луны}}=14 \text{ мм} \sim X \text{ мин.}$$

$$CD/D_{\text{Луны}}=189/X$$

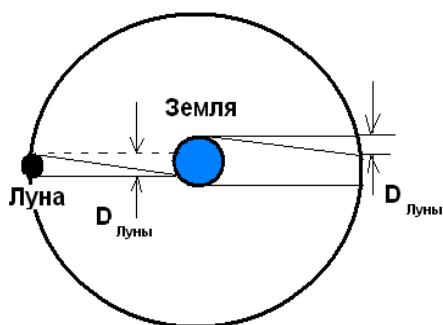
$$x=61,5 \text{ мин.}$$

$$3. D_{\text{Земли}} \sim 162,6 \text{ мин}$$

$$D_{\text{Луны}} \sim 61,5 \text{ мин}$$

$$D_{\text{Земли}}/D_{\text{Луны}}=2,64$$

$$D_{\text{Земли}}=2,64 D_{\text{Луны}}$$



Если считать орбиту Луны круговой, то как следует из рисунка, насколько уменьшается лунная тень, настолько и земная.

А лунная тень при солнечных затмениях практически касается Земли, поэтому наши измерения проводились в положении Луны, где земная тень была меньше на целый лунный диаметр. Поэтому

$$D_{\text{Земли}}=2,64 D_{\text{Луны}}+D_{\text{Луны}}=3,64 D_{\text{Луны}}$$

Теперь можно рассчитать диаметр Луны и расстояние до неё согласно полученным данным и ранее сделанным расчётам:

$$D_{\text{Луны}}=D_{\text{Земли}}/3,64=12800 \text{ км}/3,64=3516 \text{ км}$$

$$R_{\text{до Луны}}=106 D_{\text{Луны}}=106 * 3516=372696 \text{ км}$$

Рассчитаем относительную и абсолютную погрешности измерений для Луны:

$$E_{\text{Луны}}=\sqrt{E_{\text{Дкружка}}^2+E_{\text{Гдо кружка}}^2+E_{\text{CD}}^2+E_{\text{AB}}^2+E_{\text{DЛуны}}^2}=0,07$$

$$E_{\text{Дкружка}}=0,5\text{мм}/8\text{мм}=0,062$$

$$E_{\text{CD}}=0,5\text{мм}/43\text{мм}=0,011$$

$$E_{\text{AB}}=0,5\text{мм}/37\text{мм}=0,018$$

$$E_{\text{DЛуны}}=0,5\text{мм}/14\text{мм}=0,035$$

$$E_{\text{Гдо кружка}}=2\text{мм}/849\text{мм}=0,0022$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta D_{\text{Луны}} = E_{\text{Луны}} * D_{\text{Луны}} = 0,07 * 3516 \text{ км} = 246 \text{ км}$$

$$\Delta R_{\text{до Луны}} = E_{\text{Луны}} * R_{\text{до Луны}} = 0,07 * 372696 \text{ км} = 26088 \text{ км}$$

Ответ: $D_{\text{Луны}} = 3516 \text{ км} \pm 246 \text{ км}$

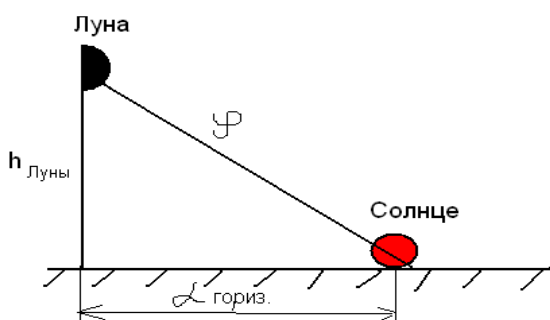
$$R_{\text{до Луны}} = 372696 \text{ км} \pm 26088 \text{ км}$$

Для определения размера Солнца и расстояния до него воспользуемся инстру-



ментом, измеряющим азимутальные и вертикальные углы. Для измерения азимутального угла Солнца от вертикала Луны учащиеся использовали самодельный фильтр для объектива трубы измерительного прибора.

Измерения проводились 4 января 2009 года. Луна при этом находилась в первой четверти.



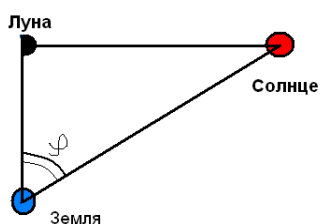
Результаты оказались следующими:

$$\alpha_{\text{гориз.}} = 74^\circ \pm 1^\circ$$

$$h_{\text{Луны}} = 49,5^\circ \pm 1^\circ$$

По теореме Пифагора находим φ.

$$\varphi = 89^\circ$$



Из прямоугольного треугольника находим расстояние от Земли до Солнца:

$$\cos \varphi = R_{\text{до Луны}} / R_{\text{до Солнца}}$$

$$0,017 = 372696 \text{ км} / R_{\text{до Солнца}}$$

$$R_{\text{до Солнца}} = 372696 \text{ км} / 0,017 = 21923297 \text{ км}$$

$$D_{\text{Солнца}} = R_{\text{до Солнца}} / 98 = 223707 \text{ км}$$

Относительная и абсолютная погрешности измерений для Солнца дают:

$$E_{\text{Солнца}} = \sqrt{E_\alpha^2 + E_h^2 + E_{\text{кружка}}^2 + E_{\text{до кружка}}^2} = 0,066$$

$$E_\alpha = 1^\circ / 72^\circ = 0,014$$

$$E_h = 1^\circ / 49,5^\circ = 0,02$$

$$E_{\text{кружка}} = 0,5 \text{ мм} / 8 \text{ мм} = 0,062$$

$$E_{\text{до кружка}} = 5\text{мм}/782\text{мм} = 0,006$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta D_{\text{Солнца}} = D_{\text{Солнца}} * E_{\text{Солнца}} = 14764\text{км}$$

$$\Delta R_{\text{до Солнца}} = R_{\text{до Солнца}} * E_{\text{Солнца}} = 1446937\text{км}$$

Ответ: $D_{\text{Солнца}} = 223707\text{км} \pm 14764\text{км}$

$R_{\text{до Солнца}} = 21923297\text{ км} \pm 1446937\text{км}$

Результаты измерений для Солнца далеки от действительных по нескольким причинам: во-первых, в действительности угол φ при точных измерениях даёт результат равный $89^{\circ} 51'$ и используя школьные инструменты, такое число получить сложно; во-вторых, значение $R_{\text{до Солнца}}/D_{\text{Солнца}}$ примерно равно 110, которое учащимся получить не удалось используя такой «грубый» прибор как визирная линейка из-за ряда причин, не зависящих от исследователя.

Литература:

1. Д.Моше «Астрономия», М., Просвещение, 1985г.
2. Г.И.Малахова, Е.К.Страут «Дидактический материал по астрономии», М., Просвещение, 1984г.
3. Б.А.Воронцов-Вельяминов «Сборник задач по астрономии», М., Просвещение, 1980г.
4. Internet.