Теоретический тур
Решения задач

1. **(4 балла)** Если высота в течение суток менялась в два раза, то это и будет соотношением между высотой Солнца в верхней и нижней кульминации:
$$h_{\text{ВК}} = 2h_{\text{НК}}$$
$$90° - \varphi + \delta_{\odot} = 2(\varphi + \delta_{\odot} - 90°)$$
$$\varphi = 90° - \frac{\delta_{\odot}}{3}.$$
В день солнцестояния $\delta_{\odot} = 23°27'$, следовательно, $\varphi = 82°11'$.

2. **(6 баллов)** Связь между местным временем (по которому живут обычные люди) и истинным солнечным дается следующей формулой:
$$T_M = T_{\odot} + \eta - \lambda + n.$$
В случае Минска $n = 3^h$, так как мы постоянно живем по летнему времени. Искомую дату можно получить, вычислив уравнение времени, соответствующее условиям задачи. Для Минска:
$$\eta = T_M - T_{\odot} + \lambda - n = 12^h00^m - 12^h00^m + 1^h50^m - 3^h = -1^h10^m.$$
Таких значений уравнения времени не бывает, следовательно, в Минске верхняя кульминация Солнца в 12.00 местного времени не бывает никогда.
Рассмотрим теперь случай с Прагой, которая расположена в 1-м часовом поясе:
$$\eta = T_M - T_{\odot} + \lambda - n = 12^h00^m - 12^h00^m + 0^h58^m - 1^h = -2^m.$$
Судя по графику, этому значению уравнения времени соответствуют 4 даты: 20 апреля, 1 июня, 5 октября и 20 декабря. Однако стоит помнить, что Европа продолжает переходить на летнее и зимнее время, и первые две даты не подойдут – в этот день $n = 2^h$. Следовательно, окончательно получаем только 2 дня: 5 октября и 20 декабря. Полученные участником результаты в пределах ±5 дней от этих дат засчитываются как правильный ответ.

3. **(4 балла)** 223 синодических месяца – это $223 \cdot 29{,}531^d = 6585{,}4^d$. Следовательно, через этот промежуток времени затмение повторится. 6585 суток – это 18 лет по 365 дней плюс 15 суток. Через 18 лет после 11.08.1999 мы получаем 11 августа 2017 года. От остатка в 15 дней отнимем еще 5 суток за счет попавших в этот интервал високосных дней (2000, 2004, 2008, 2012, 2016). Останется 10 дней, которые и следует прибавить к 11 августа. Итого получаем, что затмение повторилось 21 августа 2017 года. «Хвост» в 0,4 суток не изменит дату на 22, так как 11 августа 1999 года затмение наблюдалось утром по всемирному времени. Это было довольно значительное событие этого года, так как полоса полной фазы прошла через несколько американских штатов, куда благодаря хорошей инфраструктуре смогли добраться все желающие наблюдатели.

4. **(6 баллов за задачу)**
а) **(2 балла)** В момент наибольшего сближения астероид двигался перпендикулярно лучу зрения наблюдателя. Поэтому угловую скорость можно рассчитать по формуле::
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{7{,}65\ \text{км/с}}{50\ 000\ \text{км}} = 0{,}00015\ \text{рад/с} = 32''/\text{с} = 0{,}53°/\text{мин}.$$
Естественно, ответы принимаются в любых единицах измерения, если они указаны корректно.

б) **(4 балла)** Оценим, сможет ли глаз различить угловые размеры астероида:
$$\rho = \arcsin\frac{40\ \text{м}}{5 \cdot 10^7\ \text{м}} = 0{,}17''.$$
Это существенно ниже разрешающей способности глаза (1′), следовательно, различить размеры и форму астероида глазом не удастся.

Однако есть шанс, что астероид будет виден просто как звезда ярче 6-й величины. Постараемся оценить его блеск. Освещенность от небесного тела вблизи Земли будет зависеть от его размеров (площади диска) и расстояния до него (закон обратных квадратов):

$$E \propto \frac{R^2}{r^2}$$

В данном случае расстояние от Солнца не будет иметь значения, так как луна и астероид находились примерно на одинаковых расстояниях от светила. Сравним блеск астероида и блеск полной Луны, используя формулу Погсона:

$$\lg \frac{E_A}{E_Л} = 0{,}4(m_Л - m_A),$$

$$\lg \frac{R_A^2 \cdot r_Л^2}{R_Л^2 \cdot r_A^2} = 0{,}4(m_Л - m_A).$$

Подставляя числовые значения, получаем $m_A = 7{,}6^m$. Этот результат мы получили для случая полной фазы астероида (в реальности она была меньше). Даже если допустить, что он был в зените и уменьшить расстояние 50 000 км на величину радиуса Земли, получим $m_A = 7{,}3^m$ – т.е. в любом случае его было невозможно увидеть невооруженным глазом. Задача была решена для фазы астероида в 100%, в реальности его блеск был еще меньше.

Сравнение блеска астероида с пределом возможностей глаза является более жестким критерием видимости объекта, чем определение его угловых размеров. Поэтому если участник ограничился только проверкой блеска астероида и получил правильный ответ, можно выставлять полный балл за пункт б).

5. **(4 балла за задачу)** Из школьного курса астрономии мы знаем, что разрешающая способность объектива телескопа обратно пропорциональна его диаметру. Учитывая еще и зависимость от длины волны, можно написать:

$$\psi \propto \frac{\lambda}{D}$$

Очевидно, что наилучшая разрешающая способность будет достигаться при наблюдениях на минимально возможной длине волны – 0,6 мкм для «Джеймса Уэбба» и 0,11 мкм – для «Хаббла». Запишем отношение разрешающих способностей:

$$\frac{\psi_X}{\psi_{JW}} = \frac{0{,}11 \text{ мкм}}{0{,}6 \text{ мкм}} \cdot \frac{6{,}5 \text{ м}}{2{,}4 \text{ м}} = 0{,}5.$$

Т.е. получается, что разрешающая способность телескопа Хаббла будет в 2 раза меньше (в 2 раза лучше), чем у нового огромного «Джеймса Уэбба». Поэтому не стоит от нового телескопа ожидать детальных снимков звездных фотосфер, экзопланет и т.д. – перед ним ставятся другие задачи.

Всего - 24 балла за теоретический тур