

**МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА**  
**КОМИСИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ОЛИМПИАДАТА ПО АСТРОНОМИЯ**  
**XXIV НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ**  
<http://astro-olymp.org>

**IV кръг, 22 юли 2021 г., Варна, теоретичен тур**

**Старша възраст**

**Задача 1. Окултации от Луната.** По цялата небесна сфера с невъоръжено око се виждат около  $N_0 = 6000$  звезди. При някои от тях се наблюдават покрития (окултации) от Луната.

- А) Колко видими с просто око звезди могат да бъдат покрити от Луната за наблюдатели някъде по Земята:
  - в момента;
  - в рамките на следващия месец;
  - в рамките на следващите 100 години;
  - в рамките на следващите 26000 години? [7 т.]

Считайте звездите за разпределени равномерно по небесната сфера.

Астрономите Златомир Желев и Константин Кръстев участват в сливенско-бургаска наблюдателна експедиция в северното полукуълбо. Остават три дни до пълнолуние. По периферията на лунния диск астрономите забелязват две звезди, отстоящи една от друга на ъглово разстояние  $\beta = 15.5'$ . Тези звезди са на еклиптиката, като през цялата нощ височината на едната звезда над хоризонта е равна на височината на другата звезда над хоризонта. Започва окултация на една от звездите от Луната.

- Б) През кой месец и на каква географска ширина се правят наблюденията? [4 т.]
- В) Каква ще е продължителността на окултацията на тази звезда? [4 т.]

Лунната орбита да се приеме за кръгова.

Указание: Ъгловата площ на сфера е  $4\pi$  стерадиана (sr), като  $1 \text{ sr} \Leftrightarrow 1 \text{ rad}^2$ .

**Справочни данни:**

Период на смяна на фазите на Луната –  $T_S = 29.53 \text{ d}$

Орбитален период на Луната –  $T_L = 27.32 \text{ d}$

Наклон на лунната орбита спрямо еклиптиката –  $i = 5.15^\circ$

Радиус на лунната орбита –  $r_L = 384400 \text{ km}$

Радиус на Луната –  $R_L = 1738 \text{ km}$

Радиус на Земята –  $R_E = 6371 \text{ km}$

**Задача 2. Звездата на смъртта и GRB.** Във филма „Междувъзвездни войни“ (1977 г.) фантастична бойна станция, наречена „Звездата на смъртта“, унищожава планетата Олдерон, като насочва към нея мощен зелен лазерен лъч.

- А) Приемете, че масата на Олдерон е 0.9 земни маси, а радиусът ѝ е 6250 km. За да се унищожи Олдерон, лазерното оръдие на „Звездата на смъртта“ стреля в продължение на около 0.3 s. Оценете по порядък броя фотони в секунда, които лазерното оръдие изстрелва.

Дължината на вълната на монохроматичната зелена светлина е 550 nm. [4 т.]

Разбира се, построяването на толкова мощно оръжие е практически невъзможно. Но има явления в космоса, които са със сходна мощност и насоченост на потока. Такива са гама-избухванията (Gamma Ray Burst – GRB). При тях се наблюдава кратък и много силен проблясък в най-високоенергетичните електромагнитни вълни – гама-лъчите, което е последвано от по-дълго „послесветене“ в целия останал електромагнитен спектър, включително в оптичния диапазон. Източникът изстрелва материя по конусовидни струи, наречени джетове. Там се образуват гама-

лъчите, а при взаимодействието на част от гама-лъчите с междузвездния газ се поражда мощното послесветене.

- Б) Гама-избухванията биват два основни вида: кратки (около 30% от всички) и дълги (около 70%). Кратките GRB са с продължителност под 2 s (средна продължителност 0.2 s), а дългите са с продължителност над 2 s (средна продължителност 30 s). Кратките GRB се пораждат при сливане на двойка неутронни звезди, докато дългите се пораждат при свръхмощна свръхнова с колапс на ядрото на масивна звезда. Обяснете количествено (с пресмятания) защо кратките GRB трябва да са породени от сливания на неутронни звезди, а не от масивна звезда. [3 т.]
- В) Гама-избухването GRB 030329 е едно от по-близките засечени GRB – наблюдавано е в галактика с червено отместване  $z = 0.169$ . Около 1 час след избухването оптичното послесветене е със звездна величина  $V = 12.6$ . От какво разстояние GRB 030329 е било с видим блясък колкото Сириус, гледан от Земята? Сравнете това разстояние с разстоянията до близките галактики. [4 т.]
- Г) Представете си, че има планета-двойник на Олдерон на 1 AU от GRB 030329, в конуса на избухването. Оценете за какво време планетата ще бъде унищожена от избухването. Ъгълът на върха на конуса на GRB 030329 е  $2^\circ$ . Известно е, че значителна част от енергията на GRB се отделя в послесветене. [4 т.]

#### Справочни данни:

Маса на Слънцето –  $M_\odot = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$

Маса на Земята –  $M_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$

Абсолютна визуална звездна величина на Слънцето –  $M_{V\text{sol}} = 4.84 \text{ mag}$

Гравитационна константа –  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

Константа на Планк –  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

**Задача 3. Космическа засада.** Космическа станция с маса  $m = 1000 \text{ kg}$  се движи около Слънцето по кръгова орбита в равнината на еклиптиката, в същата посока, в която се движат и планетите. В даден момент дежурният астроном на станцията Гео Калфов наблюдава Марс и Церера, които са едновременно в максимална източна елонгация, а Слънцето е в съзвездие Скорпион. Гео веднага и без затруднение изчислява, че в този момент ъгълът на елонгация на Марс от Слънцето, който се наблюдава от Церера, е  $\alpha = 25.0^\circ$ .

- А) Намерете радиуса на орбитата на станцията. В кое съзвездие дежурният астроном Гео ще вижда Марс от борда на станцията? [3 т.]

В същия момент, за много кратък интервал от време в сравнение с орбиталния период на станцията, тя попада под обстрела на страховит звезден унищожител, пилотиран от върховния лидер на Първия ред, Виктор Герасимов. Снарядите на унищожителя са с малка маса  $m_A = 0.2 \text{ kg}$ , пренебрежима спрямо масата на станцията, но с огромна скорост  $v_A = c/15$ , където  $c$  е скоростта на светлината. Те се движат в равнината на еклиптиката. При обстрела те не могат да проникнат свръхздравия материал, изобретен от ракетния конструктор Маргулан Исмолдаев, и остават в корпуса на станцията, а дежурният астроном остава невредим.

Да предположим, че станцията се удря само от един снаряд. В резултат тя преминава на нова елиптична орбита, като първоначално движението ѝ е в посока към определена звезда. След време станцията достига афелий, при което от нея се наблюдава окултация на същата звезда от Слънцето.

- Б) От кое съзвездие е звездата? [5 т.]

Сега да предположим, че в периода на обстрел в станцията се врязва повече от един снаряд. Според информацията, съобщена от Гео, в този случай станцията пресича орбитата на Юпитер със скорост  $v_J = 22 \text{ km/s}$ .

- В) Тогава какъв трябва да е минималният брой снаряди в корпуса на станцията? [4 т.]

- Г) Ако освен информацията за скоростта е известно също, че при своето движение станцията пресича орбитата на Юпитер под ъгъл  $\theta = 60^\circ$ , какъв е минималният възможен брой снаряди в корпуса на станцията? [3 т.]

#### Справочни данни:

Маса на Слънцето –  $M_\odot = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$

Гравитационна константа –  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

Радиус на орбитата на Марс –  $r_M = 1.52 \text{ AU}$

Радиус на орбитата на Церера –  $r_C = 2.77 \text{ AU}$

Радиус на орбитата на Юпитер –  $r_J = 5.20 \text{ AU}$

#### Задача 4. Наблизо и надалеч.

- А) Изчислете периода на прецесия на земната ос  $T_p$  с точност до 100 години. [3 т.]

Две звезди с пренебрежимо собствено движение се наблюдават на голямо ъглово разстояние една от друга. В момента те се намират в една и съща небесна полусфера. Известно е, че след определен период от време двете звезди ще разменят сегашните си екваториални координати. Също е известно, че едната звезда ще се окаже на небесния екватор след време  $t_1 = 9900 \text{ уг}$ , а последният път, когато другата е била на небесния екватор, е бил преди време  $t_2 = 3000 \text{ уг}$ .

- Б) Намерете ъгловото разстояние между звездите  $\eta$ . [5 т.]

Две звезди  $A$  и  $B$  се наблюдават на малко ъглово отстояние една от друга в посока към пролетната равноденствена точка. Известно е, че наблюдавана от дадена географска ширина, звездата  $A$ , след време  $t'_1 = 30 \text{ уг}$ , ще кулминира на височината, на която сега кулминира звездата  $B$ . Също така, звездата  $B$ , преди време  $t'_2 = 35 \text{ уг}$ , е кулминирала на височината, на която сега кулминира звездата  $A$ .

- В) След колко време  $\Delta t$  двете звезди ще кулминират на една и съща височина над хоризонта?

Краткопериодичните ефекти ( $T < 20 \text{ уг}$ ) да се приемат за пренебрежими. [3 т.]

Собственото движение по ректасцензия на звездата  $A$  е  $\mu_{\alpha A} = +7.52''/\text{уг}$ . Разстоянията до звездите са съответно  $r_A = 1.71 \text{ pc}$ ,  $r_B = 6.49 \text{ pc}$ . В някакъв момент звездата  $A$  кулминира с  $\tau = 2.00 \text{ s}$  по-рано от звездата  $B$ .

- Г) Възможно ли е след точно половин година  $A$  да кулминира по същото истинско местно звездно време, по което в момента кулминира  $B$ ? [4 т.]

Указание: Истинското местно звездно време се определя относно моментното положение на пролетната равноденствена точка, за дадена точка от земната повърхност. Екваториалните координати не се влияят от аберацията на светлината.

#### Справочни данни:

Средна тропическа година –  $T_t = 365.24219 \text{ d}$

Средна звездна година –  $T_s = 365.25636 \text{ d}$

Наклон на земната ос –  $\varepsilon = 23.5^\circ$

Нутация на земната ос по дължина (по направление на прецесията)

