В.Г.СУРДИН

АСТРОНОМСКЕ ОЛИМПИЈАДЕ

ЗАДАЦИ СА РЕШЕЊИМА

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР **2**
1.ЗВЕЗДАНО НЕБО **3**
2. ЗЕМЉА: КООРДИНАТЕ, ОБЛИК, КРЕТАЊЕ **7**
3. МЕСЕЦ. ПОМРАЧЕЊА СУНЦА И ЛУНЕ **10**
4. ПРИВИДНО КРЕТАЊЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА **14**
5. ВРЕМЕ И КАЛЕНДАР **18**
6. КООРДИНАТЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА **20**
7. ПРИВИДНИ СЈАЈ, ЛУМИНОЗНОСТ, РАСТОЈАЊЕ **22**
8. АСТРОНОМСКИ ПРИБОРИ И ПОСМАТРАЊА **27**
9. КРЕТАЊЕ КОСМИЧКИХ ТЕЛА **32**
10. КОСМИЧКЕ ЕКСПЕДИЦИЈЕ И ПРИРОДА ПЛАНЕТА **36**
11. АСТРОФИЗИКА **39**
12. АСТРОНОМСКА ВИКТОРИНА **43**
13. ЗАДАЦИ СТАРЦА ХОТАБИЧА **45**
1.ЗВЕЗДАНО НЕБО **48**
2. ЗЕМЉА: КООРДИНАТЕ, ОБЛИК, КРЕТАЊЕ **53**
3. МЕСЕЦ. ПОМРАЧЕЊА СУНЦА И МЕСЕЦА **60**
4. ПРИВИДНО КРЕТАЊЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА **69**
5. ВРЕМЕ И КАЛЕНДАР **76**
6. КООРДИНАТЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА **81**
7. СЈАЈ, ЛУМИНОЗНОСТ, РАСТОЈАЊЕ **85**
8. АСТРОНОМСКИ ПРИБОРИ И ПОСМАТРАЊА **98**
9. КРЕТАЊЕ КОСМИЧКИХ ТЕЛА **111**
10. КОСМИЧКЕ ЕКСПЕДИЦИЈЕ И ПРИРОДА ПЛАНЕТА **125**
11. АСТРОФИЗИКА **132**
12. АСТРОНОМСКА ВИКТОРИНА **146**
13. ЗАДАЦИ СТАРЦА ХОТАБИЧА **149**
ПРИРУЧНИЧКИ ПОДАЦИ **153**
Основне фотометријске формуле 156
НЕМА КАРТА МЕСЕЦА 158
САТЕЛИТИ ПЛАНЕТА 161
Спектрални апарат 164
Хоризонтски координатни систем 167
Месни екваторски координатни систем 168
Небески екваторски координатни систем 169
Еклиптички координатни систем 170
Галактички координатни систем 171

ПРЕДГОВОР

Збирка решених задатака из астрономије и астрофизике аутора **В. Г. Сурдина из Москве (Државни астрономски институт „Штернберг“)** је добро позната многим „олимпијцима“. Овај превод на српски језик, који је урадио **Слободан Нинковић (Астрономска опсерваторија у Београду),** а приредио **Предраг Стојаковић (Ваљевска гимназија)**, представља једна скрипта за унутрашњу употребу. Друштво астронома Србије намерава да од овог материјала начини и објави књигу. Међутим, до тренутка када се књига појави, постојећа скрипта ће свакако бити од користи. Разуме се, да у садашњем стању материјал садржи и грешке. Стога се сви корисници моле да укажу на њих.

Београд, децембар 2015.

Др Соња Видојевић,
председник Националног астрономског олимпијског комитета Србије

1.ЗВЕЗДАНО НЕБО

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

1.1. Које сазвежђе срећемо два пута на карти звезданог неба? Да ли се оно види увече у марту?

1.2. Потпуно помрачење Сунца се догађа у другој половини јуна око месног поднева. Нацртати слику добијену из посматрања за распоред планета и најсјајнијих звезда које се тада виде узимајући у обзир да се Венера налази у максималној западној елонгацији, Меркур у доњој конјункцији, а Марс у опозицији.

1.3. Због чега, што смо ближе Млечном путу видимо више звезда, а мање далеких галаксија?

1.4. Коју звезду, Бетелгејз или Денеб, можемо дуже непрекидно да посматрамо на московском небу?

1.5. Које начине оријентације према звездама знате?

1.6. Шта знате о сазвежђима Шкорпије и Змијоноше?

1.7. Шта знате о сазвежђима Андромеде, Пегаза и Касиопеје? (Могуће је предложити мноштво задатака налик на два последња бирајући познатија или мање позната сазвежђа у зависности од припремљености полазника.)

1.8. Показати оријентационо где се налазе сазвежђа Штита, Лисице, Стреле, Малог коња, Зеца, Гаврана, Риса.

1.9. Описати изглед звезданог неба за време потпуног помрачења Сунца 30. јуна 1954. године показавши где се Сунце налазило.

1.10. Како ћемо видети крајем марта текуће године рано увече сазвежђа Великог медведа, Лава, Кочијаша и Ориона, а такође и планете које се виде голим оком и Месец?

1.11. Које сазвежђа носе имена прибора у физици?

1.12. Набројте седам најсјајнијих небеских објеката.

1.13. У које незодијачко сазвежђе и када доспева Сунце?

1.14. Шта је то зодијачка светлост? У које доба дана се она може посматрати и где су на Земљи услови за њено посматрање најбољи?

1.15. Опишите изглед звезданог неба са Марса.

1.16. Опишите изглед звезданог неба са Ио који је удаљен од Јупитера око шест Јупитерових полупречника.

1.17. Колико је потребно Месечевих дискова да се са њима покрије целокупно небо?

1.18. Када се на небу види/е Сунце? Месец? Звезде?

1.19. Имате пред собом незавршену песму А. С. Пушкина:

Изнад мене у плавилу јасном
Сија једна звездица
Десно је запад тамноцрвени,
Лево је близак Месец.

Одредите:
а) на коју страну хоризонта је песник био окренут лицем,
б) које је било доба дана,
в) која је била Месечева мена,
г) зашто се за Месец каже „близак",
д) која је то „звездица" могла да сија песнику?

1.20. Које родбинске везе постоје између митолошких јунака по којима су назване планете?

1.21. Нека се нека планета налази на угаоном растојању од Сунца једнаком 100^0. Каква је то планета - спољашња или унутрашња?

1.22. Зашто се метеорски ројеви Леониди и Квадрантиди тако зову?

1.23. Да ли се Марс може посматрати у сазвежђу Река Еридан?

1.24. Месец се налази у сазвежђу Стрелца. У којем сазвежђу ће бити Земља за посматрача на Месецу?

1.25. Побројте објекте Сунчевог система по реду смањивања њихових димензија (репови комета могу да се не помињу).

1.26. Објасните зашто се од поноћи до зоре види више метеора него од вечери до поноћи?

1.27. Оцените учестаност догађања окултација звезда видљивих голим оком када их заклања Месец.

1.28. Венера се налази у западној елонгацији. У које доба дана су повољни услови за њено посматрање?

1.29. Ловац у јесен иде ноћу у шуму у правцу Северњаче. Одмах по заласку Сунца он креће назад. Како он треба да се оријентише према Сунцу?

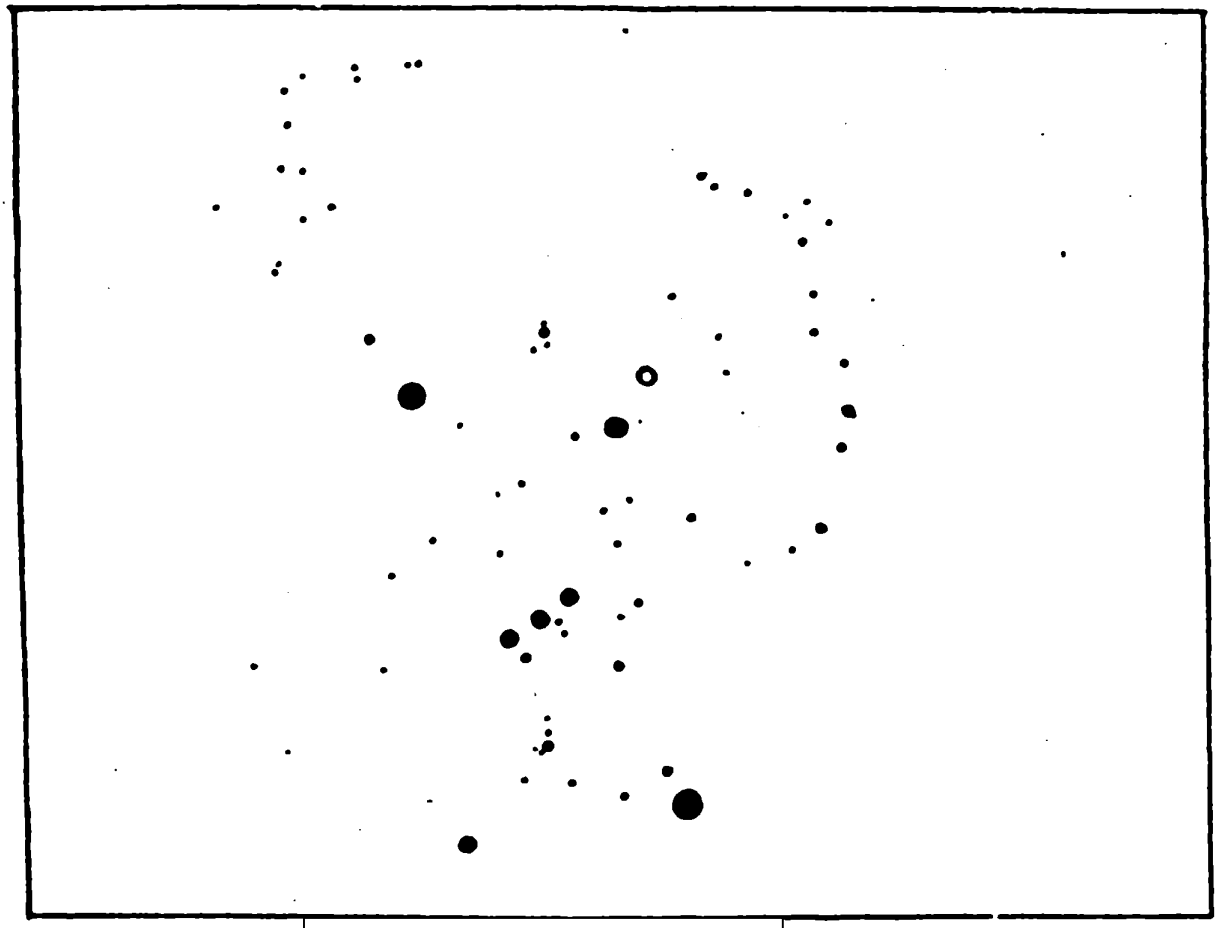
1.30. Зашто многи посматрачи закључују да вештачки Земљини сателити прелазе небо по малим цик-цак линијама?

1.31. „Све звезде,видљиве голим оком, и многе телескопске су већ давно побројене, регистроване и унесене на звездане карте", пише у „Курсу опште астрономије" од И. Ф. Полака. Зашто се у таквом случају број звезда, видљивих голим оком, никада не наводи тачно, него само приближно?

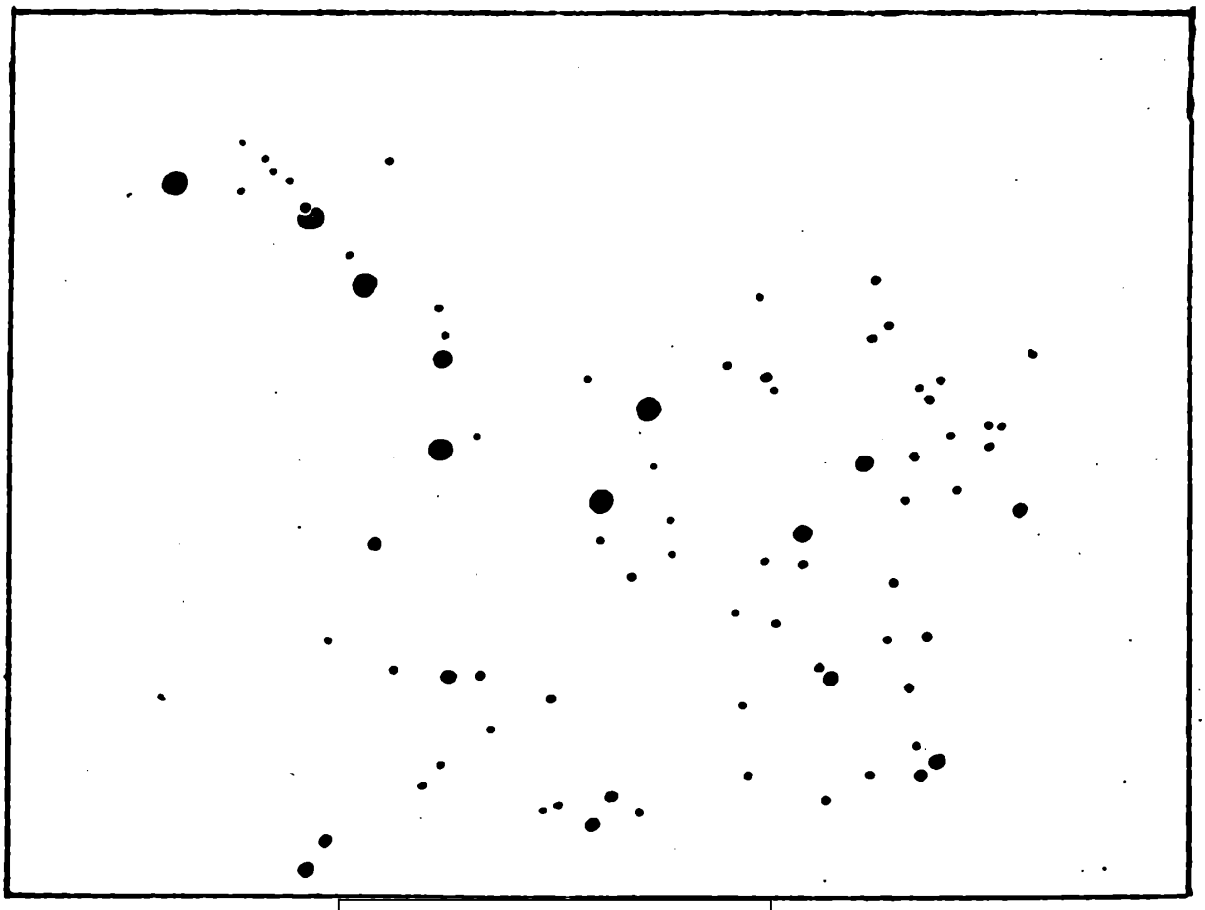
1.32. Колики може бити максималан угао између Северњаче и северног небеског пола услед прецесије Земљине осе? Када се то догодило последњи пут? Да ли је тада Северњача залазила на географској ширини Москве?

1.33. Ако сте одлучили да посматрате Месец недељу дана пре помрачења, на ком месту на небу треба њега тражити непосредно после заласка Сунца?

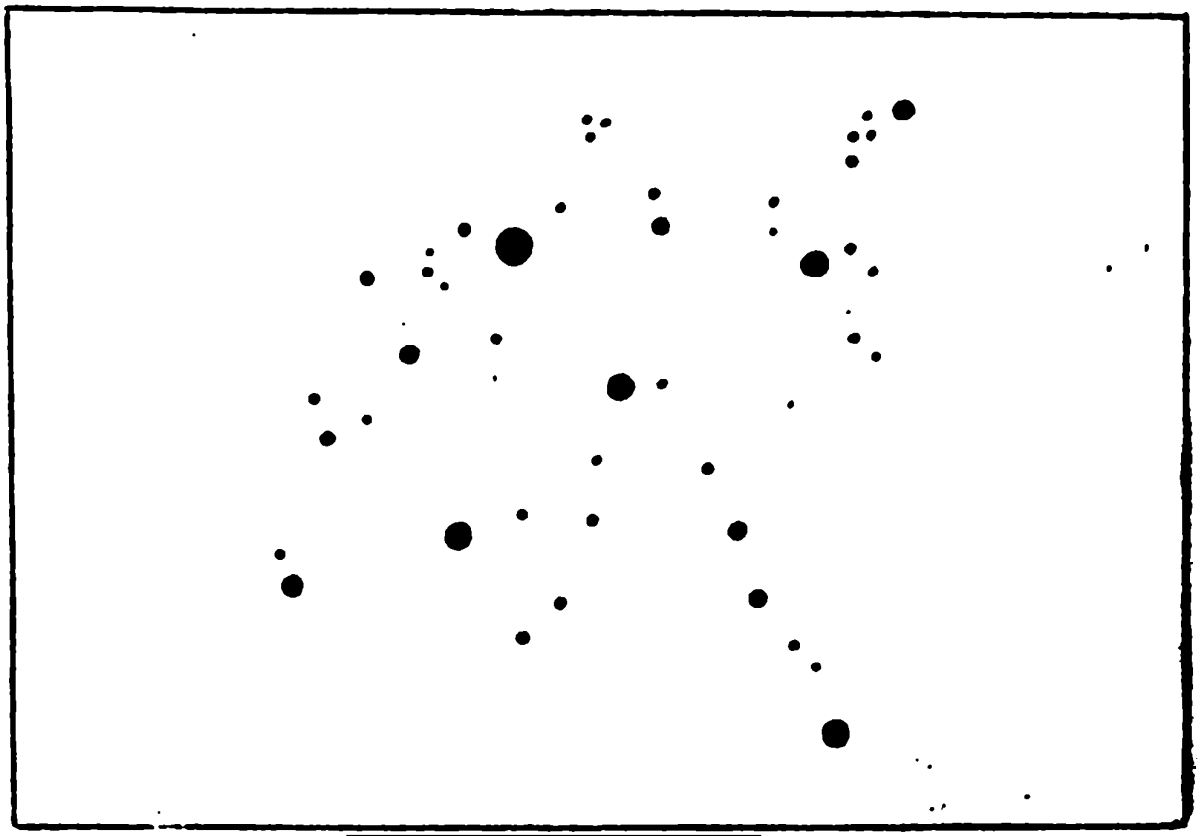
1.34. Користећи неме карте сазвежђа чији су примери приказани на Сликама 1.1-1.3, решите следеће задатке:
1) напишите српски и латински назив сазвежђа, име најсјајније звезде у њему, њену словну ознаку и звездану величину;
2) спојите звезде линијама тако да контуре сазвежђа одговарају његовом имену;
3) у које доба године је ово сазвежђе најбоље видљиво на географској ширини Москве?
4) које интересантне објекте знате у њему? Покажите их на карти.



Сл. 1.1. Нема карта сазвежђа.



Сл. 1.2. Нема карта сазвежђа.



Сл. 1.3. Нема карта сазвежђа.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

2. ЗЕМЉА: КООРДИНАТЕ, ОБЛИК, КРЕТАЊЕ

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

2.1. Који људи и где су се највише приближавали средишту Земље?

2.2. 21. марта у право подне сенка вертикалног стуба била је једнака његовој висини. На којој географској ширини се то догодило?

2.3. Наћи ширину, у километрима, метеорског роја чији су метеори посматрани од 16. јула до 24. августа. Претпоставити да се Земља креће управно на осу роја.

2.4. Зими је Земља ближа Сунцу него лети за неколико милиона километара. Зашто је онда зими хладније него лети?

2.5. Чему је једнак период обртања Земље око њене осе?

2.6. Два путника излазећи из једне тачке на екватору кренула су истом брзином на пут око света: један дуж екватора, а други дуж подневка. Да ли ће они истовремено да стигну у полазну тачку на крају свог пута?

2.7. Путање двеју комета се налазе у равни еклиптике. Њихова перихелска растојања износе 0,5 AJ и 1,5 AJ. Дужине њихових репова у перихелу су веће од 100 милиона километара. Да ли Земља може да прође кроз репове ових комета?

2.8. Највећи угаони полупречник Сунца, θ_{max}=16' 17,53", бележи се 4. јануара, а најмањи, θ_{min}=15' 45,34", 5. јула. У којим тачкама своје путање се тада налази Земља? За колико километара се разликују у њима растојања Земље од Сунца?

2.9. Када би се Земља обртала са периодом од 12 часова, колико бисмо тада имали Месечевих плима током једног дана?

2.10. За француског путника Жана Етјена, који је у лето 1986. године отпутовао сам са канадских обала на северни пол, једна швајцарска фирма направила је специјалан часовник чија казаљка обиђе пун круг не за 12, него 24 часа. Зашто је он имао потребу за таквим часовником? (Када је објављено ово саопштење, 7. јула 1986., у листу „Известија", нажалост, није било напоменуто да је знатно пре тога исти такав часовник био направљен у Москви за истраживаче Антарктика.)

2.11. Посматрач, смештен на Земљином екватору, све време види вештачки Земљин сателит (ВЗС) изнад своје главе. На којем растојању од Земљине површи се налази тај сателит и која му је линијска брзина којом обилази око Земље?

2.12. Колико је потребно геостационарних сателита да би се непрекидно (24 часа) одржавала веза између научних станица на северном и јужном полу?

2.13. На којој висини треба поставити телеантену на јужном полу да се могу примати телесигнали са геостационарног сателита?

2.14. Из које тачке на Земљиној сфери треба поћи да би се после кретања за 100 km на југ, па затим 100 km на исток и још 100 km на север, стигло у полазну тачку?

2.15. У роману Жила Верна „Ваздушни брод" говори се о томе да се око поноћи изнад брода „Албатрос" налазило сазвежђе Јужног крста „чије су четири сјајне звезде сијале у самом зениту", а отприлике час касније брод је прелетео јужни Земљин пол. Знајући да за четири сјајне звезде Јужног крста деклинација износи - $62{,}6^0$, - $59{,}2^0$, - $58{,}2^0$ и - $56{,}6^0$ респективно, открити астрономску нетачност у приповедању, наћи приближну вредност географске ширине на којој се „Албатрос" налазио око поноћи и брзину летења под претпоставком да је брод летео најкраћим путом ка полу.

2.16. Да ли ће бити на Земљи смене обданице и ноћи ако она престане да се обрће око своје осе?

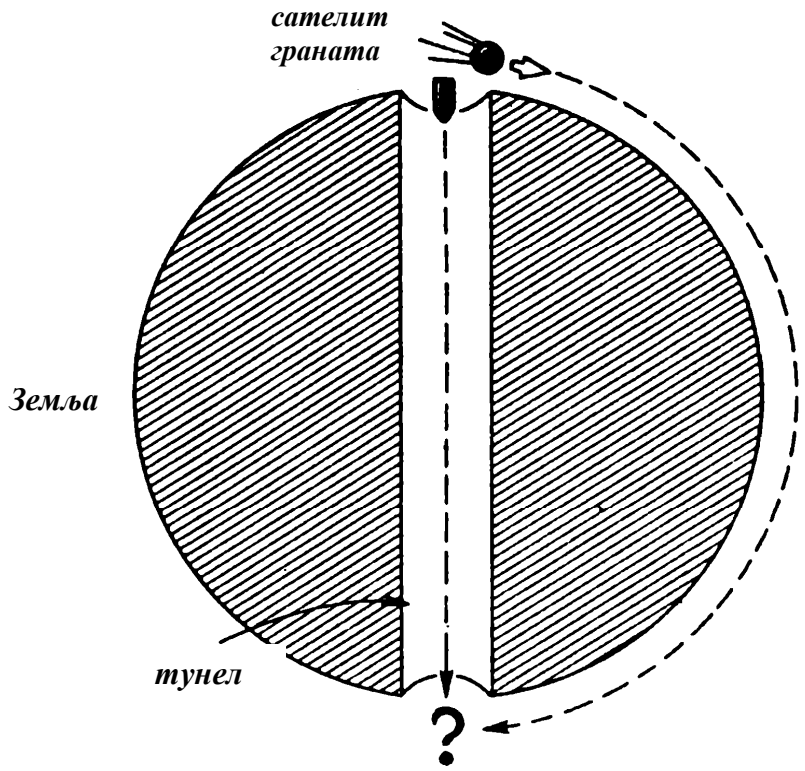
2.17. У радио-драми начињеној према роману Ж. Верна „Тајанствено острво" у тренутку када су путници открили сандук са за њих корисним стварима, а који је био избачен на обалу, један од њих пошто је извукао доглед из сандука и погледао кроз њега на морску површ, повикао је: „Господо, у кругу од 100 миља одавде не виде се остаци бродолома!". Колико је износило увеличање догледа?

2.18. Због чега је период смене годишњих доба (тј. тропска година) приближно за 20 минута краћи од периода обиласка Земље око Сунца (тј. сидеричке године)?

2.19. Како се може доказати да се Земља обрће и да обилази око Сунца?

2.20. Експлозија тунгуског метеорита примећена је на хоризонту града Киренска (на реци Лени) 350 км од места експлозије. Одредите на којој висини се догодила експлозија.

2.21. Од северног Земљиног пола ка јужном је пробијен вертикалан тунел. Једна граната је избачена без почетне брзине да пада у тунел, а друга се лансира на ниску кружну поларну путању (Сл. 2.1). Која ће од њих брже стићи до јужног пола?



Сл. 2.1. Како брже стићи до антипода? Задатак 2.21.

2.22. Зашто Земља и друге планете имају лоптаст облик, а астероиди и језгра комета неправилан?

2.23. За један дан на Земљу падне реда величине 10 хиљада тона космичке материје (метеорити, зрнца прашине, ...). Оцените за колико је то могло да промени трајање дана током еволуција наше планете.

2.24. Да ли ће се кроз неколико хиљада година променити клима на Антарктику услед прецесије Земљине осе?

2.25. Спектроскопска посматрања показују да се радијална брзина Регулуса (алфа Лава) у односу на Земљу мења од V_1 = - 27 km / s до V_2 = 33 km / s са периодом од једне године (знак минус код радијалне брзине значи приближавање). Узимајући у обзир да се та звезда налази на еклиптици и да Земљино растојање од Сунца износи $1{,}5\times10^{11}$ m израчунати гравитациону константу. Путању сматрати кружном, а масу Земље у односу на Сунчеву ($M_{☉}$ =2 $\times10^{30}$ kg) занемарљивом.

2.26. Колики може да буде највећи угао између Северњаче и северног небеског пола услед прецесије Земљине осе? Када се то догодило последњи пут? Да ли је том приликом Северњача залазила у Москви?

2.27. Расплет се приближавао: звер се уморила и стала као укопана. На 100 m према југу од медведа појавио се ловац. Он је прошао 150 m према истоку и окренувши се опалио тачно према северу. Погођен, медвед је пао. Питање: које је боје била медвођа кожа?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

3. МЕСЕЦ. ПОМРАЧЕЊА СУНЦА И ЛУНЕ

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

3.1. Да ли на Месецу постоје места где Земља излази и залази?

3.2. Одредити максималну висину, одговарајући датум, тачно време и сазвежђе за Месец за географску ширину Москве ($\varphi = 55^0\ 45'$) ?

3.3. Зашто се у пролеће на средњим географским ширинама срп ,,младог" Месеца налази високо изнад хоризонта, а његови рогови су усмерени нагоре, док се то у јесен догађа са ,,старим" Месецом?

3.4. Зашто се помрачења Сунца чешће догађају лети, а не зими?

3.5. Зашто се најдужа помрачења Сунца посматрају у тропским крајевима?

3.6. Да ли је могуће посматрати помрачење Сунца на северном полу?

3.7. Да ли је могуће да авион стигне Месечеву сенку која се креће по Земљиној површи?

3.8. Да ли је могуће посматрање помрачења Сунца са орбитне станице ,,Мир"? Ако није, онда зашто?, Ако јесте, колико ће бити његово трајање?

3.9. За време помрачења Сунца путник је приметио да је смањивање Сунчевог диска започело право одоздо. Где и када се ово могло догодити?

3.10. Посматрач је видео да је за време помрачења Сунца смањивање диска започело одозго. Где и када се ово могло догодити?

3.11. Неке године помрачење Сунца се догодило 2. јануара. Када се још могу догодити таква помрачења током исте године?

3.12. Помрачење Месеца се догађа за деклинацију Сунца $+20^0 50'$ и деклинацију Месеца $-21^0 16'$. Како ће Месец проћи кроз Земљину сенку?

3.13. Да ли је могуће у тренутку потпуног помрачења Месеца да се посматрају Месец и Сунце из исте тачке на Земљиној површи?

3.14. У којем случају је привидни пречник Месеца већи - када се он налази око зенита или близу хоризонта?

3.15. Где се прстенаста помрачења Сунца виде чешће - у зениту или близу хоризонта?

3.16. На којој је страни Месеца - на видљивој или невидљивој - светлије за време Месечевог дана? А када је на Месецу ноћ?

3.17. На географским половима Сунце је пола године изнад хоризонта, а пола године испод њега. А Месец?

3.18. Стручњаци сматрају да ће будући становници станица на Месецу дати предност, не 24-часовном, него 25-часовном дневном циклусу. Зашто?

3.19. Сматра се да Сунце осветљава тачно половину Месечеве лопте, док се друга половина налази у сенци. Да ли је, заиста, тако?

3.20. У којим крајевима на Земљи може данас да се види помрачење Месеца?

3.21. Обично се потпуно помрачење Сунца види унутар траке чија је ширина око 200 km, а дужина приближно 10 000 km. У просеку на Земљи се догађа једно потпуно помрачење годишње. Процените кроз колико година се понавља помрачење у једном исто месту, на пример у вашем граду.

3.22. Шта су то беле ноћи и зашто се оне догађају у С.-Петербургу, а не догађају у Одеси? (Географска ширина С.-Петербурга износи $\varphi_1 \approx 60^0$, а Одесе $\varphi_2 \approx 46{,}5^0$.)

3.23. У којој тачки на Месецу је најбоље да се гради Сунчева опсерваторија?

3.24. У које доба године се Месец за време пуног месеца налази више изнад хоризонта - зими или лети?

3.25. Да ли се на Урану догађају помрачења Сунца?

3.26. Почетком јануара у Москви је било потпуно помрачење Месеца. Како је Месец изгледао пола часа после првог контакта са сенком? Како је он изгледао за посматрача на Антарктику?

3.27. Колико може да траје окултација неке звезде Месецом?

3.28. Артур Кларк у роману ,,Одисеја 2001" овако описује излаз Сунца на Месецу: ,, ... на истоку на хоризонту извукао се танак лук неподношљиво јаке светлости. Остао је још читав час до тренутка када се Сунце у потпуности нађе над хоризонтом ..." (Одисеја 2001 МИР, 1991, с.78). Одредити селенографску ширину на којој се догађа овај део романа.

3.29. Ако је Месец изашао у $23^h\ 45^m$ у уторак, када ће се догодити следећи излаз?

3.30. Колико пута годишње се Месец обрне око своје осе?

3.31. Колико се дуго Месец види изнад хоризонта на екватору (без узимања у обзир рефракције)?

3.32. У роману Ф. Панферова ,,У име младог" (1960.) се каже: ,,Затим су биле лансиране ракете према Месецу и снимљена је његова друга страна, која је у вечном мраку, а ово је у свим земљама изазвало непревазиђено одушевљење". Нађите нетачности.

3.33. Да ли је могуће да се са северног Земљиног пола види помрачење Сунца 15. новембра?

3.34. Чему је једнак период обртања Месеца: синодичком или сидеричком месецу?

3.35. Услед плимске интеракције са Земљом Месец се креће по путањи облика спирале тако да се сваке године удаљи од Земље за 3 cm. Кроз колико година ће на Земљи престати потпуна помрачења Сунца?

3.36. У систему Земља-Месец догађа се парадоксална појава: услед плимског трења смањује се угаона брзина обртања, како за Земљу, тако и за Месец. Зар ово не противречи закону одржања момента количине кретања?

3.37. Да ли је могуће да се са Сатурнове површи види помрачење Сунца чији је узрок Титан који обилази на растојању од 1222 хиљаде km од центра планете и има пречник једнак 5150 km?

3.38. Са којом учестаношћу излази Земља на Месецу у области кратера Тихо?

3.39. Да ли се помрачења Сунца догађају на Марсу и на Јупитеру?

3.40. Услед плимског дејства Месец се сада мало удаљава од Земље. У прошлости полупречник његове путање је био мањи. Процените колико је износило трајање потпуних помрачења Сунца када је полупречник Месечеве путање био два пута мањи од садашњег.

3.41. Астрономи су одлучили да посматрају потпуно помрачење Сунца из авиона који лети на исток дуж појаса помрачења брзином од 900 km/s . помрачење се догодило око поднева на географској ширини једнакој 60^0 и његова фаза тоталности на Земљи је трајала 5 минута. Колико је она трајала за посаду авиона?

3.42. У које доба дана се види растући и опадајући Месец?

3.43. Да ли се може лансирати стационарни Месечев сателит?

3.44. Да ли је могуће истога дана видети и млад и стар Месец?

3.45. Колико пута годишње је Месец у зениту на екватору?

3.46. Јоханес Кеплер је у свом делу ,,Сан или посмртни састав о астрономији Месеца" писао: ,,Месец на Исланду се често не види у исто време када други народи виде пун месец" (подаци о руском издању књиге). На које доба године се односи ово запажање? Исланд се налази на географској ширини од 63^0 до 66^0.

3.47. Како се може доказати да је Месечева пепељава светлост изазвана Сунчевим зрачењем одбијеним од Земље?

3.48. Опишите појаве које би могли да виде посматрачи на Месецу за време потпуног Сунчевог помрачења на Земљи.

3.49. Због радио-везе са Земљом одлучено је да се на Месецу постави оштро усмерена антена. Да ли је за ту антену потребан систем за навођење или је довољно да се она оријентише једанпут приликом постављања?

3.50. Посматрач се налази на Месецу, на граници између видљиве и друге полусфере. Како се за њега мења са временом положај звезда и Земље у односу на хоризонт. Опишите укратко.

3.51. Када би Месечев албедо у оптичкој области износио не 7%, него тачно 0%, како бисмо онда могли да дознамо да Месец постоји поред Земље?

3.52. На којој страни Месеца - видљивој или оној другој - је дужа ноћ?

3.53. У приповеци „Апотекарка" налазимо овакве редове: „ Неочекивано иза удаљеног жбуња појављује се Месец широког лица. Он је црвен (уопште, када се појављује иза жбунова Месец је због нечега увек ужасно збуњен)". Питање гласи: зашто је Месец био црвен и широког лица? И да ли је од значаја што је жбуње било удаљено?

3.54. Оцените са тачке гледишта астрономије куплет из песме J. Кима:

А на Месецу, на Месецу - на светло-плавом облутке
Месечеви људи гледају, не скидају очи
Како изнад Месеца, изнад Месеца светло-плава лопта, Земљина лопта
Врло лепо излази и залази.

3.55. На којој планети се може посматрати потпуно помрачење Сунца које најдуже траје?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

4. ПРИВИДНО КРЕТАЊЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

4.1. Како протиче привидно Сунчево кретање на Урановом небу?

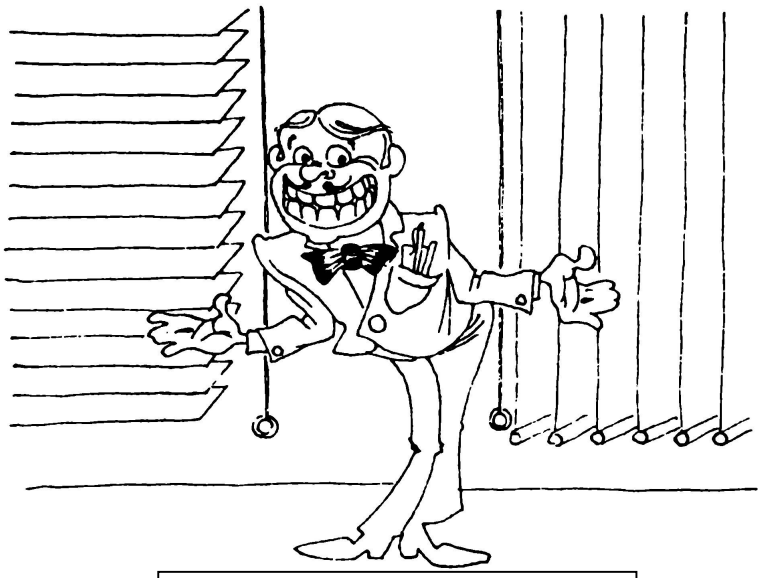
4.2. Какве привидне путање на небу треба да описују у свом паралактичком померању следеће звезде: алфа Лава, делта Ориона, гама Змаја и Северњача?

4.3. Разјасните смисао народне изреке: Месец се креће зими као Сунце лети.

4.4. 22. децембра за време потпуног помрачења Месеца догодила се окултација Јупитера (покрио га Месец). У ком сазвежђу се ово догодило и у ком положају у односу на Сунце и Земљу је био Јупитер?

4.5. Американац Стивен Калаган који је пловио сам на својој јахти претрпео је бродолом на Атлантику 1982. године. Обрео се на малом сплаву за спасавање који се надувава и одређивао је свој курс према звездама: „Ноћу ја вршим одређивање одмах користећи два оријентира: Северњачу и сазвежђе Јужног крста". Треба одредити приближно географску ширину и доба године за овај догађај; координате Јужног крста су: $\alpha \approx 12{,}5^h$ и $\delta \approx 60^0 \pm 5^0$.

4.6. Због чега у тропским крајевима радије стављају на прозоре жалузине са вертикалним разрезима, а на средњим ширинама са хоризонталним (Сл. 4.1.)?



Сл. 4.1. Које су жалузине боље?

4.7. Да ли може дан да буде дужи од године?

4.8. Описати кретање V Јупитеровог сателита (Амалтеа) - дневно и оно у односу на звезде – за посматрача на екватору планете сматрајући једноставности ради да се кретање сателита догађа у равни екватора и путање планете, а да се та раван поклапа са равни еклиптике. За периоде усвојити вредности од 12 часова (обилажење сателита) и 10 часова (обртање Јупитера).

4.9. Када би Земљина обртна оса била нормална на еклиптику, колико би онда трајала обданица на 40^0 северне географске ширине на дан летњег солстицијума?

4.10. На Земљи Сунчев дан траје дуже од звезданог, а на Венери је обрнуто. Зашто?

4.11. После колико времена „нестају" Сатурнови прстенови, тј. окрећу се боком Земљи и постају невидљиви?

4.12. Да ли и за Сунце постоји годишње паралактичко померање као за друге звезде?

4.13. Сматра се да Венеру видимо било ујутру, било увече. А, да ли је могуће њу видети и ујутру и увече истог дана?

4.14. У којим главним конфигурацијама се види Земља са Меркура и Марса и до ког угаоног растојања се највише удаљава од ње Месец на тим планетама?

4.15. У календару у коме се откидају листови пише да у Москви 21. марта 1990. године обданица траје 12 час. и 14 мин. Зашто се онда тај дан сматра за дан пролећне равнодневице?

4.16. На који начин би биће које живи на другој страни Месеца могло да закључи да Месец обилази око Земље?

4.17. Фотокамера непокретно уперена у јужни део неба свакодневно током године начини кратку експозицију тачно у 12 часова по грађанском времену на исту фотоплочу. Какву ће путању на снимку описати средиште Сунчевог диска?

4.18. Због чега се велике опозиције Марса догађају увек у исто доба године? Које?

4.19. Како да сазнамо да ли је посматрани објект далека маглина или комета?

4.20. На коју хоризонтску висину доспева Земља на једном од Марсових полова? Нагибни угао Марса према равни еклиптике износи 65^0.

4.21. Објасните због чега се понекад може видети уски Месечев срп у пролеће после младог месеца за цео дан раније него у јесен. На који начин ово зависи од географске ширине места посматрања?

4.22. Када и на којој висини ће се догодити кулминација Марса који је у опозицији 22. децембра у Москви ($\varphi = 56^0$). У којем сазвежђу се он тада налази?

4.23. У које време и на којој висини се догађа кулминација Јупитера у тренутку његове опозиције у Москви ($\varphi = 56^0$) 22. јуна? У којем сазвежђу се он види?

4.24. Синодички период спољашње планете износи 417 дана. Колико је њено средње растојање од Сунца? Каква је то планета?

4.25. За време које мене Месец достиже највећу висину у пролеће?

4.26. Угаоно растојање неке звезде од небеског пола је 45^0 . Да ли се она увек може видети из Јалте ($\varphi = 44{,}5^0$), С.-Петербурга, (60^0), Архангелска ($64{,}6^0$) и Ташкента ($41{,}3^0$)?

4.27. На којим географским ширинама звезде које не залазе могу имати кулминацију у зениту?

4.28. Под којим условима на планети неће бити смене дана и ноћи?

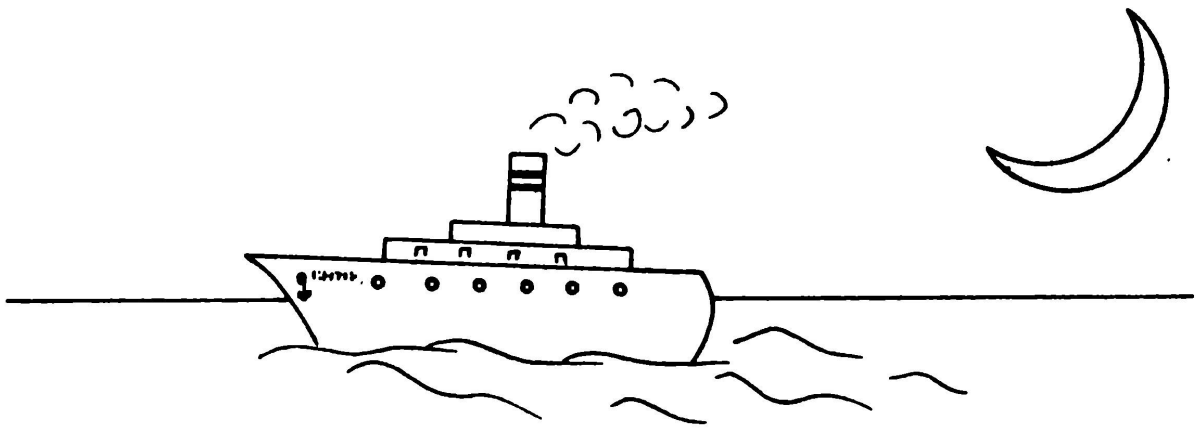
4.29. 12 зодијачких знакова заузимају исте углове на еклиптици. У којем од њих се Сунце налази најкраће време?

4.30. Колико времена треба Сунчевом диску да пређе линију хоризонта на екватору и на неком Земљиних полова?

4.31. На средњим географским ширинама Месечев диск излази иза хоризонта за три минута. Колико траје Земљино излажење на Месецу?

4.32. 21. марта у 9^h00^m по месном Сунчевом времену на екватору се посматра потпуно помрачење Сунца. Колико износи Сунчева хоризонтска висина за тај тренутак?

4.33. У роману „Маестро и Маргарита", у трећој глави, описује се мајско вече у Москви на Патриаршим прудовима: „Небо над Москвом као да је изгубило боју и потпуно јасно се на висини видео пун Месец, али још не златан, него бео." Какву нетачност је себи дозволио писац?



Сл. 4.2.

4.34. Какав астрономски догађај је приказан на Сл. 4.2.?

4.35. Посматра се небеско тело чији синодички период износи 1,25 година. Колики је његов сидерички период? Између орбита којих планета се оно креће?

4.36. Прави Сунчев дан је период између две узастопне истоимене кулминације Сунца, на пример, имеђу два месна поднева. Да ли трајање правог Сунчевог дана остаје исто током године?

4.37. Како изгледају дневно и годишње кретање Сунца за посматрача смештеног на јужном Земљином полу?

4.38. 22. јуна сте путовали по равном путу на север. Одједном вас је заслепила Сунчева светлост одбијена од ветробранског стакла аутомобила који се кретао вама у сусрет. То је било равно стакло са нагибним углом од 30^0 према вертикали. У које доба дана се ово десило? Колико је износила Сунчева висина? Приближно на којој географској ширини се то догодило?

4.39. Следећи градови имају дату географску ширину:

1. Гринич (Енглеска): 51^0
2. Сент-Луис (САД): 38^0
3. Калкута (Индија): 23^0
4. Мбандака (Конго): 0^0
5. Рио де Жанеиро (Бразил): -23^0.

У ком од њих је:
а) Сунце око зенита 21. јуна?
б) Сунце око зенита 21. децембра?
в) Северњача око хоризонта?
г) Звезде деклинације $+67^0$ не залазе?
д) Северњача се не види?
ђ) Звезде деклинације $+51^0$ пролазе кроз зенит?
Одговор уписати у облику:
слова за питања - а б в г д ђ
цифре за одговоре – __ __ __ __ __ __

4.40. Колико износи часовни угао неке звезде у тренутку њене доње кулминације?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

5. ВРЕМЕ И КАЛЕНДАР

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

5.1. Где је и када поларни дан дужи - на северном или на јужном полу?

5.2. Да ли је тачно да су 21. марта и 23. септембра трајања обданице и ноћи једнака свугде на Земљи?

5.3. Шта треба знати да би се градски часовник проверио уз помоћ Сунчевог?

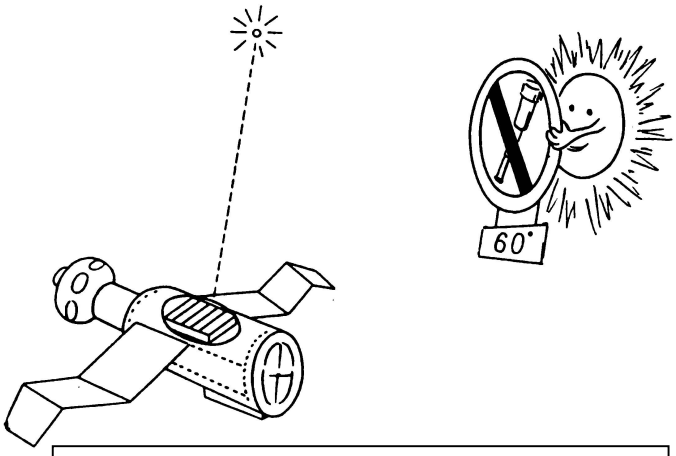
5.4. 20. марта у 18 часова по московском указном времену догађа се окултација звезда јата Влашићи услед Месеца. Испричајте како би се посматрала ова појава у Москви (II часовна зона), у Јекатеринбургу (IV зона) и у Комсомољску на Амуру (IX зона).

5.5. Где се може налазити посматрач за кога на дан летњег солстицијума Сунце излази у 6 часова по гриничком времену?

5.6. Када по московском времену 11. априла треба да се догоди кулминација Алгола ($\alpha = 3^h05^m$)?

5.7. На којој географској дужини је наступило месно средње подне у тренутку пријема шесте тачке радио-сигнала московског времена који је послат у 10 часова?

5.8. Колико би трајало Месечево обилажење око Земље када би он био од нас даљи четири пута него што је сада? Да ли је то уопште могуће?



Сл. 5.1. Не гледати у Сунце! Задатак 5.11.

5.9. Вега је у горњој кулминацији у $20^h00^m00^s$. У које ће време да се догоди њена горња кулминација кроз 8 дана?

5.10. Познато је да су Магеланови пратиоци по повратку са путовања око света изгубили у рачуну дана један дан. Како се ово објашњава? Како се избегава ова непријатност у данашње време? Ако је космонаут кренуо 10. маја у 10 часова изјутра и његов обилазак око Земље трајао 1,5 часова, тада ког датума и у ком тренутку се он вратио на Земљу?

5.11. Рендгенским телескопом постављеним на орбитној станици „Сољут-7" да би се избегло кварење апаратуре нису посматрани објекти који се налазе на угаоном растојању од Сунца мањем од 60^0 (Сл. 5.1.). Колико је требало да буде минимално трајање експедиције на „Сољуту-7" да би се могло истражити цело небо у рендгенској области?

5.12. Астрономско пролеће 1983. године почело је у 4^h39^m по гриничком времену. Када је оно почело по московском времену? Чему је једнако звездано време 21. марта у подне у Москви?

5.13. У 22 часа по московском времену звездани часовник је показао $8^h56^m03^s$. Шта ће да покаже звездани часовник у 22 часа по московском времену следећег дана?

5.14. „На средини поларне ноћи авион нас је спустио на северни пол. Само је узани Месечев српић осветљавао бесноначну ледену равницу." Које године је писац ових редова боравио на северном полу?

5.15. Да ли обданица једнако траје на видљивој и другој страни Месеца ако се сматра да обданица почиње када се горњи крај Сунца нађе изнад хоризонта у средишту дате хемисфере?

5.16. 21. марта у 9 часова по месном правом Сунчевом времену на екватору се види потпуно помрачење Сунца? Када ће тога дана да зађе Месец?

5.17. У једној години има 365,24 средњих Сунчевих дана. Како би се променио овај износ када би се обртање Земље догађало са истим периодом, али у супротном смеру?

5.18. Уочи Нове године по кружној екваторској путањи са периодом од 1,5 часова креће се орбитна станица. Колика је вероватноћа да космонаути пролете изнад неке области на Земљи у тренутку када тамо буде нова година? Колико пута у току дана ова ситуација може да се понови?

5.19. Где на хоризонту излази и залази тачка пролећне равнодневице 22. јуна и 22. септембра на географској ширини $\varphi = 56^0$? Чему једнако звездано време у тренутку њеног излаза и залаза?

5.20. Путник се нагнуо изнад бунара и видео у води лик Капеле ($\alpha = 5^h13^m$, $\delta = +45^0 57'$). На којој географској ширини се налазио путник и чему је било једнако звездано време?

5.21. Ако је 1. јануар понедељак, којим даном у недељи се завршавају проста и преступна година?

5.22. Колико ће дана имати фебруар 2100. године?

5.23. Када почиње 21. век?

5.24. Тачка пролећне равнодневице је изашла пре једног часа (по звезданом времену). Које је сада месно звездано време?

5.25. Авион који лети из Сан Франциска у Токио се приближава датумској граници. На њему је забележено да је тачно зонско време 16^h22^m и датум 31. децембар. Пет минута касније он је пресекао датумску границу. Које су вредности зонског времена и датума одмах после овога?

5.26. Којом брзином и у ком смеру треба да лети авион у области екватора да се месно Сунчево време за путнике у њему заустави?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

6. КООРДИНАТЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

Ова глава није велика зато што задаци из одређивања координата постоје као објављени у великом броју и, по правилу, су рутинског карактера. Одлучили смо да њима не преоптеретимо књигу и зато смо изабрали само неколико оригиналних. Међутим, ово не значи да умеће решавања оваквих задатака за нас има другостепени значај. Пре ће бити обрнуто: то је основа посматрачке астрономије, азбука без које се не можемо удубити у науку. На нашим олимпијадама неизоставно имамо овакве задатке.

6.1. 22. септембра 1985. год. Халејева комета је имала координате $\alpha = 6^h3^m$ и $\delta = +19^o45'$. Одредите када је по московском времену и на којој висини ова комета имала тога дана кулминацију у Москви ($\varphi = 56^o$, $\lambda = 38^o$).

6.2. Како се зову тачке пресека између алмукантара и хоризонта?

6.3. У тачки са географском ширином $+49^o$ Месец старошћу око 22 дана је имао кулминацију 22. јуна на висини од 46°. Одредити лонгитуду узлазног чвора Месечеве путање.

6.4. Две слабе звезде чије су координате $\alpha_1 = 18^h$, $\delta_1 = +40^0$ и $\alpha_2 = 6^h$, $\delta_2 = +10^o$ посматране су истовремено на истом алмукантару, једна у горњој, а друга у доњој кулминацији. На којој географској ширини, у ком тренутку по звезданом времену и у које доба године се ово догодило?

6.5. Да ли је могуће из Москве ($\varphi = 56^o$) да се посматрају истог дана у горњој и доњој кулминацији следеће звезде: Денеб ($\alpha = 20^h40^m$, $\delta = +45^o$) и Бетелгејзе ($\alpha = 6^h$, $\delta = +7^o$)?

6.6. У којим од доленаведених градова Месечев диск може ниједном, током свих 24 часа, да не буде испод хоризонта: Москва ($\varphi = 55^o45'$), Санкт-Петербург ($\varphi = 59^o56'$), Виборг ($\varphi = 60^o43'$), Јакутск ($\varphi = 62^o02'$)?

6.7. У истој ноћи посматране су обе кулминације за једну звезду: у горњој њена висина је била $h_G = 80^o$, а у доњој $h_D = 60^o$. Одредите географску ширину места посматрања и доба године.

6.8. Израчунати висину, азимут и часовни угао звезде β UMi ($\alpha = 14^h51^m$, $\delta = +74{,}5^o$) за тренутке горње и доње кулминације у тачки која се налази на северном стожернику (поларном кругу). Да ли тамо та звезда залази? Чему је једнако звездано време у тренуцима њених кулминација?

6.9. Мерења подневне висине Сунца 22. јуна дала су $h_1 = 57^o$, а 22. децембра $h_2 = 10^o$. Одредите географску ширину места посматрања и Сунчеву деклинацију за те дане.

6.10. Сунце је на северном полу изашло на московском меридијану. Где ће оно изаћи следећи пут?

6.11. Како треба усмерити телескоп монтиран екваторски да се посматра звезда чије су координате $\alpha = 13^h52^m$ и $\delta = 30^o$ ако је звездано време $t_s=12^h19^m$? Ако је укључен часовни механизам, колико времена ће онда та звезда да пресеца поље вида телескопа чији је пречник 45' ?

6.12. Колико износи деклинација звезда које на свим местима на Земљи могу бити на хоризонту?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

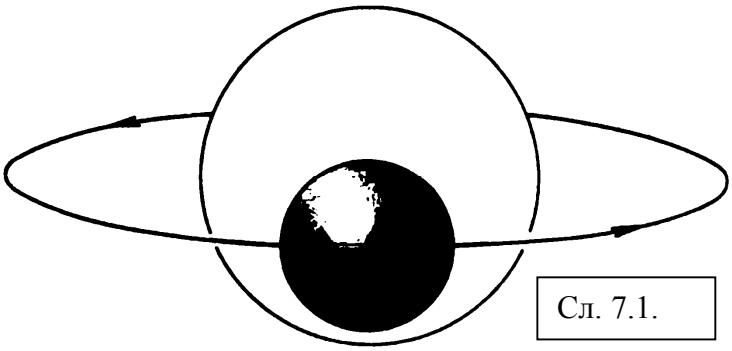
7. ПРИВИДНИ СЈАЈ, ЛУМИНОЗНОСТ, РАСТОЈАЊЕ

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

7.1. Растојање до Сиријуса (2,7 pc) се смањује сваке секунде за 8 км. Кроз колико година ће се привидни сјај Сиријуса повећати два пута?

7.2. Чему је једнак однос полупречника звезда у систему еклипсно двојне звезде типа Алгола (Сл. 7.1.) ако је помрачење централно, сателит таман, а однос привидног сјаја у максимуму и минимуму једнак n?



Сл. 7.1.

7.3. Колико пута ће да се промени полупречник цефеиде ако је амплитуда промене њеног привидног сјаја једнака $1{,}5^m$, а сјај јединице површине остаје константан?

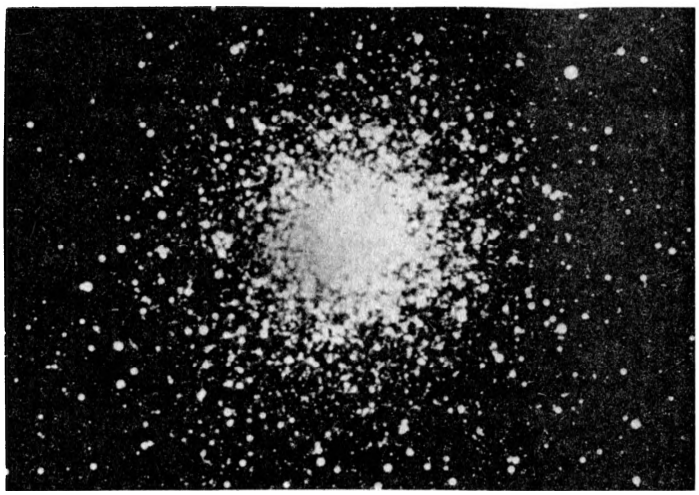
7.4. Одредити пречник звезде *o* Cet (Омикрон Кита) у километрима за њен привидни угаони пречник 0,065" и паралаксу 0,024".

7.5. Колико времена је прошло од конјункције до опозиције планете ако се њен привидни сјај за то време променио за 1^m?

7.6. У максимуму помрачења променљива звезда има привидни сјај 6^m, а у минимуму 8^m. Сматрајући помрачење за централно и да је сателит таман наћи однос запремина компонената за овај пар.

7.7. Паралакса Сунца је 8,80", а паралакса звезде 0,44". Колико пута је та звезда даље од нас него Сунце?

7.8. Колики су угаони пречник и звездана величина Сунца за посматрача на Плутону и колико пута е осветљеност те планете од Сунца разликује од осветљености коју има Земља од Месеца? Полазни одаци: угаони пречник Сунца за посматрача на Земљи је 32', растојање Плутона од Сунца 40 AJ, ривидна звездана величина Сунца $m_{\odot}$ = - 26,7 и Месеца $m_{☾}$ = -12,6.



Сл. 7.2. Збијено звездано јато. Зад. 7.9.

7.9. Збијено звездано јато (Сл. 7.2.) садржи милион звезда главног низа од којих свака има апсолутну звездану величину M_{ms} = 6, а такође и 10 хиљада црвених џинова чије су величине M_{rg}=1. Да ли је могуће видети то јато голим оком на растојању од 10 kpc?

7.10. На површи Марса у тренутку опозиције кроз телескоп се виде детаљи чије димензије нису мање од 100 km. Које ће да буду димензије детаља који ће се видети кроз исти телескоп око конјункције?

7.11. Године 1885. у Андромединој маглини посматрана је експлозија супернове (S And). С обзиром да је растојање до те галаксије једнако 690 kpc оцените када се десила дотична експлозија.

7.12. Године 1987. у Великом Магелановом облаку регистрована је експлозија супернове. Пре колико година се догодила та експлозија с обзиром да се ВМО налази на растојању од 55 kpc од нас?

7.13. Која је од двеју звезда сјајнија на земаљском небу: звезда чија је привидна величина m = 2 или звезда чија је апсолутна величина M= -5 и растојање од Земље 100 pc?

7.14. Халејева комета пролази кроз перихел на растојању 0,6 AJ од Сунца. Колико пута јаче Сунце осветљава њену површ у перихелу него у афелу?

7.15. Како су у епохи пре космичких летова астрономи могли да одреде моћ одбијања (албедо) за Земљу?

7.16. Оцените привидну звездану величину језгра комете која се налази на растојању од 40 AJ од Сунца ако полупречник језгра износи 5 km, а његов албедо 0,4.

7.17. Октобра 1982. године када је први пут виђена, Халејева комета је имала привидни сјај 24^m и била на растојању од 11 AJ од Земље и од Сунца. Оцените димензије језгра комете под претпоставком да оно одбија 40% светлости које прими.

7.18. Шта даје већу осветљеност Земљи: Сиријус (- $1,5^m$) или све звезде од 5. до 6. привидне величине којих на хемисфери ноћног неба има око 1600?

7.19. Звезда у интервалу привидне величине од 3^m до 4^m на небу има око 400, а од 4^m до 5^m око 1100. Које од њих дају Земљи већу укупну осветљеност?

7.20. Колико пута је светлије током ноћи када Месец сија него онда када нема месечине?

7.21. Са Марса се посматра Земља. Како она и Месец изгледају?

7.22. Венера у максималној елонгацији има сјај од - $4,1^m$. Колико износи Земљин сјај за посматрача који се налази на Венерином вештачком сателиту? За албедо Венере усвојити 0,8, а за Земљу 0,4.

7.23. На фотографијама Месеца заједно са Земљом, снимљеним на међупланетним станицама, Земља је веома сјајна, а Месец доста таман. Зашто?

7.24. Зашто када се подиже над хоризонтом звезда постаје све сјајнија?

7.25. Зашто је релација између луминозности цефеида и периода промене њиховог сјаја била откривена из посматрања звезда у Великом Магелановом облаку, а не у нашој Галаксији?

7.26. Објасните због чега тачност мерења растојања до далеких галаксија зависи од тога са којом тачношћу нам је познато растојање до Сунца.

7.27. Супернова у максимуму сјаја достиже апсолутну звездану величину M= -21. Коју ће учестаност имати регистрације супернових ако се обавља преглед читавог неба до граничне величине m= 14? Сматрати да се у типичној галаксији експлозија супернове догађа у просеку једном у 100 година, а да су саме галаксије распоређене у простору са концентрацијом једна галаксија у 10 Mpc^3.

Сл. 7.3. Исполирана лоптица – астрономски прибор

7.28. Иза ваших леђа је пун Месец, а испред вас исполирана метална лоптица на којој се види Месечев лик (Сл.7.3.). Оцените звездану величину Месечевог лика ако је растојање до лоптице L = 2 m, њен полупречник R= 0,5 cm, моћ рефлексије за површ лоптице k= 0,7 и Месечев сјај m = -12,7.

7.29. Једна од хемисфера сателита Ио је стално окренута ка Јупитеру. Да ли може тамо космонаут да чита књигу без светиљке у тренутку када се сенка тог сателита креће по Јупитеровој површи?

7.30. Колико слабих звезда од 6^m може да замени Венеру по сјају?

7.31. Просечна привидна величина Марса у опозицији износи око -2^m . Колика ће бити привидна величина Земље када се она посматра са Венере у доњој конјункцији Венере са Сунцем? (Албедо Марса износи 0,16; албедо Земље 0,36).

7.32. Угаони пречник Сунчеве пеге округлог облика која се налази недалеко од центра Сунчевог диска износи 17". Колика је њена стварна величина?

7.33. У околини Сунца прошавши растојање од 10 pc светлост неке звезде је ослабила за 1% услед апсорпције од стране међузвездане прашине. Ако се сматра да су честице прашине непровидне лоптице полупречника $r = 2\times10^{-5}$ cm, колико онда износи растојање између честица?

7.34. Месец одбија око 7% Сунчеве светлости која пада на његову површ. Зашто је тада сјај његове површи стотинама хиљада пута мањи него у случају Сунца? (Нетривијална варијанта питања: зашто онда Месец осветљава Земљу стотинама хиљада пута слабије од Сунца?)

7.35. Збијено звездано јато M 92 у сазвежђу Херкула има угаони пречник α = 8' и привидну величину $m \approx 6$, а растојање до њега је r = 10 kpc. Наћи апсолутну звездану величину јата и његов линеарни пречник. Под претпоставком да се јато састоји од звезда Сунчевог типа наћи број звезда у јату, њихову просторну густину и средње растојање између њих.

7.36. Галаксија која се у тренутку посматрања налази на растојању од 330 Mpc од нас има брзину V= 30 000 km/s. На ком растојању је била у тренутку када је њена светлост кренула ка нама ?

7.37. Луминозност Сиријуса је 22 пута већа од Сунчеве. На ком растојању од Сунца посматрач који лети ка Сиријусу може да примети да Сунце и Сиријус имају исту привидну величину? (Паралакса Сиријуса је π = 0,373".)

7.38. Астроном је у зениту видео метеор. Исти метеор видео је са орбите космонаут у правцу ка центру Земље. Оцените висину лета космичког брода ако је сјај метеора за космонаута био за $1{,}5^m$ слабији него за астронома.

7.39. Амерички сликар Артур Вудс предлаже да се на орбити око Земље постави „Скулптура света" - као један торус на надувавање, начињен од танког алуминизираног филма који одбија 70% светлости. За пречник торуса се предлаже да износи 800 m, а за дебљину 50 m. Процените сјај (по привидној величини) ове скулптуре сматрајући да се она креће по путањи синхронизованој са Сунцем на висини од 1000 km.

7.40. Г. Галилеј у књизи „Мајстор пробраних послова" (руско издање М., Наука, 1987, на стр. 178) пише: „На ... питање зашто Месец није гладак и нема клизаву површ ја ћу да одговорим да је Месец, као и све друге планете, уствари таман и да светли само када је осветљен Сунчевом светлошћу. Према томе, његова површ треба да буде храпава, јер када би била глатка и клизава, као огледало, светлост одбијена од ње не би стизала до нас и све те планете биле би за нас невидљиве." Да ли је Галилеј у праву?

7.41. Да ли је могуће приметити голим оком геостационарни сателит чији пречник износи 3 метра?

7.42. Која ће звезда за космонаута који се налази близу Проксиме Кентаура (не рачунајући њу саму) бити најсјајнија на небу?

7.43. На ком растојању је око способно да примети звезде сличне Сунцу?

7.44. Нека звезда се налази на растојању 5,6 светлосних година од Сунца и приближава се њему по правој линији која пролази кроз њега брзином од 111 km/s. Кроз колико година ће та звезда да изгледа два пута сјајнија?

7.45. Израчунати димензије равног огледала које треба поставити на Месецу да би се Сунчева светлост одбијена од њега видела на Земљи као звезда треће величине. Привидна величина Сунца износи - 27^m, растојање до Месеца је једнако 384 хиљаде километара, а коефицијент рефлексије огледала 100%.

7.46. Ако се претпостави да је албедо Фобоса исти као и код Марса (14%), полупречник овог сателита израчунат на основи визуалне привидне величине биће 7 km. Међутим, снимци Фобоса које су начинили међупланетни апарати са блиског растојања показали су да у стварности његов полупречник износи око 10 km. Колики је, онда, албедо?

7.47. Мерећи паралаксе звезда на читавом небу астрономи су нашли да за 165 звезда паралакса прелази 0,100". Оцените за колико звезда паралаксе прелазе 0,025".

7.48. На које растојање се треба удаљити од Сунчевог система да би Сунце изгледало као звезда 18 привидне величине ако:
а) нема међузвездане апсорпције;
б) апсорпција износи 3^m на 1 kpc?
За апсолутну величину Сунца усвојити вредност $M = +5^m$.

7.49. Телескопу су доступне звезде до 19^m. Да ли је могуће да се овим телескопом региструје збијено звездано јато које има милион звезда сличних Сунцу, а налази се у суседној галаксији на растојању од 10 Mpc од нас?

7.50. Када би на месту где се налази Месец било уместо њега равно огледало исте величине, како би тада била осветљена Земља?

7.51. Наслућује се да се иза Плутонове путање креће мноштво крупних астероида и кометских језгара (Кајперов појас). Да ли је могуће открити астероид пречника 350 km са албедом од око 7% на растојању од 100 AJ од Сунца уз помоћ терестричког телескопа чија је гранична осетљивост 24^m?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

8. АСТРОНОМСКИ ПРИБОРИ И ПОСМАТРАЊА

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

8.1. Мува је села на објектив телескопа. Какве су биле промене у изгледу Сунчеве површи посматране овим телескопом?

8.2. Како ће се променити на фотографији изглед пуног Месеца ако се покрије десна половина објектива телескопа?

8.3. Зашто су до краја XIX века на опсерваторијама били углавном монтирани рефракторски телескопи, а у XX веку рефлекторски?

8.4. Који системи рефлекторских телескопа су вама познати? Нацртати кретање зракова у њима. Због чега је код великих телескопа предвиђена могућност промене оптичког система?

8.5. Како изгледа спектар планете, која се брзо обрће, ако је прорез спектрографа усмерен дуж њеног екватора?

8.6. Како је, у начелу, А. А. Бјелопољски могао уз помоћ спектроскопа да установи да Сатурнов прстен има метеоритну грађу?

8.7. Према спектру неке звезде, која се налази близу тачке летњег солстицијума, одређена је у трећој декади марта њена радијална брзина - 70 km/s. Пола године касније за радијалну брзину је нађена вредност од 130 km/s. Одредити, на основи овог, као што је први предложио академик А. А. Бјелопољски, растојање од Земље до Сунца.

8.8. Који интересантни објекти се виде ноћас кроз телескопом пречника 60 mm и увеличања једнаког 40?

8.9. Код неких соларних телескопа из цеви је извучен ваздух. Зашто?

8.10. Да ли се звезде виде дању из дубоког бунара?

8.11. Шта је то Волфов број (W)? Ако су посматрања показала W=200, а број пега на Сунцу износи 100, шта се тада може рећи о расподели пега на Сунчевом диску?

8.12. Раздвојна моћ људског ока износи око 100", а квалитет лика на најбољим светским опсерваторијама је око 1". Рекло би се да нема потребе да се за визуална посматрања постиже увеличање телескопа веће од 100 - 150. Због чега се често примењује увеличање од 300 - 600?

8.13. Зашто су у XVIII веку телескопи имали веома велику дужину?

8.14. Са којом максималном експозицијом треба фотографисати Земљину површ да би се могли разликовати детаљи величине 10 m ако је фотоапарат учвршћен на сателиту чија се орбита налази на висини од 300 km изнад Земљине површи?

8.15. Посматрања су показала да се угаона величина Маглине Краб повећава за 0,4" годишње. Истовремено линије у спектру маглине су раздвојене за износ $\Delta\lambda/\lambda = 0{,}008$. Зашто се уместо једне померене линије види раздвојена линија? Процените растојање до маглине?

8.16. Посматрања окултације Маглине Краб Месецом у рендгенској области показала су да је за покривање половине маглине потребно време од око једног минута. Процените пречник дела маглине који зрачи у рендгенској области сматрајући да растојање до ње износи 1,7 kpc.

8.17. Космички телескоп може да детектује знатно слабије звезде него терестрички телескоп истог пречника. Зашто?

8.18. Растојање између компонената двојне звезде Капела износи 0,054". Какве окуларе треба применити да би посматрач њих видео раздвојене кроз телескопе чији су пречник и жижна даљина D=1 m и F =10 m, респективно, тј. D=5 m и F=30 m?

8.19. Зашто лик звезде на фотоплочи има велик пречник, при чему што је звезда сјајнија, то је већи пречник?

8.20. Недавно је на Хавајским острвима почео са радом 10-метарски рефлектор назван В. Кек. Оцените његову граничну привидну величину за посматрање оком. Које увеличање треба тада користити?

8.21. Који телескоп је погоднији за проучавање финих детаља на Месецу: терестрички пречника 4 m или космички чији је пречник 2 m?

8.22. Због чега се мења привидни сјај ВЗС (вештачког земљиног сателита)? Који инструмент ћете изабрати за посматрање ВЗС: бинокулар чији објективи имају пречник 80 mm и увеличање 12 или телескоп чији је објектив пречника 50 mm и увеличање 50?

8.23. Да ли је могуће да се са космичким телескопом, који се налази на путањи око Земље, измери пречник језгра Халејеве комете која ће проћи на геоцентричном растојању од 0,5 АЈ? Оцените параметре таквог телескопа.

8.24. Да ли је у праву Артур Кларк који је написао у роману „Одисеја 2001." да само што је на Месецу почела обданица и појавили су се први Сунчеви зраци, „звезде су се угасиле"? (А. Кларк „Космичка одисеја", М., Мир, 1991, стр. 78)

8.25. Године 1991. један амерички инжењер објавио је сензационалну књигу у којој се износи тврђење да у периоду 1969-1972. амерички астронаути нису летели на Месец, него су сви фото- и телеснимци били начињени у специјалном павиљону на Земљи. Један од главних аргумената је био тај да се на фотографијама експедиција на Месец које су приказали астронаути на црном небу нису виделе звезде. Да ли можете да објасните у чему је ту ствар?

8.26. Зашто су скоро сви телескопски павиљони беле боје?

8.27. Зашто се код младог месеца добро види површ која није обасјана Сунчевом светлошћу (Месечева пепељава светлост), а у тренутку када Сунце залази, она се не види? И, узгред буди речено, зашто су пирати имали црна једра?

8.28. Одломак из писма Плинија млађег, очевица знамените ерупције вулкана Везув, 24. августа 79.год., ,,Бацивши поглед (према вулкану - прим. аутора) видео сам како се на нас навлачи густ мрак - не онакав као за време ноћи без месечине или облачне ноћи, него онакав који се дешава у затвореној просторији, када су ватре угашене" (цитат је према књизи Зенона Косидовског ,,Када је Сунце било Бог", следе подаци о руском издању ... Наука, 1968, стр. 220). Питање: чиме и због чега се мрак ноћи без месечине или облачне ноћи разликује од мрака затворене просторије?

8.29. При посматрању звезде у зениту апсорпција светлости у фотографској области спектра износи 0,45". Колика ће апсорпција бити на хоризонту?

8.30. Зашто кажемо: спектралне линије, а не ,,спектрални квадрати, кругови, лукови" или, рецимо, некакви ,,спектрални многоуглови."?

8.31. Ако наша ,,браћа по разуму" са суседне звезде мере радијалну брзину Сунца са тачношћу од 10 m/s, да ли они тада могу да уоче да Сунце има планетни систем?

8.32. Који од два телескопа са пречником објектива D и жижном даљином F треба користити за фотографисање двојне звезде за коју је угаоно растојање компонената једнако 0,8" ако величина зрна фотоемулзије износи 30 микрометара:
а) D = 35 cm, F = 4 m,
б) D = 10 cm, F = 12 m?

8.33. Ако становници планете код звезде алфа Кентаура систематски мере положај Сунца са тачношћу од 0,01", да ли они тада могу да примете осцилације у кретању Сунца које потичу од револуције око њега планета Сунчевог система? Паралакса α Cen је π = 0,751".

8.34. Описати квалитативно како се мењају привидне димензије и облик Сунчевог диска услед атмосферске рефракције.

8.35. На фотографијама многих збијених јата ликови звезда у средишту јата се сливају у један лик. Да ли то значи да су звезде тамо распоређене са таквом густином да се заиста додирују?

8.36. Астрономи аматери понекад предлажу да се у циљу повећања увеличања телескопа лик објекта разгледа не кроз окулар, него кроз микроскоп. Да ли је целисходно да се ово чини?

8.37. Како да разликујемо Сунчеву пегу од пројекције диска планете?

8.38. За колико ће се променити гранична звездана величина за случај да се фотографисање на фотоплочу обавља на Месецу где је позадина неба два пута слабија него на Земљи?

8.39. Услед прецесије небески пол се креће око еклиптичког пола дуж кружнице чији полупречник износи $23{,}5^0$, тако да начини један обрт за 26 хиљада година. Колико често треба вршити поправку правца поларне осе у екваторској монтажи телескопа да угао између поларне осе и небеске осе не пређе $0{,}1^0$?

8.40. Да ли је могуће начинити фотографију Сунчеве пеге пречника 2' користећи камеру-обскуру?

8.41. Да ли се може направити телескоп за визуална посматрања од једног сочива? Ако је одговор потврдан, онда какви треба да буду параметри овог сочива да би се добило увеличање једнако 50 за поље вида од 10'?

8.42. Посматрана са Земље Сунчева пега има угаону величину 1'. Да ли је могуће да се та пега види голим оком са Меркура? Венере? Марса?

8.43. Астроном-теоретичар дошавши једног јутра у свој кабинет чуо је да почиње помрачење Сунца. Међутим, он при руци није имао ништа друго осим листа дебеле хартије и оловке. Посаветујте астронома како да посматра одређене фазе помрачења.

8.44. Од звезде 0^m на 1 cm^2 површине Земље пада око 1 милион фотона у секунди. Колико фотона доспева на фотоплочу од звезде 20^m за један час ако пречник објектива телескопа износи 1 m?

8.45. Користећи услов претходног задатка процените квантну ефективност људског ока узимајући у обзир да у нарочито повољним условима (на пр. на високим планинама после дугог прилагођавања) око види звезде до 8^m, а време акумулације светлости на мрежњачи износи око 0,1s.

8.46. Доказати да приликом посматрања распростртог објекта телескопом осветљеност лика на мрежњачи ока није већа него када се исти објект посматра голим оком.

8.47. Зашто када се планете фотографишу никада се не могу регистровати исте оне појединости на њиховим дисковима које се примећују код визуалних телескопских посматрања?

8.48. Код вишеструке звезде ε Хидре далека компонента D има сјај $12{,}5^m$. Од најсјајније компоненте система A, чији је сјај $3{,}7^m$, она је удаљена 20". Колики треба да буде пречник објектива телескопа коришћеног за посматрање ових звезда?

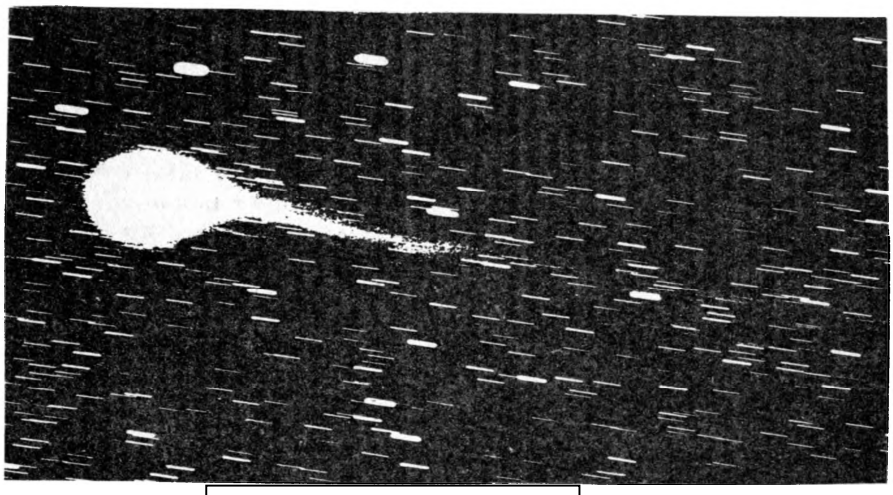
8.49. Године 1975. са радио-телескопа Аресибо (Порторико), чији је пречник D=305 m, на таласној дужини λ = 21 cm послат је сигнал према једном од збијених звезданих јата. Да ли је том приликом било неопходно да се узме у обзир померање јата за време путовања сигнала, тј. да се сигнал пошаље под неким углом ка садашњем правцу према јату?

8.50. Ако се величине A = 112 и B = 102 мере са тачношћу од 1%, колика ће бити тачност приликом израчунавања величине (A - B)?

8.51. Ако се положај спектралне линије на фотоплочи одређује са тачношћу од 0,02 mm, питање је са којом тачношћу се може измерити радијална брзина на основи њеног спектра снимљеног са дисперзијом 1) 200 Å / mm и 2) 1 Å /mm? (Å = ангстрем = 10^{-10} m)

8.52. Колико пута ће се повећати број звезда на фотоплочи када се експозиција повећа 2,5 пута?

8.53. Да би повећали угаону раздвојну моћ посматрања астрономи неки пут користе метод покривања извора Месецом. Оцените колики део небеске сфере је, у начелу, доступан посматрању са Земље употребом овог метода.



Сл. 8.1. Халејева комета

8.54. На снимку Халејеве комете (Сл. 8.1.) начињеном у децембру 1985. г. на Кримској астрофизичкој опсерваторији виде се кратке цртице - трагови померања ликова звезда по фотоплочи. Извештач листа који је објавио овај снимак писао је о њему овако: „Трајање експозиције је било читав час и, према томе, због обртања Земље звезде су се претвориле у цртице." А какво је ваше мишљење?

8.55. Године 1991. један јапански астроном аматер снимајући Месец видеокамером фиксирао је тамну тачку која је прелазила преко Месечеве површи неколико секунди. Новине су то пренеле као сензацију тврдећи да је дошло до открића џиновског НЛО на путањи око Месеца: „НЛО има пречник једнак 20 km и креће се брзином од 200 km/s. По вашем мишљењу, шта је фиксирала аматерска камера?

8.56. Маглина у Ориону посматрана телескопом визуално изгледа безбојна, али на фотографијама у боји она показује разнобојност. Зашто?

8.57. На некој опсерваторији радио је телескоп чији објектив има пречник 2 m. При експозицији од 20 min са њим су се могле фотографисати звезде до 21^m. Потом је саграђен нови телескоп са више огледала тако да му се објектив састоји од шест огледала, свако са 3 m у пречнику. Са којом експозицијом се сада могу фотографисати те исте звезде?

8.58. Зашто се радиоастрономска посматрања могу обављати и за време обданице, а у оптичком делу спектра се тада не може посматрати ништа друго осим Сунца?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

9. КРЕТАЊЕ КОСМИЧКИХ ТЕЛА

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

9.1. Космички брод се спустио на астероид чији пречник износи 1 km, а средња густина 2,5 g/cm^3. Космонаути су одлучили да обиђу астероид по његовом екватору користећи “свудаход” за два часа. Да ли они могу то да ураде?

9.2. Космонаути су се спустили на астероид и веза са њима се прекинула. Залихе кисеоника су предвиђене да им трају два часа. Да ли њихови другови на космичком броду могу да облете астероид за ово време у потрази за њима ако густина астероида износи 2,5 g/cm^3?

9.3. Одредите висину путање комуникацијског сателита који се налази стално у зениту изнад Москве?

9.4. Да ли комета може ноћу да се налази у близини посматрачевог меридијана?

9.5. Револуција Халејеве комете око Сунца траје 76 година, а планете Нептун 165 година. Који је од ова два објекта удаљенији од Сунца у афелу своје путање?

9.6. У роману Жила Верна ,,Хектор Сервадак" описује се комета Галија на растојању од Сунца у афелу од 820 милиона километара, а чији период обиласка износи 2 године. Да ли може да постоји таква комета?

9.7. Како зависи брзина кретања планете по орбити од полупречника те орбите?

9.8. Истраживачка станица се налази на површи неког астероида. Космонаути играју фудбал и ударајући лопту прејако саопштавају јој брзину која је нешто већа од прве космичке за тај астероид. Да ли ће лопта да постане вештачки сателит астероида?

9.9. Колики би био период дневног обртања Меркура када би његова путања била тачно кружница?

9.10. Због чега се Плутон обрће синхроно са револуцијом свог сателита Харона, а период обртања Земље је знатно краћи од периода Месечеве револуције?

9.11. Зашто посматрајући са Земље астрономи нису могли тачно да одреде масу Венере на онај начин на који су одредили масе већине других планета?

9.12. Да би илустровао колико је велико растојање од Земље до Сунца песник Гебељ је у једној својој песми користио овакав пример: ,,Артиљерац, који се налази на Сунцу, испаљује гранату на тебе. Ти ћеш у страху да побегнеш. Али, не брини: немаш разлога да журиш, имаш још много времена да побегнеш од гранате." (В. Литцман ,,Џинови и патуљци у свету бројева", Москва, Физматлит, 1959, стр. 17). Одредите време за које ће граната испаљена на површи Сунца брзином од 5000 km/h да пређе овај пут?

9.13. Одредити масу Месеца у јединицама Земљине масе ако је први Месечев вештачки сателит Луна-10 имао период обиласка једнак 2^h58^{min} унутар интервала висине изнад Месечеве површи од 361 до 1007 km. За полупречник Месеца усвојити $R_☾$ = 1737 km.

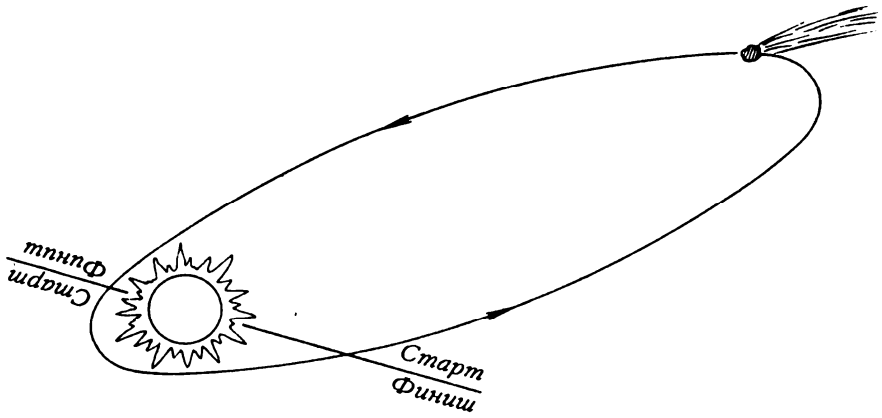
9.14. Одлучено је да се пошаље ракета из Сунчевог система у средиште Млечног пута. Којом брзином и у ком правцу њу треба лансирати?

9.15. Због катастрофе америчког космичког брода "Челенџер", која се догодила почетком 1986. године, лансирања аутоматских станица "Галилео", ка Јупитеру, и "Улис", према поларним областима на Сунцу, које су биле предвиђене за мај 1986., биле су одложене за 13 месеци. Зашто баш за 13?

9.16. Приликом експлозије супернове звезда је одбацила омотач чија је маса износила 70% њене масе пре експлозије. Да ли ће се сачувати планетни систем око остатка ове звезде?

9.17. Месец својим плимским дејством успорава Земљино дневно обртање. Кроз неколико милијарди година њихово обртање ће се синхронизовати и Земља ће Месецу бити увек окренута једном својом страном (онако, као што Месец сада гледа на Земљу). Тада ће сидерички месец износити 36 садашњих дана. А колико ће том приликом да траје један Сунчев дан на Земљи?

9.18. Претпоставимо да се око сваке звезде креће планета исте масе и периода обиласка као код Јупитера. Одредите за звезде које масе је лакше открити присуство ове планете ако се мери:
а) угаоно померање звезде на небу,
б) промена радијалне брзине звезде.



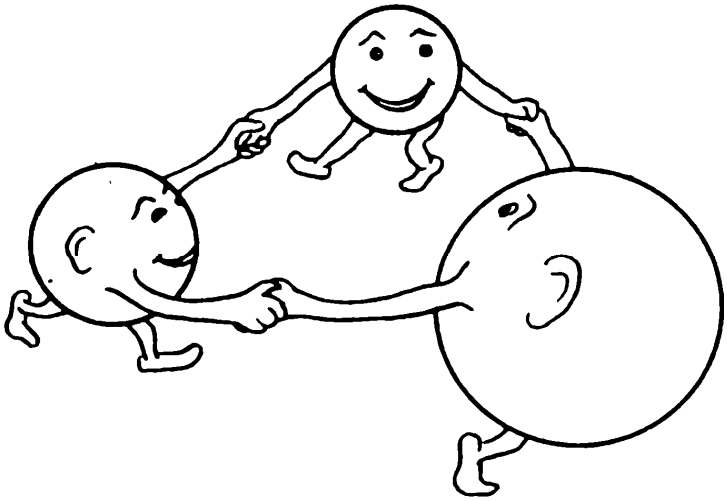
Сл. 9.1. Да ли су обе ове половине путање равноправне?

9.19. Елиптична путања једне комете била је подељена на два дела правом линијом која пролази кроз Сунце (Сл. 9.1.). Докажите да комета добија исту количину топлоте од Сунца за време кретања дуж сваког од ова два дела путање.

9.20. Како ће се променити трајање године на Земљи када Сунце постане бели патуљак масе Mwd=0,6 $M_☉$?

9.21. Три звезде једнаке масе образују једнакостраничан троугао дужине странице L и крећу се око заједничког центра маса по кружној путањи са периодом P (Сл. 9.2.). Наћи масе звезда.

9.22. Код Алтаира (алфа Орла) годишња паралакса је π = 0,198", сопствено кретање μ = 0,658", радијална брзина V_r = - 26 km/s и привидна величина m = 0,89. Када и на које најмање растојање ће Алтаир прићи Сунцу и колико ће тада износити његова привидна величина?



Сл. 9.2. Одредите масе звезда. Задатак 9.21.

9.23. Како се може доказати да се Сунце заједно са околним звездама креће око средишта Млечног пута?

9.24. Одредити брзину могућег судара космичког брода који лети на Јупитер са метеоритним телом у астероидном појасу. Сматрати да брод лети дуж праве линије од Земље ка Јупитеру са искљученим мотором.

9.25. Нека се Сунце креће око средишта Млечног пута по кружници полупречника $R_{\odot}$ =10 kpc брзином $V_{\odot}$ = 250 km/s. Под претпоставком да је целокупна маса Млечног пута (M_G) сконцентрисана у његовом средишту одредити вредност M_G, а такође наћи и дужину галактичке године (тј. период обиласка Сунца) и минималну брзину коју треба саопштити ракети да би она могла да напусти Млечни пут.

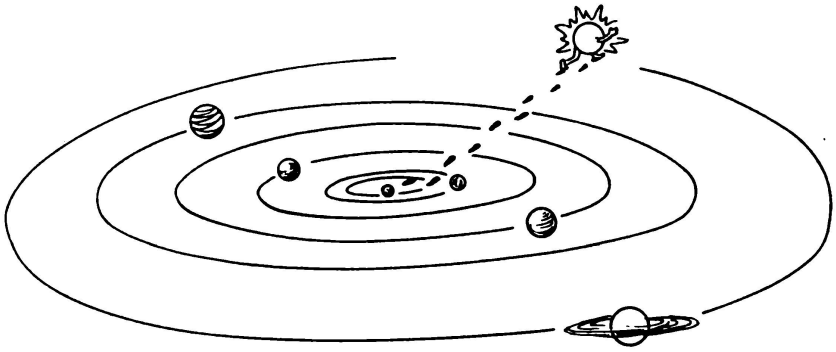
9.26. Са које Земљине стране - дневне или ноћне - је енергетски повољно да се лансира ракета на Меркур?

9.27. Космички брод лансиран је тако да пошто се ослободи Земљиног привлачења почне слободно да пада на Сунце, практично дуж праве линије. Колико дана ће да траје ово падање?

9.28. Три звезде исте масе M налазе се на једној правој и крећу тако да се једна од њих налази у центру кружнице по којој се крећу друге две. Одредити период обиласка.

9.29. Са којом брзином и у ком правцу треба да крене ракета са Земље да би пала на Сунце?

9.30. У научно-фантастичном роману А. Рундберга „Путовање на Земљу" (Алма-Ата, „Казахстан", 1987) краљ планете Линкс обраћа се побеђеним противницима са планете Рикет: „ Ја вам поклањам мир само под условом да ће сваке девете године Рикет на Линкс слати седам девица племенитог рода и седам момака племенитог рода ... Ове девице и момке имам намеру да принесем на жртву Таурусу ... Сваког пуног месеца један млади живот Рикећанина племенитог рода приносиће се на жртву чудовишту да га растргне." Питање: да ли може, у стварности, трајање месеца да буде тако повезано са трајањем године као на планети Линкс?



Сл. 9.3. Шта ће да буде са Сунчевим системом?

9.31. Када би Сунце изненада ишчезло (Сл. 9.3.), шта би се онда догодило са Сунчевим системом?

9.32. Да ли је могуће да се пуцњем из топа са Земљине површи пошаље апарат на Месец? На Марс? На путању ВЗС? На Сунце?

9.33. У ком случају је потрошња енергије мања: када се космички апарат лансира ракетом или када се избаци из топа?

9.34. Посматрајући комету у близини Сунца астрономи су утврдили да је њена путања хипербола. Да ли та комета треба да напусти Сунчев систем заувек?

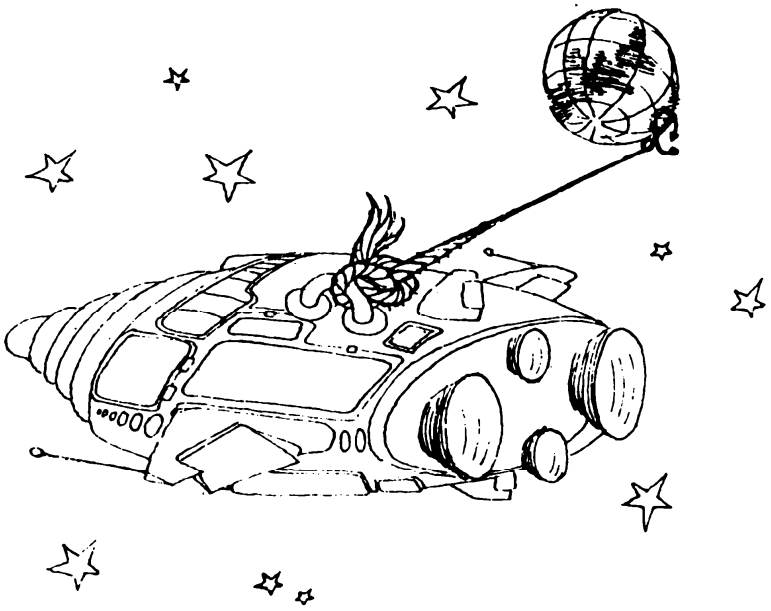
9.35. Сетите се „Малог принца" од А. де Сент-Егзиперија. Када је принц посећивао разне зачуђујуће планете, он је боравио на планети Фењерчић која „један пун обрт обави за један минут." Оцените густину ове планете. Којој врсти небеских објеката она може да припада?

9.36. Израчунајте на ком растојању од Земље се налази тачка где су привлачења која потичу од Месеца и од Земље једнака. За међусобно растојање усвојите 60 Земљиних полупречника, а за однос маса 1:81. Да ли у тој тачки космички брод може да остане, а да се не креће?
9.37. Којом брзином би се обртало Сунце када би оно садржало у потпуности укупан момент импулса Сунчевог система?

9.38. У којој мери би се променио облик Сунца када би се догодило оно што је описано у претходном задатку?

9.39. Када би метеорити увек само стизали Земљу у њеном кретању по путањи, да ли бисмо онда посматрали појаву метеора у другој половини ноћи?

9.40. Са ВЗС који се креће по кружној екваторској путањи извучено је на Земљу уже нулте тежине, а један његов крај је учвршћен на екватору (Сл. 9.4.). Каква ће бити судбина сателита после овога?



Сл. 9.4. Шта ће се догодити са сателитом? Задатак 9.40.

9.41. Оцените максималну и минималну брзину уласка метеорита у Земљину атмосферу. За колико звезданих величина може да се разликује сјај метеора од честица исте масе које улећу са таквим брзинама?

9.42. ВЗС је лансиран на поларну орбиту. Да ли је могуће да његова путања буде у потпуности неосветљена Сунчевом светлошћу, да буде осветљена 50% или да буде потпуно осветљена?

9.43. Мизар има радијалну брзину једнаку - 9 km/s, сопствено кретање 0,13" годишње и паралаксу 0,038". Колика је његова просторна брзина? Кроз колико времена ће његово удаљење од Алкора достићи 1°?

9.44. Ви непокретно висите у центру сферне орбиталне станице чији је пречник 20 m, а у рукама вам је гумена лопта чија је маса 1000 пута мања од ваше сопствене масе. За које најкраће време можете да стигнете до зида станице ако брзина бацања лопте износи 10 m/s?

9.45. Вештачки сателит се кретао по геостационарној путањи. Потом је пребачен на екваторску кружну путању са два пута већим полупречником. Колико често он сада пресеца меридијан непокретног посматрача на Земљи?

9.46. Код двојне звезде обе компоненте имају исту масу $2M_\odot$ и оне се крећу по кружницама на међусобном растојању од 1 АЈ. Колика је максимална разлика њихових радијалних брзина за посматрача на Земљи ако нагиб путањске равни овог система (i) износи: а) 0°, б) 90°, в) 45°?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

10. КОСМИЧКЕ ЕКСПЕДИЦИЈЕ И ПРИРОДА ПЛАНЕТА

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

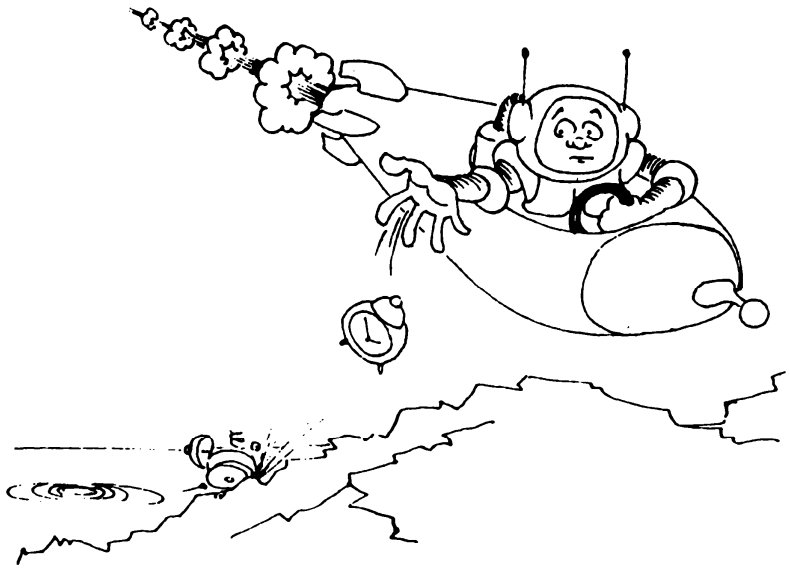
10.1. Космички брод је напустио Сунчев систем брзином од 30 km/s у правцу ка средишту Млечног пута. Кроз колико година ће он стићи у средиште Млечног пута?

10.2. Око Земље се креће много ВЗС који су сада неупотребљиви, а при том представљају опасност за активне сателите и космонауте. Предложите начин за удаљавање са орбите мртвих ВЗС.

10.3. Коју висину би могао да савлада скакач с мотком на Месецу?

10.4. Амерички астронаути који су радили на орбиталној станици „Скајлаб" (1973) трчали су по унутрашњој површи станице цилиндричног облика и пречника око 6 m. Коликом брзином треба тада трчати да се осети сила Земљине теже? Како том приликом треба станица да буде оријентисана?

10.5. Колико времена треба да утроши космички брод који лети брзином од 30 km/s да стигне до Сунцу најближе звезде Проксиме Кентаура чија паралакса износи 0,76"?



Сл. 10.1. Како измерити густину служећи се часовником?

10.6. Долетевши до непознате планете космички брод је прешао на ниску кружну путању. Да ли космонаути могу користећи само часовник да одреде средњу густину материје планете (Сл. 10.1)?

10.7. Зашто густина броја кратера на површи галилејевских Јупитерових сателита расте монотоно од Иоа према Калисту?

10.8. Да ли је могуће посматрати метеоре на Меркуру? А да ли ће бити могуће откривање метеорита на његовој површи?

10.9. На којим телима у Сунчевом систему је откривена вулканска активност?

10.10. Зашто краће време после приземљења космонаути спавају без јастука?

10.11. Амерички астронаути на орбиталној станици „Скајлаб" у часовима одмора су покушавали да се забаве бацањем у мету пикада са стабилизационим перима, али од тога ништа није испало. Зашто?

10.12. На земљи је довољна мања искра да гас метан експлодира и брзо изгори. Зашто на Јупитеру, где се догађају снажна електрична пражњења, метан постоји у атмосфери и не сагорева?

10.13. Космонаути на Марсу решили су да се огреју поред ватре. Имају кофу керозина, пакет термита, дрвене сандуке. Шта бисте им ви саветовали да користе у својству горива?

10.14. На Венери су облаци тако густи да се звезде и Сунце никада не виде са њене површи. Како да разликујемо обданицу и ноћ?

10.15. Укажите укратко какве нове могућности даје астрономији примена ВЗС и међупланетних бродова?

10.16. Где је човеку лакше да плива у води: на Земљи или на Месецу?

10.17. На Земљи свећа гори два часа. Колико ће времена она горети на ВЗС?

10.18. На истој кружној путањи на одређеном међусобном растојању крећу се два ВЗС са пилотима. Шта треба да уради пилот задњег апарата да би сустигао предњи? Колики је минималан број поправки путање?

10.19. Станица „Марс-3" има период обиласка једнак 12 дана, а минимално растојање од центра Марса износи 5000 km. Чему је једнако највеће растојање станице од Марсове површи?

10.20. Ракетни мотор може да развије вучну силу тачно једнаку тежини ракете. Да ли се таква ракета може лансирати у космос?

10.21. Према савременим представама вода на Марсу, ако је тамо уопште има, налази се у вечно замрзнутом слоју, у поларним капама. Зашто на Марсу нема отворених удубљења испуњених водом, чак и у тропским областима, где температура достиже вредности изнад 0 ^{0}C?

10.22. 12. априла 1961. године Ј. А. Гагарин је кренуо са космодрома Бајконур бродом „Васток". Брод се кретао на путањи ВЗС са периодом од 1,5 часова и пошто је начинио један обрт, спустио се на Земљу. У ком месту се догодило његово спуштање у односу на Бајконур?

10.23. Замислите себе на космичком броду који обилази око непознате планете изнад линије терминатора. Како, имајући на располагању часовник и оптичке инструменте, одредити период обиласка брода?

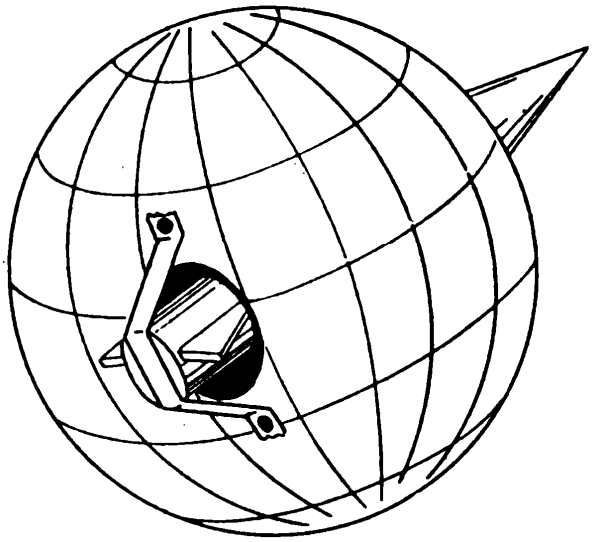
10.24. Како би становници Венере у условима велике облачности могли да одреде трајање године?

10.25. Како ћемо се на Венери оријентисати према странама света?

10.26. Међупланетни космички брод је доспео на привремену путању око Земље. У којој тачкипутање је најпогодније да се укључе мотори да би се достигла друга космичка брзина?

10.27. Кроз Земљину лопту је пробијен тунел. Како се, коришћењем овог тунела, може лансирати ракета у космос? Какве су том приликом уштеде горива? Какав облик треба да има тунел ако је саграђен између:
1) северног и јужног пола;
2) дијаметрално супротних тачака на екватору?

10.28. Колика треба да буде дужина топа у роману Жила Верна „Путовање на Месец" да би путници приликом испаљивања били изложени убрзању не већем од 10 g? Колико пута ће се повећати човечја тежина за време испаљивања?



Сл. 10.2. Кроз тунел - у космос! зад. 10.28

10.29. Одлучено је да се наша Земља претвори у џиновски космички брод. Да ли се у ту сврху могу искористити савремени хемијски ракетни мотори?

10.30. Зашто ракетно гориво треба да има што је могуће већу топлоту сагоревања?

10.31. Предлаже се да се у својству горива за ракету користи вода: најпре да се она разложи уз помоћ електричне струје на водоник и кисеоник, а затим да се добијени гасови помешају и да се добијена „праскава смеса" запали у ракетном мотору. Оцените ову замисао.

10.32. Три истоветна часовника са клатном су смештена:
а) на Земљи;
б) на Месецу у ваздушној средини;
в) на Месецу у вакууму.
Који од њих ће ићи најбрже, а који спорије од осталих?

10.33. Астрономи из службе Сунца на Земљи виде ерупцију на Сунцу истовремено када и космонаути који су посматрали површ Сунца. У чему је тада смисао службе ерупција на Сунцу оформљене специјално ради упозоравања космонаута на опасност?

10.34. Ракета се удаљава од Земље са константним убрзањем $g = 9{,}8\ m/s^2$. Како се мења тежина тела у ракети са удаљавањем од Земље?

10.35. Претпоставимо да су се особине Земљине атмосфере тако промениле да је она почела да одбија видљиву светлост и слободно пропушта инфрацрвено зрачење. Како би се при том променила температура Земљине површи? Где и када на Земљи настају слични услови?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

11. АСТРОФИЗИКА

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

11.1. Астрономима су познате комете које су пролазиле на растојању 1-2 Сунчева полупречника од његове површи. Зашто оне нису испариле у Сунчевој корони чија температура прелази милион степени?

11.2. Претпоставља се да је попут Земље и Месец некада имао атмосферу. Чиме се објашњава да је Месец изгубио атмосферу, а Земља није?

11.3. На месту експлозије супернове из 1987. године у Великом Магелановом облаку откривен је оптички пулсар са периодом (обртања - прим. прев.) 0,002 s. Претпостављајући да кретање брзином већом од светлосне није могуће оцените димензије пулсара. Којој врсти звезда припада овај компактни објект?
<u>Примедба</u>: Овај задатак је био предложен на олимпијади 1989. године када су астрофизичари били потпуно убеђени да је ово стварно откриће. Међутим, касније откриће новог пулсара није било потврђено: узрок променљивости оптичког сигнала нађен је у навођењима на електронске блокове телескопа високе фреквенције. Међутим, средином 1994. године опет су се појавили извештаји који су потврђивали раније начињено откриће. Али, већина стручњака односи се према овим извештајима са сумњом и сматра да налажење било каквих индикација за компактан објект на месту експлозије супернове у ВМО није било успешно. Вероватно, у најскорије време ово питање ће бити разрешено уз помоћ нових посматрачких резултата. Без обзира не све ово, предложени задатак има смисла, а његово решење је у потпуности исправно. Штавише, тако брзи пулсари одиста постоје и астрофизичарима су од огромног интереса.

11.4. Приликом посматрања радио-пулсара откривено је да се интервали између њихових импулса периодично мењају где је за све пулсаре тај период исти и тачно једнак једној сидеричкој години. Објасните ову појаву. Оцените за колико се мења интервал између импулса код пулсара у Маглини Краб (P_0 = 0,033 s). У ком месецу је период овог пулсара најмањи?

11.5. Пулсар, који зрачи импулсе са строго непромењливом периодичношћу, креће се равномерно праволинијски у односу на посматрача. Докажите да ће посматрани интервал између његових импулса или да расте са временом или да остане сталан независно од тога којом брзином и у ком правцу се пулсар креће. Кретање Земље у Сунчевом систему не узимати у обзир.

11.6. Постоји претпоставка да је периодичност у активности Сунца повезана са плимским дејствовањем на њега од стране планета. Најјаче плимско дејство Сунце трпи од Јупитера и Венере. Одредите кроз колики временски интервал се на Сунчевој површи понављају плиме максималне висине. Да ли је тај временски интервал близак трајању циклуса Сунчеве активности?

11.7. Густ облачић међузвезданог гаса испушта променљиво масерско зрачење молекула хидроксила (OH) на таласној дужини λ =18 cm. Оцените максималне димензије области зрачења ако његове варијације протичу са карактеристичним временом од 5 min.

11.8. Зашто је за посматрање међузвезданих линија у апсорпцији већине хемијских елемената потребан ултраљубичасти космички телескоп, док апсорпционе линије истих тих елемената, али који се налазе у звезданим атмосферама, можемо да проучавамо користећи обичан оптички терестрички телескоп?

11.9. Како астрономи разликују вреле звезде, које су поцрвенеле услед међузвездане апсорпције светлости, од стварно црвених хладних звезда?

11.10. У спектрима нормалних звезда виде се апсорпционе линије зато што релативно хладни гас из звездине атмосфере заклања њену топлију унутрашњост. А шта тада може да се каже о грађи звезда у чијим спектрима се виде емисионе линије, тј. линије које одговарају израчивању?

11.11. Претпоставимо да хемијски елементи гвожђе и калцијум имају спектралну линију са подударном таласном дужином. Како ћете одредити који је од ових елемената присутан у атмосфери неке звезде ако откријете у њеном спектру ову линију?

11.12. Две галаксије, сличне нашој, су се сударилe брзином од 1000 km/s . Оцените колико звезда ће се том приликом међусобно сударити?

11.13. „Суседово двориште је увек зеленије" гласи енглеска пословица. Да ли је тачно ово запажање и ако је одговор потврдан, тада који би узроци, осим чисте зависти, могли њега да објасне? Са којим појавама на Сунчевој површи ви видите аналогију?

11.14. Посматрања показују да светлост звезде покривене Сатурновим прстеном слаби за око 1 звездану величину, а дебљина прстенова не прелази 3 km. Оцените на основи ових података са коликом учестаношћу и којом брзином се међусобно сударају честице прстена?

11.15. Како да докажемо да звезде светле сопственом светлошћу, а планете светле одбијеном светлошћу?

11.16. Сјај нове звезде, чија је ерупција регистрована у сазвежђу Лабуда 29. августа 1975. године, се повећао од 21^m до 2^m. У спектру те звезде линија водоника таласне дужине 486,1 nm је била померена према плавом крају спектра за 4,1 nm. Одредити колико пута је приликом ерупције порасла луминозност звезде и којом брзином је био одбачен омотач.

11.17. Да ли постоји веза између планетарних маглина и планета?

11.18. Астероид се креће по својој путањи око Сунца и обрће се око своје осе у истом смеру. Како се мења полупречник његове путање под дејством електромагнетног зрачења које пада на површ астероида и одлази са ње?

11.19. Температура у средишту Сунца износи 15 милиона келвинових степени и тамо протичу термонуклеарне реакције. Зашто се у случају белог патуљка Сиријуса B, унутар кога се температура процењује на 40 милиона келвина, ове реакције не догађају?

11.20. У нашој Галаксији звезда спектралне класе B се рађа у просеку једном у 50 година. Колико има у њој сада таквих звезда ако време живота звезде те врсте износи око 100 милиона година ?

11.21. Сунчев ветар се састоји од протона који лете брзином од 300 km/s и испуњавају у области Земљине путање међупланетни простор са концентрацијом од 10 честица у cm^3 . Са коликом силом овај „ветар" притиска Месец? Маса протона износи $=1,6 \times 10^{-24}$ g.

11.22. Који посматрачки подаци противречe тврђењу да је извор енергије звезда распад радиоактивних елемената?

11.23. Код које од две звезде исте спектралне класе је већа температура на површи - код џина или патуљка?

11.24. Угаони пречник елиптичне галаксије износи d = 3', а апсорпциона линија водоника H_β у њеном спектру има таласну дужину λ = 486,6 nm и ширину σ = 0,3 nm. Оцените масу галаксије. Лабораторијска таласна дужина линије H_β износи λ_0 = 486,1 nm.

11.25. Колико пута ће се променити Сунчева луминозност ако половина његове површи буде прекривена пегама?

11.26. Из језгра далеке галаксије излећу два радио-извора у супротним смеровима дуж једне праве оријентисане под углом од 60^0 према визури и крећу се истом константном брзином V = 2C/3. Колико пута ће нама један извор да се учини ближим центру галаксије него други?

11.27. Зашто звезда велике масе живи краће него звезда мале масе?

11.28. Из језгра квазара се избацује радио-извор брзином блиском брзини светлости према посматрачу под углом 30^0 у односу на визуру. Чему ће бити једнака привидна брзина удаљавања извора од квазара ако посматрач може да измери само угаоно померање извора?

11.29. Ефективна температура Сунчеве фотосфере је око 5800 К, а Сунчеве пеге (у просеку унутар границе полусенке) 4500 К. Колико пута је сјај пеге мањи од сјаја фотосфере?

11.30. Као што је познато, топлота се може преносити: провођењем, конвекцијом (струјањем) и зрачењем. На који начин се она преноси од нуклеарног извора у средишту Сунца до његове фотосфере?

11.31. За Земљу сила Сунчевог привлачења је 6×10^{10} пута јача од силе којом на њу притиска Сунчево зрачење. Одредите полупречник сферних честица које ће се кретати близу Сунца праволинијски у произвољном правцу сматрајући да њихова густина и коефицијент апсорпције светлости имају исте вредности као за Земљу.
(Однос сила за Земљу дат на почетку задатка није тачан; треба узети хиљаду пута већу вредност - прим. преводиоца).

11.32. Колика је средња густина белог патуљка чија је маса једнака Сунчевој, луминозност хиљаду пута мања од Сунчеве, а површинска температура два пута већа од оне на Сунцу?

11.33. Вештачка планета је пребачена са Земљине путање на Марсову и обојена у црно. Том приликом њена температура се није променила. Колики удео светлости је планета првобитно одбијала?

11.34. На крају своје еволуције Сунце ће почети да се шири и постаће црвени џин. Као резултат тога његова површинска температура ће бити два пута мања, а луминозност 400 пута већа. Да ли ће Сунце тада да прогута неке планете?

11.35. Како ће изгледати звездано небо за посматрача на подсветлосном звезданом лету (тј. брзином блиском брзини светлости) ?

11.36. Шта ће да се догоди са капљицом воде која тренутно доспе у отворено космичко пространство?

11.37. Објасните зашто је Титан - Сатурнов сателит - могао да сачува своју атмосферу, а Меркур није?

11.38. Зашто хидрогенска бомба експлодира, а Сунце не, премда се у оба случаја енергија ослобађа на рачун термонуклеарне реакције којом се водоник претвара у хелијум?

11.39. Сферна галаксија у сазвежђу Скулптора има масу 4×10^{39} g и удаљена је од центра наше Галаксије R = 85 kpc. Маса Галаксије износи M = 2×10^{44} g. Одредити колики може да буде максималан полупречник (r) галаксије у Скулптору, а да се она не распадне под дејством плимских сила привлачења које потичу из наше Галаксије.

11.40. Наведите и укратко објасните методе који се користе за одређивање пречника звезда.

11.41. Велика полуоса путање астероида износи 10 AJ , ексцентричност 0,85 и албедо његове површи 0,14. Израчунајте максималну и минималну температуру површи астероида током његовог периода обиласка користећи чињеницу да Месец има албедо 0,07 и средњу температуру 0^0C.

11.42. Бели патуљак масе 0,9 $M_\odot$ и полупречника 6000 km приближава се Сунцу брзином од 60 km/s. На коју страну спектра су померене његове линије: ка црвеном или ка плавом?

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

12. АСТРОНОМСКА ВИКТОРИНА

ЗАДАЦИ

* * * * * □ * * * * *

У овој глави се налазе једноставна питања која не захтевају детаљне прорачуне, него радије - интуицију, искуство и смисао за хумор. Она могу бити од користи за вечери занимљиве науке и друге сличне сврхе.

12.1. Јул, подне је. Да ли се на небу виде звезде?

12.2. Астроном посматра кроз телескоп пун Месец. Један несташко заклања руком десну (астрономову) половину објектива. Нацртајте како се променио изглед Месеца кроз телескоп.

12.3. Космонаут се одбацио од орбиталне станице која обилази на висини од 400 km (изнад Земље прим. преводиоца) и полетео према Земљи брзином од 4 m/s. Колико брзо ће он да стигне на Земљу?

12.4. Да ли је могуће добијати новогодишње поклоне четири пута годишње?

12.5. XXI век. Опсерваторија на Марсу је измерила паралаксу звезде и добила вредност од 0,1". Колико је растојање до те звезде?

12.6. Астроном је редовно мерио радијалну брзину звезде према положају линија у њеном спектру. Пре пола године брзина је била 100 km/s, а сада само 20 km/s. Шта би ово значило?

12.7. Први снимак неког астероида са малог растојања начињен је 1991. године. Како су астрономи знатно раније сазнали да астероиди имају неправилан облик?

12.8. Претпоставимо да је кретање Земље по орбити око Сунца одједном престало. Кроз колико времена ће она да падне на Сунце?

Погоди број!

Следећих неколико задатака захтевају интуицију. За време викторине победиће онај ко брзо наведе број најближи тачном одговору.

12.9. Као што је познато, мрав је јачи од слона јер он подиже тежину која је неколико пута већа од његове сопствене, а слон то не може да учини. Такође, мрав и трчи брже од слона: он претрчи дужину свог тела за краће време него што слон то учини. Погледајмо са те тачке гледишта на космичка тела.
а) За које време ће Земља крећући се око Сунца да пређе растојање једнако њеном пречнику?
б) За које време Сунце крећући се по орбити око средишта Галаксије пређе растојање једнако његовом пречнику?

12.10. Колико је убрзање Сунца при кретању кроз Галаксију?

12.11. Колико неутрина пролети кроз крајичак вашег носа сваке секунде ако се сва Сунчева енергија производи у реакцији претварања водоника у хелијум?

12.12. Колико се антиматерије налази у недрима Сунца?

12.13. На којој од планета Сунце осветљава површ исто онолико јако као што стона лампа осветљава страницу ваше књиге?

12.14. Да ли је могуће за време пуног месеца да се кресне ватра у жижи 10-метарског телескопа исто онако као што се то ради помоћу лупе за време сунчаног дана?

Задаци Капетана Врунгела
(са избором одговора)

12.15. Капетан Врунгел на јахти „Беда" (Несрећа) путујући по северним морима је зашао у један фјорд и пристао уз обалу у уском мореузу. Ноћу је, међутим, била осека, опао је ниво воде и јахта, притешњена између две обале, је почела да виси у ваздуху. „Испод кобилице је провалија од четрдесет стопа!" написао је Врунгел. Да ли му верујете?

ВАРИЈАНТЕ: ДА НЕ

Коју висину достиже плима у отвореном мору?

ВАРИЈАНТЕ: 1 cm 10 cm 50 cm 3 m 10 m 15 m

Колика је максимална висина плиме код обале?

ВАРИЈАНТЕ: 1 cm 10 cm 50 cm 3 m 10 m 15 m

12.16. Излазећи из санкт-петербуршке луке капетан Врунгел је правилно подесио хронометар према месном времену. Али, за време пловидбе, према Врунгеловом причању, ево шта се десило: „спуштам се у кабину, вадим свој хронометар и налазим чудну промену у његовом понашању: био је тај прибор, као што сам рекао, питом, а ту, знате, лежао је неко време без надзора и потпуно је подивљао, сам ђаво зна шта он показује: Сунце излази, а на њему је подне, према Сунцу је подне, а на њему шест часова...". Да ли можете да одредите у ком океану, у том тренутку се налазила јахта „Беда"?

ВАРИЈАНТЕ: Тихи Индијски Атлански

12.17. Да ли се сећате како је капетан Врунгел пловио „према петлићима". Када је напустио Енглеску, узео је са собом два петлића које је купио у Гриничу. Само што су петлићи закукурикали, Врунгел је почео посматрања са секстантом. Каква је била улога петлића?

ВАРИЈАНТЕ:

а - кукурикање петлића је означавало исто светско време чије је познавање било неопходно Врунгелу да би одредио координате јахте;
б - петлићи су будили капетана у тренутку излаза Сунца који је неопходан за посматрање ради одређивања координата јахте;
в - петлићи се оглашавају само када је ведро, када се виде звезде које је Врунгел посматрао у циљу одређивања координата.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

13. ЗАДАЦИ СТАРЦА ХОТАБИЧА

* * * * * ◻ * * * * *

У овој глави је сакупљено неколико задатака који су настали приликом читања бајке Л. И. Лагина ,,Старац Хотабич". Доживљаји старог чаробњака и његових младих другова Вољке и Жење су познати свим ученицима. Међутим, да ли има много оних који се сећају да је Вољка Костиљков био велики љубитељ астрономије и то стварно члан астрономског кружока при Московском планетаријуму и, шта више, био на његовом челу? Вероватно, због тога у причи можемо наићи на не мали број епизода које приморавају сваког ко воли астрономији да се замисли.

Могуће је да ће пример ,,Старца Хотабича" код вас да подстакне научну анализу и других књига из домена бајки и фантастике. Неретко налазимо да је њихов садржај знатно богатији него што то изгледа на први поглед. Можда ће се код вас појавити жеља да припремите школско вече ,,Чаролије и наука" или ,,Конкурс за чаробњаке" где би ученици могли да продискутују чуда која чине јунаци књига и да их научно оцене. Можда ће неко бити у стању и сам да направи чудо? Познанство са науком ће вам помоћи у овом!

13.1. Да ли се сећате какав је био први поклон који је Вољка добио од Хотабича? То је био ручни часовник. Најпре од монолитног комада злата и без било ког механизма изнутра. Разуме се, овај часовник није показивао време. ,,А зар је тамо нешто требало да буде унутра?" забринуо се стари чаробњак. Уместо одговора Вољка је скинуо часовник и вратио га Хотабичу.
,,Добро", кратко се сложио овај. -,,Ја ћу ти поклонити такав часовник који не треба да нема ништа унутра."

Златан часовник је опет био на Вољкиној руци, али сада је он био танушан, раван. Стакла на њему више није било, а уместо минутне, секундне и часовне казаљке појавио се омањи вертикалан златан штапић на средини бројчаника са дивним драгим камењем као од најчистије воде које се налазило тамо где се очекивало да буду означени часови.

,,Никада нико, чак ни најбогатији светски султани , нису имали ручне Сунчеве часовнике!" – поново је почео да се хвали старац. - Било је Сунчевих часовника на градским трговима, на пијацама, у вртовима, у дворцима и сви су они били направљени од камена. И ево ја, само што сам такав један часовник сам измислио. Заиста, није лоше! Стварно, бити први и једини у целом свету са ручним Сунчевим часовником било је довољно примамљиво".

Дакле, да ли је могуће да се направи ручни Сунчев часовник? Ако је одговор потврдан, зашто онда такве часовнике нису имали ни султани?

13.2. ,,Благословени Вољка", рекао је после доручка Хотабич, блажено се грејући на сунцу - ,,све време ја теби дајем поклоне, по мом схватању, драгоцене, и сваки пут они теби нису прирасли за срце. Да урадимо, можда, овако: ти ћеш мени сам да кажеш шта би се теби ... допало да ти дам на поклон и ја бих сматрао за срећу ... да ти одмах дам то што желиш." ,,Поклони ми, у том случају, велики поморски бинокулар", одговорио је Вољка без великог размишљања.
Зашто је Вољка изабрао за себе баш такав поклон?

13.3. Вољка и Хотабич су кренули на летећем ћилиму да ослободе Жењу из ропства: ,,Вечерњи мрак надвио се на град, а овде, горе, још се могао видети пурпурни Сунчев диск који је полако нестајао иза хоризонта.
,,Интересантно ..." - изустио је Вољка замишљено, - ,,интересантно, на којој смо висини сада?"
,,Шесто-седамсто аршина" одговорио је Хотабич настављајући нешто да рачуна на прсте".
Да ли је Хотабич правилно одредио висину лета ако је за посматрача на Земљиној површи Сунце већ зашло, а са летећег ћилима оно се видело скоро у потпуности? Напоменимо да аршин износи око пола метра.
(*Према подацима из неких приручника лакат или аршин треба да износи око 0,7 m прим. прев.*)

13.4. Лет се настављао. „Потамнело је. Сада је на летећем ћилиму постало нарочито непријатно и Вољка је предложио Хотабичу да се попну за петсто аршина.
- Тада ћемо опет да угледамо Сунце.
Хотабич је био дубоко у сумњи да ли је могуће до сутрашњег јутра да се види дневно небеско тело које је већ зашло, али није хтео да улази у спор са Вољком.
Можете да замислите како се он зачудио и колико је у његовим очима порастао Вољкин ауторитет када су они, доспевши на већу висину, заиста поново угледали Сунце које је, као да се ништа није понављало, само мало додиривало својим пурпурним крајем црну линију далеког хоризонта.
Да нисам, потчињавајући се твојој скромности, о Вољка, теби обећао, ништа ме не би задржало да тебе не назовем највећим тикваном на свету! усхићено је изговорио Хотабич ..."
Користећи се решењем претходног задатка ви можете без тешкоћа да кажете да ли је Вољка тачно одредио неопходну висину и да ли он заиста заслужује да га назову „највећим на свету". Ако је Сунце управо престало да буде видљиво на висини од 600-700 аршина, може ли се тада његов диск видети у целини ако се подигнемо за још 500 аршина? И, узгред буди речено, колико је далеко од путника био хоризонт?

13.5. Ви се сећате како је џангризави Хотабичев брат Омар Јусуф одлучио да слети на Месец. Вољка га је упозоравао:
„-Ти мораш да одлетиш са Земље брзином не мањом од једанаест километара у секунди. У супротном случају , уверавам те, никада нећеш стићи до Месеца.
- Са радошћу и задовољством! - Стиснуо је Омар Јусуф своје танке усне.
- А колико износи један километар? Реците, јер ја не знам за такву меру за дужину.
-Хм, како да ти објасним ... замислио се Вољка. - Па, ево: километар, то је отприлике хиљадучетристо корака.
-Твојих корака? - упитао је чаробњак. - Дакле мојих корака у километру нема више од хиљадудвеста, чак мало мање.
Омар Јусуф је прецењивао своју телесну висину. Он није био виши од Вољке."
Погодите којом брзином је чаробњак одлетео са Земље и на које растојање од ње је он могао да се удаљи?
Ако је ушао у кружну путању, колики је био њен полупречник?

13.6. Сећате се како је Старац Хотабич описивао свој лет у космос? Он се најпре претворио у Земљин сателит да би се на путањи срео са својим братом.
„ - А затим када сам видео да ми је време да се вратим на Земљу, ја сам се окренуо лицем према њој и саопштио сам свом телу онолику брзину која је била потребна да се савлада сила која ме је окретала око Земљине кугле."
Опис овог космичког маневра може да се схвати овако: Хотабич се кретао по кружној путањи, а затим је себи саопштио додатну брзину једнаку првој космичкој и управљену ка средишту Земље. Да ли је Хотабич могао после таквог маневра да се врати на Земљу?

13.7. Налазећи се на великим северним географским ширинама ледоломац „Ладога" на којем је путовао Хотабич са својим младим пратиоцима се насукао наишавши на подводни пешчани спруд - локално узвишење дна. Да би брод могао да настави пловидбу Хотабич је одлучио да уништи спруд.
И ево шта се даље догодило: „Ладога се одједном затресла и завртела у дубоком виру који настао наместу уништеног спруда". Питање: у ком правцу и зашто је настао вир? Да ли је могла оваква појава да се деси у области екватора?

* * *

Последњи задатак је више из физике него из астрономије. Треба да знате, ви млади физичари, да је Старац Хотабич и за вас припремио немало занимљивих проблема. На пример овакве:

13.8. Припремајући се да шапуће Вољки на испиту из географије чаробњак је обећао: ,,Нико неће приметити да ја шапућем ... Оно што ја будем имао среће да ти шапућем, поћи ће право из мојих цењених уста у твоје цењене уши". Зашто су за усмерено преношење звука биле потребне магичне Хотабичеве способности, док усмерено преношење светлости може да обави свако од нас служећи се, на пр., џепном лампом?

13.9. Да ли се сећате шта је Хотабичу било потребно за чаролије? Да, наравно, сува влас из браде. А ту је и невоља, ако се брада покваси, она губи своју волшебну силу. Како да брада остане сува за време свих могућих авантура? Пријатељи су одлучили да помогну чаробњаку:
,, - Смислио сам! - узбуђено је скочио на ноге Жења. - Заиста сам смислио! ... Треба намазати браду неком машћу.
- Па, шта онда? - Слегнуо је раменима старац.
- Тада она неће да се покваси чак и испод водопада, ето шта је! ...
- Ја се доста разумем у науке, - увредио се Хотабич, - али не знам која то наука учи да се масним премазом сачува чаробна брада од кварења". Објасните старом чаробњаку зашто брада намазана машћу неће да се покваси.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

РЕШЕЊА

1.ЗВЕЗДАНО НЕБО

* * * * * □ * * * * *

1.1. Ради се о сазвежђу Змије које пресеца Змијоноша. У марту западни део сазвежђа излази око поноћи, а источни у зору.

1.2. У другој половини јуна Сунце се налази близу тачке летњег солстицијума. Дакле, за време помрачења треба да се виде сјајне звезде распоређене око те тачке: Кастор и Полукс у сазвежђу Близанаца, Процион у сазвежђу Малог пса, Сиријус у сазвежђу Великог пса, Алдебаран у сазвежђу Бика, Капела у сазвежђу Кочијаша, сјајне звезде из Ориона. Све ове звезде се налазе на јужној страни неба. (Мекур у правцу према Сунцу се не види. Венера је приближно на 47^0 западно од Сунца у сазвежђу Бика. Марс се не види пошто се налази близу тачке зимског солстицијума испод хоризонта) - овај део одговора се мења у сагласности са текућом ситуацијом.

1.3. Када посматрамо Млечни пут видимо звезде наше Галаксије сконцентрисане у њеном диску. Нарочито много дуж Млечног пута има младих врелих звезда које се рађају из међузвездане материје згуснуте у галактичкој равни. Међутим, та иста материја, прецизније њена гасна компонента, упија светлост далеких галактичких и свих вангалактичких објеката. Према томе, спољашње галаксије се, практично, не виде унутар траке ширине од 10^0 до 15^0 дуж средње линије Млечног пута која се због овога зове зона избегавања.

1.4. Бетелгејз се налази у сазвежђу Ориона близу небеског екватора и услед овог не може да се види више од 12 часова; без обзира што је Орион зимско сазвежђе и зимска ноћ траје дуже од 12 часова. Денеб се налази у „летњем" сазвежђу Лабуда, али у Москви је ово сазвежђе циркумполарно и у зимским ноћима Денеб може да се посматра ниско на хоризонту током целе 15-часовне ноћи.

1.5. Треба рећи које су најинтересантније звезде и када се оне налазе у горњој кулминацији. На пр., Сиријус кулминује у поноћ јужно од зенита око 1. јануара, Арктур у другој половини априла, Вега почетком, а Денеб крајем јула, сазвежђе Ориона средином децембра, итд. Пожељно је да се помене звезда δ Ориона која се налази близу небеског екватора услед чега она излази у источној тачки, а залази око западне тачке. Знајући Сунчев положај међу зодијачким сазвежђима и приближно време посматрања може да се закључи које од њих се у датом тренутку налази на југу.

1.6. Сазвежђе Скорпије (Шкорпије) је зодијачко иако еклиптика пролази само кроз његов мањи део (око 10^0) - кроз његова северна „кљешта". На старим картама неба његове звезде су се спајале у фигуру отровног пауколиког бића са издигнутим репом-жаоком. Најсјајнија звезда - Антарес (α Скорпије) има црвенкаст одсјај. Марс у свом кретању по небу једанпут за 687 дана (1,88 година) доспева у веома блиско привидно суседство са овом сјајном звездом и на тај начин Антарес изгледа као да је Марсов двојник; одатле и назив ове звезде - Аресов противник, код Римљана - Марсов. Могу да се помену и најпознатије двојне звезде - ν и β Скорпије. У овом сазвежђу се налазе веома сјајни облаци Млечног пута.
Премда се Змијоноша и не сврстава у зодијачка сазвежђа, Сунце ипак проводи у јужном делу овог сазвежђа скоро месец дана, од краја новембра до друге половине децембра. Змијоноша дели сазвежђе Змије на два дела: западни (већи) и источни (мањи). У сазвежђу Змијоноше се такође виде сјајни облаци Млечног пута и тамне маглине. У Скорпији, Змијоноши и Стрелцу се налазе најјужнији делови еклиптике.

1.7. У сазвежђу Андромеде треба уочити три сјајне звезде: α,β,γ, које се налазе дуж једне праве на скоро једнаким међусобним растојањима. Најсјајнија међу њима - α - се налази у левом горњем углу Великог квадрата чије остале три звезде припадају Пегазу. Гама Андромеде је интересантна двојна звезда са разнобојним компонентама. У сазвежђу Андромеде се налази најближа крупна спирална галаксија - Андромедина маглина (М 31).

Сјајне звезде Касиопеје образују фигуру која подсећа на слово W или M (у зависности од доба године). Сазвежђе се налази у Млечном путу. У нашој земљи (*Руска Федерација, али исто је и у Србији - прим. прев.*) ово сазвежђе је циркумполарно. Године 1572. у њему се догодила експлозија супернове коју је описао Тихо Брахе.

1.8. Штит се налази између Орла, Стрелца и Змије; Лисица је јужније од Лабуда; Стрела је још јужније (северније од Орла); Мали коњ се налази између Пегаза, Водолије и Делфина; Зец је јужније од Ориона, Гавран јужније од Девице, Рис северније од Близанаца и Рака.

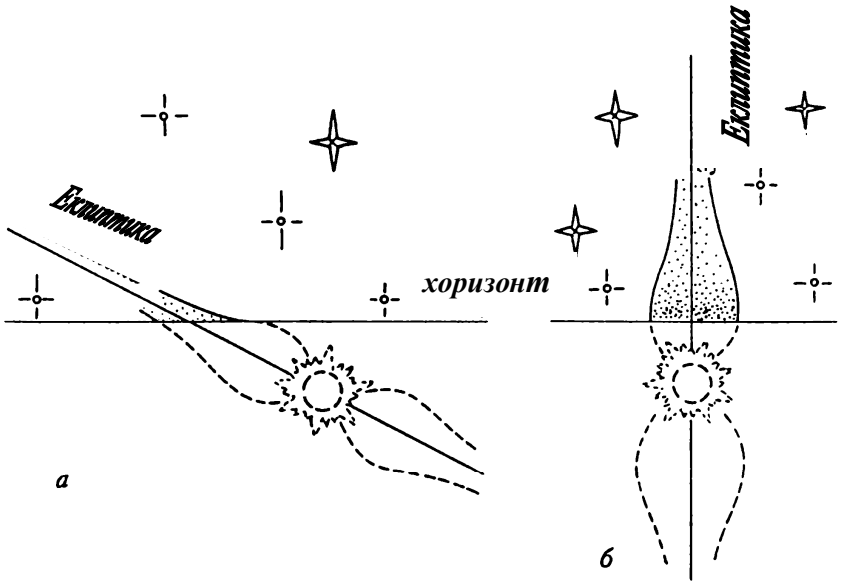
1.9. Сунце се налази близу тачке летњег солстицијума код западне границе сазвежђа Близанаца. На истој страни су сазвежђа Ориона, Бика и Великог и Малог пса чије најсјајније звезде Бетелгејзе, Ригел, Алдебаран, Сиријус, Процион, као и Кастор, Полукс и Капела, морају да буду приметне на потамнелом небу.

1.10. Велики медвед се високо на североистоку приближава небеском меридијану, Лав је ниже од њега, а Орион се на југозападној страни неба приближава хоризонту. Кочијаш је високо изнад Ориона. Месечева фаза и положај, као и сјај, положај и приближни тренутак излаза/залаза планета зависе од дате године.

1.11. Сазвежђа: Вага, Телескоп, Секстант, Октант, Микроскоп, Пумпа, Компас, Часовник.

1.12. Сунце, Месец, Венера, Јупитер, Марс, Меркур, Сиријус. Даље следе - Канопус, Арктур, Вега, α Кентаура, Капела, Ригел, Сатурн.

1.13. Сазвежђе Змијоноше својим јужним делом сече еклиптику у зони ректасцензије 17^h - 18^h . Сунце је у тој зони крајем новембра.



Ил. 1.1. Зодијачка светлост на великим (а) и малим (б) географским ширинама.

1.14. Зодијачка светлост је Сунчево зрачење које расејава међупланетна прашина сконцентрисана у равни еклиптике, углавном унутар Земљине орбите. Највећи сјај зодијачка светлост има на мањем угаоном растојању од Сунца пошто су густина прашине и интензивност Сунчеве светлости тамо већи. Због тога се зодијачка светлост види после заласка или пред излазак Сунца. На великим и средњим географским ширинама зодијачка светлост се практично не види јер се зоне еклиптике око Сунца у тамно доба дана не подижу изнад хоризонта (Ил. 1.1а). Најбоља места за посматрање зодијачке светлости се налазе у зони око Земљиног екватора где се еклиптика види високо изнад хоризонта, а сумраци кратко трају (Ил. 1.1б).

1.15. Изглед ноћног неба је практично исти као на Земљи. Разлика је у томе да је Јупитер знатно сјајнији, Сатурн је упадљиво сјајнији, док је у слу, а такође се види Земља са суседом Месецом. Брзо прелазе преко неба два Марсова сателита: Фобос и Деимос при чему Фобос излази на западу, а залази на истоку и током једне ноћи може два пута да пресече небески свод. На Марсу се обданица суштински разликује од оне на Земљи. Пречник Сунчевог диска је један и по пута мањи од онога на који смо ми навикли. Због разређене атмосфере небо је за време обданицетамно, виде се сјајне звезде, планете и Марсови сателити.

1.16. Пречник Јупитера на небу Ио(а) износи око 20^0. Цео Јупитер се види само са једне полулопте која је стално окренута њему. Он је практично непокретан, баш као Земља на Месечевом небу. Ио обави један обрт око Јупитера за 18,5 часова: планета за ово време демонстрира све своје фазе, а такође и Сунчево помрачење. Дан на Ио(у) такође траје 18,5 часова. За време обданице у местима у сенци могу да се виде звезде, а на отвореним местима мало Сунце чији пречник износи свега 6'. Сазвежђа су иста као и на Земљи, али осим звезда виде се многобројни Јупитерови сателити, сјајни Сатурн, а такође Уран и Нептун. На другој страни Ио(а) дуж границе са страном која се види са Јупитера има једна зона где се Јупитер налази нешто мало испод хоризонта; тамо треба да се види његов прстен.

1.17. Ако се има у виду површина или, тачније, просторни угао, за Месечев диск зато што је његов угаони полупречник мали (R_M), може да се напише следеће

$$S_M = \pi R_M^2 = \pi(0{,}26^0)^2 \approx 0{,}21\ \square^0.$$

Површина целокупне небеске сфере, као што је познато, износи 4π стерадијана. С обзиром да је један радијан = $180^0/\pi \approx 57{,}3^0$, налазимо да је 1 стерадијан = $(57{,}3^0)^2$. Дакле површина целе небеске сфере је

$$S_0 \approx 4\pi(57{,}3^0)^2 \approx 4{,}13 \times 10^4 \square^0 .$$

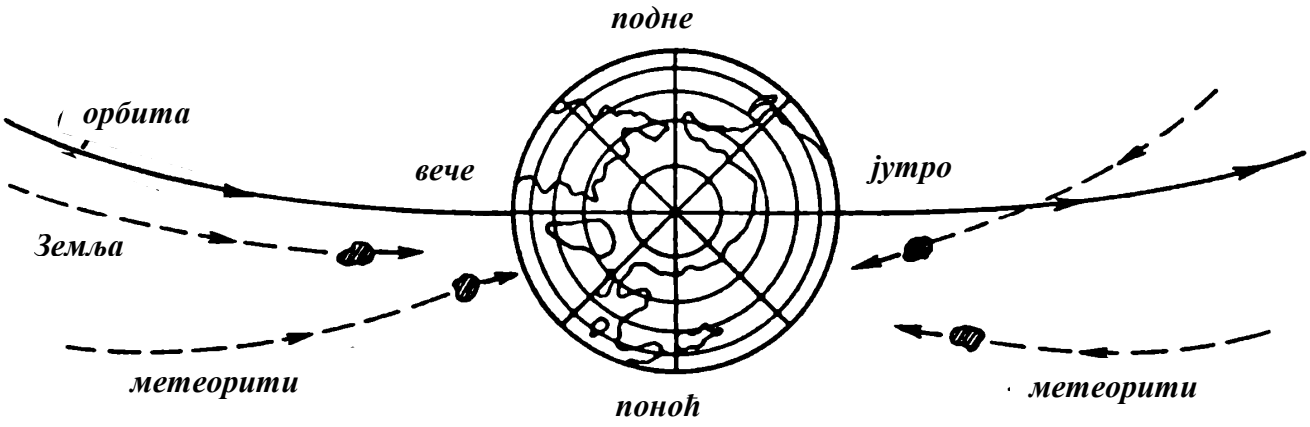
Имамо $So/S_M \approx 2\times 10^5$. Ако се под „небом" подразумева његова видљива **полусфера**, да би се оно покрило у потпуности потребно је 100 хиљада Месечевих дискова.

1.18. Сунце се види за време обданице, звезде ноћу, а Месец и дању и ноћу.

1.19. За познаваоце неба је очигледно да је:
а) песник стајао окренут лицем ка југу;
б) био вечерњи сумрак;
в) Месец био близу фазе пуног месеца;
г) не баш високо изнад хоризонта Месец изгледа већи па је, према томе, ближи;
д) када каже „једна", значи сјајна звезда која се појавила пре других; када каже „изнад мене", значи није ни планета ни Сиријус који на средњим географским ширинама не могу бити високо изнад хоризонта; највероватније је то била Вега, а посматрање се догађало лети или у јесен.

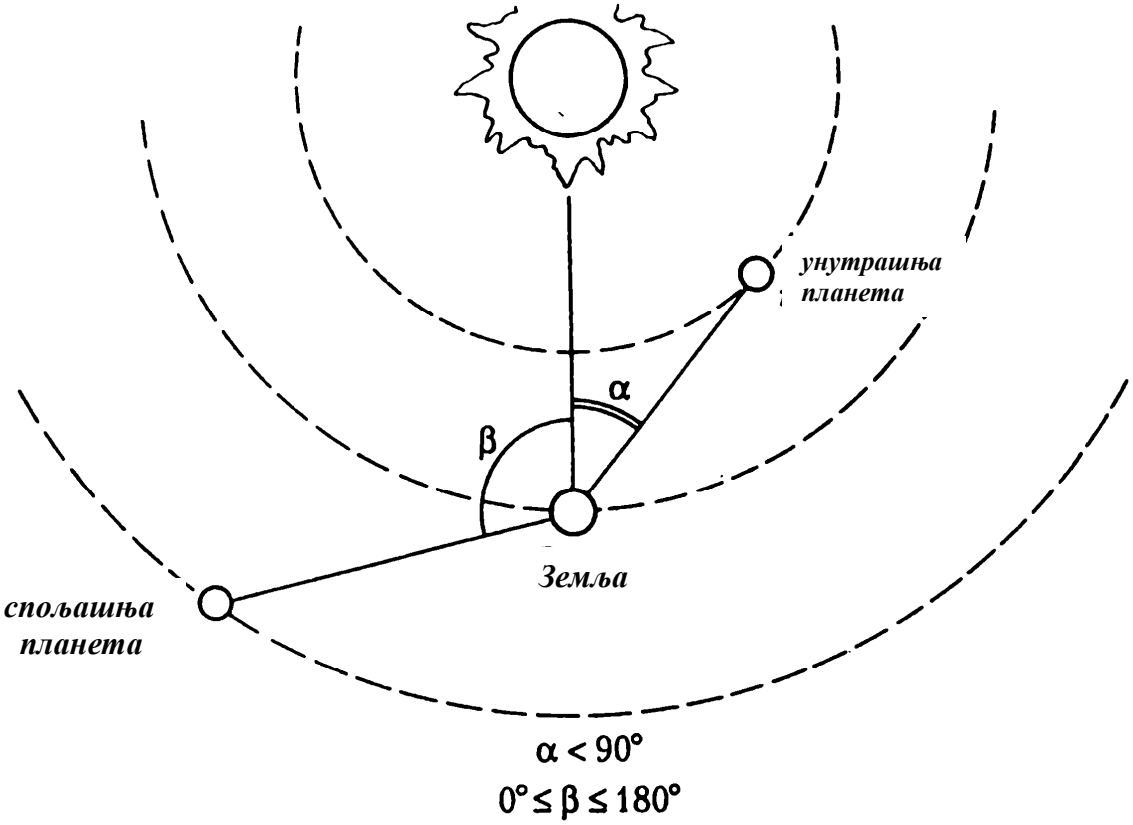
1.20. Између „астрономских" богова имамо тесне родбинске везе:

Меркур је Јупитеров (Зевсов) син;
Венера (Афродита) је Јупитерова ћерка;
Земља (Геја) је прародитељ богова (Урана, ...);
Марс је Јупитеров (Зевсов) син;
Јупитер је син Сатурна, а брат Нептуна и Плутона;
Сатурн је син Урана и Геје;
Уран, Гејин син, је затим постао њен супруг и Сатурнов отац;
Нептун и Плутон су синови Сатурна (Кроноса);
Луна (Селена, Дијана, Артемида) је Јупитерова кћи.
(Прим. прев.: Овде нису дата одговарајућа грчка имена за све богове, конкретно у питању су Меркур (Хермес), Нептун (Посејдон) и Плутон (Ад или Хад).)



Ил. 1.3. „Јутарњи" метеорити се крећу брже ка Земљи.

1.21. Само спољашња планета чији је полупречник путање већи од Земљиног може да се налази на угаоном растојању од Сунца већем од 90^0 (Ил. 1.2).



Ил. 1.2. Конфигурације планета

1.22. Обично метеорски ројеви носе име оног сазвежђа у којем се налази њихов радијант. За рој Леонида радијант се налази у сазвежђу Лава ($\alpha = 10{,}2^h$; $\delta = +22{,}3^0$). Максимум за овај рој се догађа средином новембра и у вези је са кометом Темпл-Тугтл. За овај рој се зна већ око 4000 година. Обично није много богат, али једном у 33 године доноси обилне звездане падавине. Рој Квадрантида се види почетком јануара и одликује се стабилношћу и богатством. Координанте његовог радијанта су $\alpha = 15{,}5^h$ и $\delta = +51^0$. Овде се „састају" три сазвежђа: Волар, Хекул и Змај. Међутим, неко време је ту било сазвежђе Зидног Квадранта које је увео 1795. године Жозеф Лаланд у част свог омиљеног астрономског инструмента. Ово сазвежђе се није одржало, али успомена на њега је остала у називу метеорског роја.

1.23. Река Еридан није зодијачко сазвежђе и због тога Марс не доспева у њега.

1.24. Земља ће се налазити у наспрамном делу еклиптике, у сазвежђу Близанаца.

1.25. Сунце, Јупитер, Сатурн, Уран, Нептун, Земља, Венера, Марс, Ганимед, Титан, Меркур, Калисто, Ио, Месец, Европа, Тритон, Плутон, ...

1.26. На Земљину ,,јутарњу" полулопту доспевају метеорити који лете, првенствено, Земљи у сусрет, а на ,,вечерњу" они који је сустижу (Ил. 1.3). Према томе, послепонoћни метеорити улећу у атмосферу већом брзином и када изгоре, јаче засијају него препонoћни метеорити. Ето зашто после понoћи наше око може да примети метеоре од таквих ситних космичких зрна прашине који до понoћи у атмосфери горе слабо и неприметно.

1.27. Сматраћемо да око види звезде закључно са 6^m којих на читавој небеској сфери има око 6000. Као што је познато, површина небеске сфере износи 41 253 $\square^0$ (видети решење задатка **1.17**). Према томе, средња густина звезда на јединицу просторног угла небеске сфере је 6000/41 253 што даје 0,15 звезда на квадратни степен (0,15зв/ $\square^0$) . Месечев привидни пречник износи $0{,}5^0$, а за један дан пређе у односу на звезде пут од 13^0 и, према томе, он покрије $13^0 \times 0{,}5^0 = 6{,}5$ квадратних степени на дан. Сада је лако да се одреди да Месец покрива у просеку 6,5 $\square^0$ /дан $\times$0,15 зв/ $\square^0$ = 1 звезду на дан.

Ако се узме у обзир, да се ова појава, у принципу, може посматрати само ноћу што чини мање од половине дана, добиће се да окултација звезде од стране Месеца може да се види једанпут у 2-3 ноћи. Међутим, ово још увек није све. За Месечеве мене блиске пуном месецу он је тако сјајан да се слабе звезде, које чине већину на небу, не виде близу Месеца. Према томе, у стварности се може посматрати у периоду од младине до прве четврти окултација звезда тамним источним крајем Месеца, а у периоду од последње четврти до младине како се звезде појављују иза тамног Месечевог западног краја. С обзиром на дужину ових периода од само две недеље и да се Месец тада види само кратко време увече и ујутру, у стварности се голим оком може посматрати окултација звезда од стране Месеца не чешће него једанпут месечно, али и ово је праћено немалим тешкоћама.

1.28. Венера се види пред излазак Сунца на истоку.

1.29. У повратку ловац мора да се креће према југу. Пошто је ујесен Сунце близу равнодневице, оно излази недалеко од источне тачке. Дакле, треба ићи тако да Сунце буде са леве стране.

1.30. На фотографијама путања сателитанема никаквих цик-цак линија. Изгледа да је појава о којој говоре посматрачи условљена неким физиолошким особеностима вида, на пример неприметним и несвесним покретима очију.

1.31. Прво, зато што оштрина вида није иста за различите људе и друго, услови посматрања (сјај неба и прозрачност атмосфере) могу јако да се разликују.

1.32. Земљина оса има прецесију у облику купе чији угао износи $23{,}5^0$, а период око 26 000 година. Дакле, пре 13 000 година Северњача је била удаљена 47^0 од северног небеског пола. Његова хоризонтска висина у Москви износи $\varphi = 56^0$. Дакле Северњача је била циркумполарна.

1.33. Ако предстоји помрачење Сунца које се догађа за време младог месеца, значи да је текућа Месечева мена последња четврт, т. ј. увече се уопште не може видети. Ако се очекује помрачење Месеца, до пуног месеца је остала недеља и после заласка Сунца млад месец ће бити на јужном делу неба.

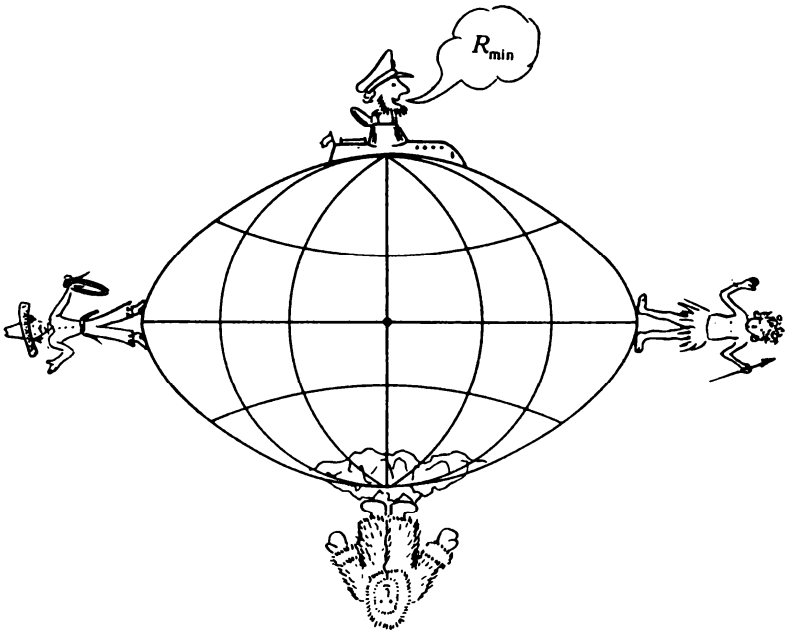
1.34. На цртежима су представљена сазвежђа Великог медведа, Лабуда и Ориона.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

2. ЗЕМЉА: КООРДИНАТЕ, ОБЛИК, КРЕТАЊЕ

* * * * * □ * * * * *

2.1. Најближи средишту Земље су они који путују на северни пол. Услед ротације Земља је спљоштена: на половима растојање до њеног средишта износи 6356,8 km, мање него на екватору (6378,2 km) за 21,4 km. Према томе, полови планете су тачке најближе средишту Земље. Чак дно маријанског удубљења, где је на дубини од 11 km испод површи океана боравило више истраживача, налази се даље од средишта Земље него ниво мора у области око полова. Међутим, најужном полу истраживачи су на већој висини због континента и ледене куполе Антарктика, а наАрктику они су буквално на нивоу мора. Том приликом од свих истраживача Арктика најближе средишту Земље су били учесници експедиција на подморницама (Ил. 2.1).



Ил. 2.1. Ко је ближи средишту Земље?

2.2. 21. марта је дан пролећне равнодневице. Сунце се налази у пресеку небеског екватора и еклиптике и може у подне да достигне исту висину коју достиже за дату географску ширину места небески екватор ($h = 90^0 - \varphi$). Сенка стуба је била једнака висини Сунца и одатле следи да је висина била 45^0. Према томе, географска ширина места посматрања је $\varphi = 45^0$ (како северна, тако може и јужна).

2.3. Земља је пресецала рој током 40 дана. Занемарујући разлику између дужине лука који Земља пређе за то време и дужине одговарајуће тетиве и израчунавши да за дан Земља са брзином на путањи од 30 km / s прелази пут дуг око 2,6 милиона km, закључујемо да је метеорски рој имао ширину од око 100 милиона km.

2.4. Разуме се, у задатку се говори о годишњим добима на северној полулопти. Промена температуре са овим добима највећим делом зависи од нагиба Земљине осе према равни путање (еклиптици) и разлике у висини Сунца изнад хоризонта зими и лети која одатле проистиче. Мала промена растојања до Сунца изазвана ексцентричношћу Земљине путање мало смањује осцилације температуре на северној полулопти и појачава их на јужној.

2.5. $23^h56^m04^s$ - звездани дан.

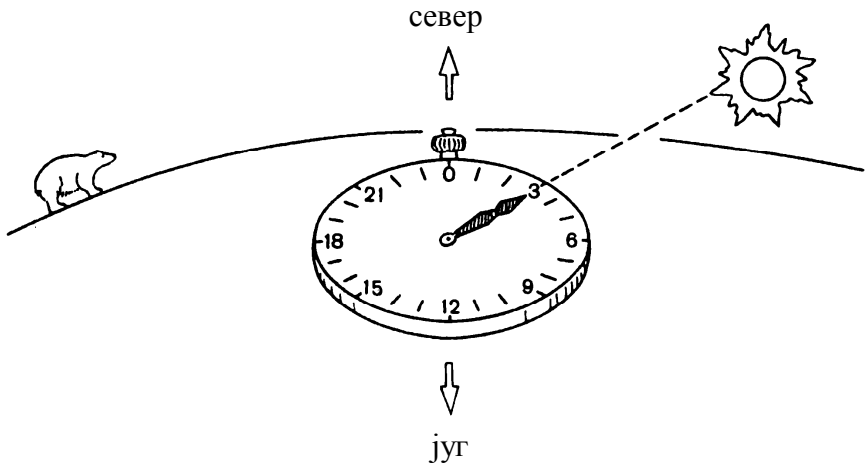
2.6. Услед спљоштености Земљине лопте меридијан је елипса, док је екватор скоро идеална кружница чији је полупречник једнак великој полуоси меридијанске елипсе. Дакле, обим меридијана је мањи од обима екватора и други путник ће се вратити раније.

2.7. У првом случају Земља може да прође кроз реп комете. Заиста, 0,5 AJ значи 75 милиона km. Реп комете је усмерен од Сунца и дугачак је више од 100 милиона km. У другом случају Земља не може да прође кроз реп комете јер се целокупна путања Земље налази унутар путање комете, а реп комете је усмерен од Сунца.

2.8. Земља се налази у перихелу (4. јануара) и афелу (5. јула). За мале углове растојање Земље од Сунца се може написати овако: $a = R_{\odot} / \theta_{\odot}$, где је $R_{\odot} = 7 \times 10^8$ m - Сунчев полупречник, а $\theta_{\odot}$ је угао под којим се он види са Земље. Тада имамо $\Delta a = R_{\odot}\, \Delta\theta / \theta_{sr}^2$, где је Δ а разлика велике и мале полуосе путање, a_{sr} њихова средња вредност, $\Delta\theta = \theta_{max} - \theta_{min}$ и $\theta_{sr} = (\theta_{max} - \theta_{min})/2$.
Заменом бројних вредности добићемо Δa = 5 милиона km. Баш за оволико се разликују растојања Земље од Сунца у афелу и перихелу.

2.9. Као што је сада, плима и осека би се догодиле по два пута, али би период између две плиме износио око 6 часова, а не око 12 часова као сада.

2.10. На великим географским ширинама такав часовник може да служи као компас: довољно је да се он оријентише тако да мала казаљка показује на Сунце и тада ће у правцу „12 ч." бити југ (Ил. 2.2). Разуме се, часовник мора да показује месно Сунчево време, а за то путник мора да зна своју географску дужину. Када се иде на северни пол, обично се кретање обавља дуж подневка и зато је довољно да се зна географска дужина места одакле се кренуло и тамо треба коректно регулисати часовник. За путника који је пошао из Канаде, овакав начин оријентисања је нарочито актуелан јер се он креће у околини северног магнетног пола ($\varphi = 78{,}5^0$, $\lambda = 70^0$ западно од Гринича), а тамо употреба магнетног компаса није погодна. Осим тога, у условима поларног дана тешко је разликовати по бројчанику обичног часовника биолошку обданицу и ноћ, тј. подне од поноћи. Зато бројчаник са 24 часа помаже путнику да превлада ову психолошку тешкоћу.

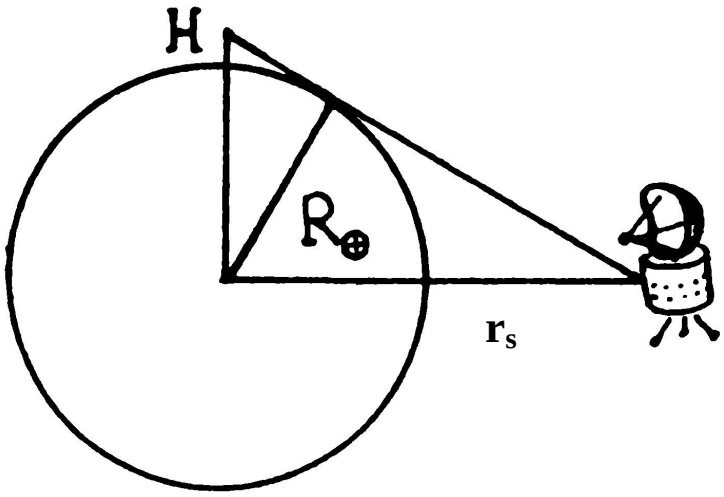


Ил. 2.2. Часовник-компас. Задатак 2.10.

2.11. Такав сателит се назива геостационарни. Он се креће у равни Земљиног екватора по кружној путањи полупречника $r_s = R_{\oplus e} + h$, где је $R_{\oplus e} = 6378km$ екваторски полупречник Земље, а h је висина путање изнад екватора. За период обиласка по кружној орбити имамо из трећег Кеплеровог закона

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{r_s^3}{GM_{\oplus}}}$ Период геостационарног сателита мора бити једнак једном звезданом дану на Земљи: $T = 23^h 56^m 04^s = 86\,164$ s. Тада ће бити

$r_s = \sqrt[3]{GM_{\oplus}\left(\dfrac{T}{2\pi}\right)^2} = 42166km$ одакле се за висину налази h=42166 - 6378 =35788 km. Брзина сателита на стационарној путањи износи $V = 2\pi r_s / T = 3{,}07$ km/s.



Ил. 2.3. Одакле се види геостационарни сателит?

2.12. Максималну географску ширину на којој се геостационарни сателити још увек виде одредићемо из услова видљивости објекта на хоризонту (Ил. 2.3) :

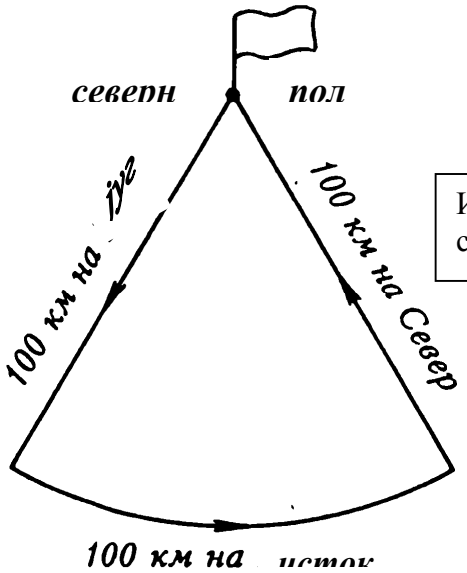
$|\varphi| = 90^0 - \arcsin\dfrac{R_\oplus}{r_s}$ где је r_s = 42 166 km - полупречник путање стационарног сателита (вид. **2.11**).

Усвајањем да је Земља лоптаста и да је $R_\oplus = 6371km$ добићемо $|\varphi| = 90^0 - 8{,}7^0 \approx 81^0$. На већим географским ширинама, па према томе, и на Земљиним половима геостационарни сателити се не виде са нивоа мора. Дакле, и веза уз њихову помоћ није могућа.

2.13. Нека је H висина антене, r_s = 42 166 km - полупречник путање стационарног сателита (вид. **2.12**). Сматрајући да је Земља лоптаста (Ил. 2.3) добићемо из Питагорине теореме и сличности троуглова једначину за H:

$$\frac{H+R_\oplus}{r_s} = \frac{R_\oplus}{\sqrt{r_s^2 - R_\oplus^2}} \qquad \text{одакле је } H = \frac{R_\oplus}{\sqrt{1-(R_\oplus/r_s)^2}} - R_\oplus \approx \frac{R_\oplus^3}{2r_s^2} = 73km.$$

Узимајући у обзир да дебљина антарктичког леда на јужном полу износи око 3 km, требало би да се антена подигне изнад те површи за 70 km, а ово једва да је могуће.



Ил. 2.4. Вратили су се у полазну тачку.

2.14. Задатак се чини врло лаким: тражена тачка је северни пол (Ил. 2.4). Али, не журите: постоје и друга решења. Ако их не нађете сами, погледајте решење **2.14*** на крају ове главе.

2.15. Висина небеског тела у горњој кулминацији износи h = 90^0 – φ + δ где је φ географска ширина места посматрања, а δ деклинација небеског тела. Пошто је у зениту h=90^0, биће φ = δ, тј. у зениту може да се нађе само небеско тело чија је деклинација једнака географској ширини места посматрања. Према томе, четири звезде различитих деклинација нису могле да буду у самом зениту. Требало је да Ж. Верн напише „близу зенита".Узевши аритметичку средину за вредности деклинације за четири сјајне звезде Јужног крста, наћи ћемо:

$\delta_{SR} = \dfrac{-62{,}6^0 - 59{,}2^0 - 58{,}2^0 - 56{,}6^0}{4} = -59{,}2^0$. Дакле, око поноћи брод се налазио у области географске ширине φ ≈ -59^0, а један час касније он је био изнад јужног пола (φ = - 90^0) и тако прелетео лук од 31^0. Пошто је дужина Земљиног меридијана приближно једнака 40 хиљада km, брод је прелетео 40 000 ×(31^0/360^0) ≈ 3440 km брзином од 3400 km/3600 s = 960 m/s. Ово је скоро три пута веће од брзине звука у атмосфери!

Вероватно је Жил Верн о овој епизоди размишљао недовољно пажљиво.

2.16. Биће пошто кретање Земље око Сунца доводи до привидног обилажења Сунца око ње са периодом од једне године.

2.17. Пошто се радња догађала практично на нивоу мора, кроз цев са произвољним увеличањем морска површ се види не даље од 5 - 6 *(морских? прим.прев.)* миља. На том растојању пролази линија хоризонта.

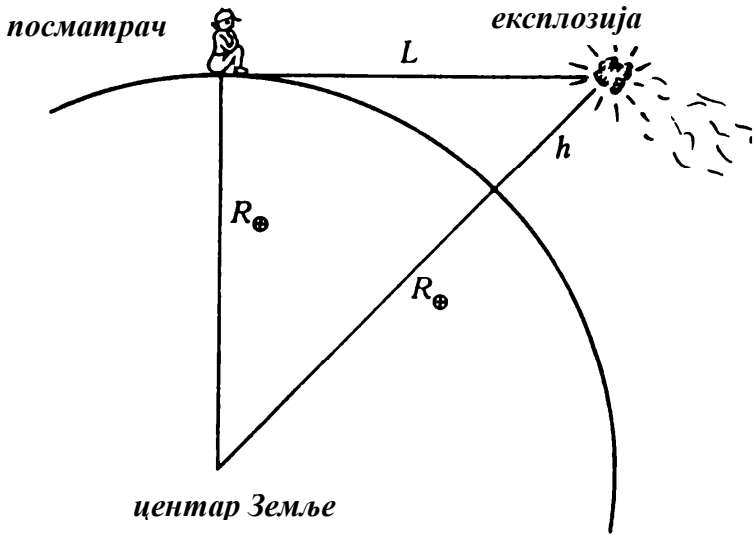
Решивши коректно овај задатак, један од учесника Московске олимпијаде је, међутим, приметио:

„Вероватно је режисер имао у виду квадратне миље на површи океана које су доступне прегледу."

Заиста, површина океана до линије хоризонта износи S = πR^2 = π (5,5 миља)^2 ≈ 100 кв. миља.

2.18. Разлика између дужине тропске и звездане године је повезана са појавом прецесије. Смена годишњих доба је одређена положајем Сунца у односу на Земљину осу. Због тога, тропска година је период између два узастопна пролаза Сунца кроз тачку пролећне равнодневице. Када би Земљина оса имала сталну просторну оријентацију, овај период би се поклапао са периодом обиласка Земље око Сунца. Међутим, обртање Земљине осе са периодом од 26 хиљада година доводи до померања почетка тропске године сваке године за један 26-хиљадити део године (1/26000), тј. за 20 минута.

2.19. Обртање Земље око своје осе се најубедљивије доказује уз помоћ Фукоовог клатна, а обилажење око Сунца постојањем годишње паралаксе звезда.

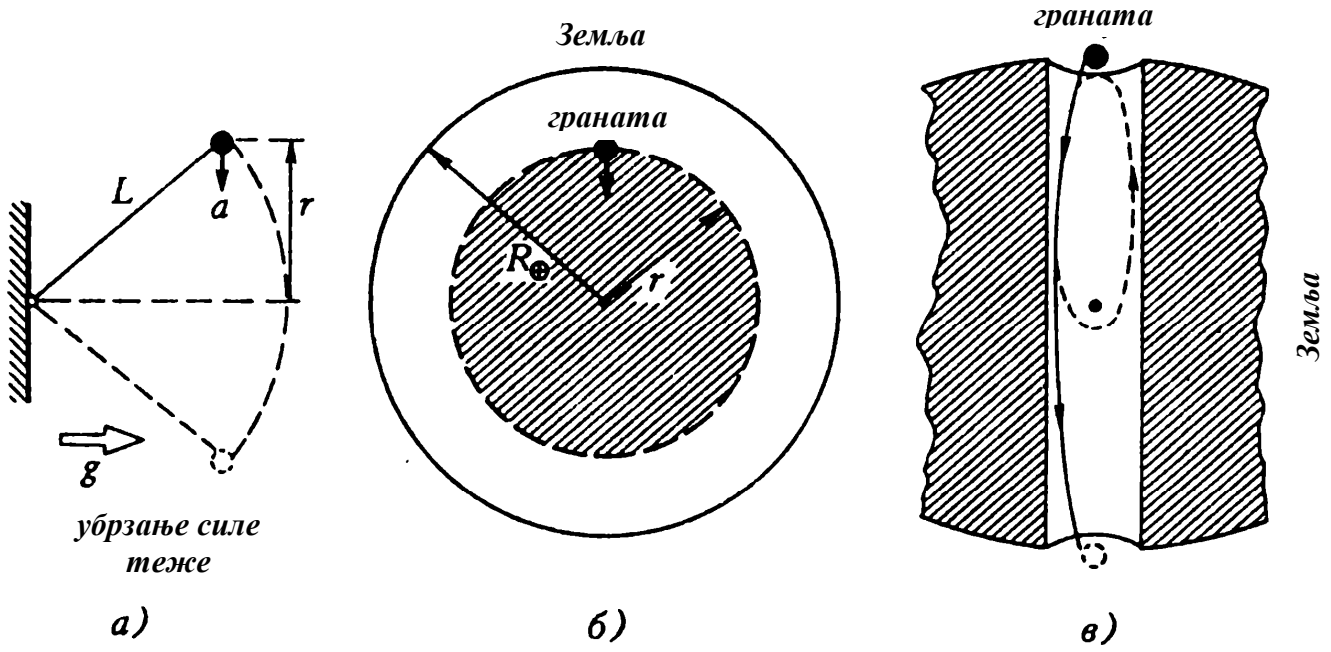


Ил. 2.5. Одакле се видео тунгуски метеорит?

2.20. Троугао, представљен на Ил. 2.5, са страницама једнаким L, $R_\oplus, R_\oplus + h$ је правоугли јер се експлозија видела на хоризонту, а атмосферску рефракцију занемарујемо. Према томе, може да се напише

$L^2 + R_\oplus^2 = (R_\oplus + h)^2$, одакле је

$2R_\oplus h + h^2 = L^2$. Пошто су полупречник Земље - $R_\oplus$ = 6371 km - и растојање до тачке, где се догодила експлозија L=350 km, познати, није тешко да се реши ова квадратна једначина по висини, где се догодила експлозија, h. Међутим, могућ је и једноставнији поступак. Пошто је h<< $R_\oplus$, решење може да се поједностави: $2R_\oplus$ h ≈ L^2, одакле следи h ≈$L^2/2R_\oplus$ = 9,6 km. Дакле, експлозија се догодила на висини од око 10 km. Узимање у обзир рефракције би смањило ову вредност, али у датом случају нема потребе да се тежи великој тачности јер тешко је да се претпостави да се привидни хоризонт у граду Киренску поклапа са линијом правог хоризонта.



Ил. 2.6. Лет кроз средиште Земље. Задатак 2.21.

2.21. Нека је $M_\oplus$ маса Земље, а $R_\oplus$ њен полупречник. Лет сателита на ниској путањи од једног пола ка другом трајаће као половина његовог периода обиласка:

$$T_1 = 0{,}5P = \pi\sqrt{\frac{R_\oplus^2}{GM_\oplus}}$$

Сада ћемо да одредимо трајање лета гранате кроз тунел. Пошто је расподела масе у Земљиној унутрашњости прилично сложена, размотрићемо две крајности:

а) Нека је Земља хомогена лопта (Ил. 2.6б). На растојању r од њеног средишта гранату привлачи само унутрашњи део планете чији је полупречник r и маса M(r), M(r)= $M_\oplus$ $(r/R_\oplus)^3$. Дакле, она се креће са убрзањем a = - GM(r)/r^2 = - G$M_\oplus$ r/$R_\oplus^3$ (знак минус указује да су овде смерови вектора r и a супротни). Као што видимо, ово је једначина линеарних хармонијских осцилација које настају онда када је реституциона сила пропорционална растојању тела од равнотежног положаја. У нашем случају та тачка је средиште Земље.

Ова једначина може да се реши по аналогији са једначином малих осцилација клатна (Ил. 2.6а): a= - gr/L, где је g убрзање при слободном падању, L дужина клатна, а r растојање од равнотежног положаја. Као што је познато, период осцилација клатна одређен је формулом $P = 2\pi\sqrt{L/g}$

Дакле, период осцилација гранате у тунелу (независно од амплитуде осцилација) ће бити $P = 2\pi\sqrt{\frac{R_\oplus^3}{GM_\oplus}}$ Стога ће прелет од једног до другог пола трајати $T_{2a} = \pi\sqrt{\frac{R_\oplus^3}{GM\oplus}}$

На тај начин, у случају хомогене Земље, гранате ће до јужног пола да стигну истовремено (T_1=T_{2a}).

(примедба редактора: очигледније је поћи од познате релације за хармонијско осциловање a = - ω^2x где је x елонгација (у овом случају x = r) а $\omega = 2\pi/T$ кружна учестаност. Упоређивањем са изразом за убрзање (a = - G$M_\oplus$ r/$R_\oplus^3$) добија се ω^2 = G$M_\oplus/R_\oplus^3$ одакле следи горњи резултат)

Међутим, познато је да се густина повећава ка средишту Земље и због тога ће се размотрити и друга крајност.

б) Нека је целокупна Земљина запремина сабијена у њено средиште. Тада ће убрзање гранате да буде једнако a=G $M_\oplus$/r^2. Такву исту једначину кретања имају тела Сунчевог система. Кретање наше гранате по праволинијској путањи се може представити као кретање по дегенерисаној елипси чија је ексцентричност практично један (Ил. 2.6в). Тада ће велика полуоса ове елипсе бити једнака $R_\oplus/2$, а период обиласка $T_{2b} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_\oplus/2)^3}{GM_\oplus}} = \pi\sqrt{\frac{R_\oplus^3}{2GM_\oplus}}$

Као што се види, ово је $\sqrt{2}$ пута мање него T_1 или T_{2a}. Очигледно, стварна вредност трајања прелета гранате кроз тунел (T_2) задовољава неједнакост $T_{2a}>T_2>T_{2b}$. Следи $T_2<T_1$, тј. граната, пуштена да пада у тунел, стићи ће на супротни крај Земље брже од гранате избачене у орбиту. Веома добар облик интерконтиненталног саобраћаја и још, потпуно је бесплатан (ако се не рачунају трошкови за изградњу тунела!).

Задатак је решен. А сада покушајте да размотрите трећу варијанту расподеле Земљине масе, која је потпуно невероватна: нека се целокупна маса планете налази у њеној бесконачно танкој љусци, а унутрашњост је празна. Желим вам успех!

2.22. Код крупних масивних тела сила теже је јача од еластичне силе и „топи" сваки део планете који хоће да се издигне. Само код лопте све тачке на површи су истом положају и нема делова који се издижу. Ако се планета обрће, центрифугална сила повлачи на екватору мање „испупчење" и облик планете постаје елипсоидан (ово је нарочито приметно код Сатурна).

На астероидима и језгрима комета сила теже је ништавна и њихов облик одређују процеси сударања, акреције и разарања. Због тога он може бити врло разнолик.

2.23. Под претпоставком да честице падају равномерно из свих праваца и не мењају момент количине кретања Земље - $L_{\oplus} \propto MRV_3$ - налазимо да је брзина обртања на екватору $V_3 \propto 1/MR$, а дневни период $P \propto R/V \propto R^2M$. За почетни период P_0 добићемо: ($\propto$ значи сразмерно)

$\frac{P_0}{P} = \frac{R^2M}{(R+\Delta R)^2(M+\Delta M)}$ Под претпоставком да су промене R и M мале, добићемо (користећи релацију $(1+x)^n \approx 1 + nx$ ako je $x \ll 1$) $P = P_0\left(1+\frac{\Delta M}{M}\right)\left(1+\frac{2\Delta R}{R}\right)$

Узимајући у обзир зависност масе од полупречника за константну густину ($M \propto R^3$), добићемо: $\Delta M/M = 3\Delta R/R$, одакле $P = P_0\left(1+\frac{5\Delta M}{3M}\right)$

Промена Земљине масе за време њене еволуције је реда величине
$\Delta M \approx 10\,000$ t $\times 365^d \times 4{,}5$ милијарди година $\approx 2 \times 10^{19}$ kg.

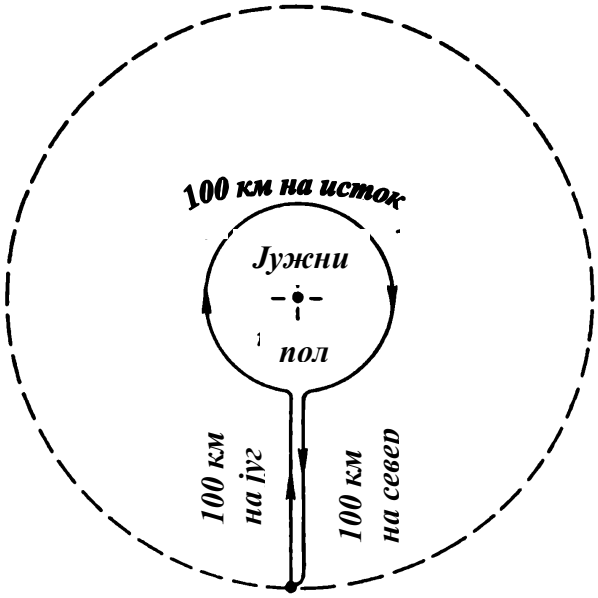
Следи $$\frac{\Delta M}{M_{\oplus}} \approx \frac{2\cdot 10^{19}}{6\cdot 10^{24}} \approx 3\cdot 10^{-6}$$

Ово доводи до промене дневног периода за 0,4 секунде током целокупне Земљине еволуције.

2.24. Не, неће се променити. Прецесија Земљине осе ротације не мења њен нагиб према равни еклиптике, а од њега зависи, углавном, клима поларних области.

2.25. Очигледно, поменута промена радијалне брзине је последица Земљиног орбитног кретања. Ако је радијална брзина звезде у односу на Сунце V_r, а брзина орбитног кретања Земље V, онда када се Земља приближава звезди њихова релативна брзина ће бити $V_1=V_r - V$.
Кроз пола године Земља се већ удаљава од звезде и њена брзина ће бити $V_2=V_r+V$.
Одавде ћемо добити $V = \frac{V_2 - V_1}{2}$ Дакле, брзина Земље на орбити је V=(33+27)/2=30 kms^{-1}. При кружном кретању Земље око Сунца њено центрипетално убрзање је једнако гравитационом: $\frac{V^2}{a} = \frac{GM_{SUN}}{a^2}$ Одавде се за константу гравитације добија $G = 6{,}7 \times 10^{-11}\ m^3\ kg^{-1}s^{-2}$.

2.26. Прецесија Земљине осе се догађа дуж једне купе са углом отвора једнаким $23{,}5^0$ и периодом од око 26 000 година. Дакле, пре 13 000 година Северњача је била од северног небеског пола удаљена 47^0. Његова хоризонтска висина у Мосви је $\varphi = 56^0$. Дакле, Северњача је била циркумполарна.



Ил. 2.7. Вратићемо се у било коју од бесконачно много полазних тачака!

2.27. Описани догађај се могао десити само у две области на Земљи: на северном полу (ово је тривијално) и у околини јужног пола (ово није тако тривијално; ако сами не разаберете, погледајте решење задатка **2.14***). Међутим, на Антарктику, као што је познато, нема медведа. Према томе, наш медвед је стајао на северном полу, следи да је био **беле боје**.

2.14*. Осим **једне тачке** на северном полу постоји још **бесконачан** скуп тачака у околини јужног пола које такође задовољавају услов задатка. Оне се налазе на концентричним кружницама чији је центар у јужном полу, а полупречници им износе

$$R = 100\left(1+\frac{1}{2\pi k}\right)km$$

где је k=1,2,3, ... На пр. за k=1 ми полазимо са растојања од око 116 km од пола и крећући се на југ приближавамо се њему до растојања једнаког 16 km. Затим скрећемо на исток и обилазимо око пола цео круг (обим је $2\pi\times16 = 100$ km). Онда се путем који смо већ прешли враћамо на север у полазну тачку. За k = 2 треба два пута обићи око пола дуж двоструко мање кружнице. Том приликом кретање се догађа све време строго на исток. Између растојања 116 km и 100 km од јужног пола налази се бесконачно много кружница чије све тачке задовољавају услов задатка.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

3. МЕСЕЦ. ПОМРАЧЕЊА СУНЦА И МЕСЕЦА

* * * * * □ * * * * *

3.1. Захваљујући физичким либрацијама Месеца које достижу 8^0 из области близу ивице Месечевогдиска могу се посматрати редовни излази и залази Земље јер се она са Месеца види под углом од око 2^0. Земља се мало издиже изнад хоризонта, затим нестаје иза њега са периодом од једног месеца.

3.2. Захваљујући кретању чворова Месечеве путање узлазни чвор може да се поклопи са тачком пролећне равнодневице. Баш у том случају пун месец може да достигне своју највећу висину. Узимајући у обзир: да је висина небеског екватора за географску ширину Москве $34^0 15'$, да екваторски нагиб еклиптике износи $23^0 27'$, а нагиб Месечеве путање према еклиптици $5^0 9'$, добићемо да Месец може да достигне висину (над хоризонтом) од $62^0 51'$. Ово може да се догоди на дан зимског солстицијума. У то време Месец треба да буде у северном делу Близанаца.

3.3. У пролеће Сунце се налази близу тачке пролећне равнодневице. У то време еклиптика увече заклапа највећи угао са хоризонтом. Због тога Месец, који се креће близу еклиптике, достиже велику хоризонтску висину и рогови „младог" Месеца су усмерени на горе. Аналогну слику имаћемо у јесен пред излаз Сунца у случају „старог" Месеца када је Сунце у близини тачке јесење равнодневице.

3.4. Услед мање елиптичности Земљине путање растојање између ње и Сунца се мења током године: за северну полулопту Земља је даље од Сунца лети, а ближе њему зими. Због тога угаоне димензије Сунца су малчице мање зими него лети. Услед, исто тако, елиптичности путање Месечево растојање до Земље (као и његове угаоне димензије) такође осцилује са периодом од једног Месечевог месеца и у просеку нема везе са годишњим добом. Због овога лети Месечев угаони пречник је често већи од Сунчевог и зато он потпуно заклања Сунчев диск. Зими, пак, се прстенаста помрачења чешће догађају него лети.

3.5. За време помрачења Сунца Месечева сенка се креће по Земљиној површи приближно са запада на исток брзином од око 1 kms^{-1} (у првој апроксимацији то је брзина кретања Месеца по орбити). На исту страну, на исток, али са мањом брзином, догађа се дневно кретање Земљине површи: на екватору његова брзина достиже $2\pi R_{\oplus} / 24h = 0{,}5\ kms^{-1}$, а на половима се смањује до нуле. Према томе, у области око екватора брзина сенке у односу на површ износи само 0,5 kms^{-1}. Усвојивши да пречник Месечеве сенке износи 200 km лако је израчунати да на великим географским ширинама помрачење може да траје око 3,5 минута, док у близини екватора достиже 7 минута.

Други, мање важан, узрок је у томе да су димензије Месечеве сенке на екватору мало веће него у поларним областима јер је посматрач на екватору, по правилу, ближи Месецу (види **3.14**.).

3.6. Могуће је, јер помрачење Сунца може да се догоди у било ком делу еклиптике, већ према кретању чворова Месечеве путање.

3.7. Ако авион лети брзином од око 1 kms^{-1}, он може да стигне Месечеву сенку (види **3.5.**). Такви авиони постоје; (на пр. „Конкорд" - *више не лети прим. прев.*); са њих су астрономи већ посматрали помрачења Сунца. За време једног од таквих посматрања тоталност је трајала више од 60 минута!

3.8. У повољним околностима може да се посматра помрачење Сунца са било ког вештачког Земљиног сателита. Међутим, за сателите на ниској путањи, као што је станица „Мир", трајање тоталности помрачења неће бити велико: за максимални пречник Месечеве сенке једнак 270 km њима, с обзиром на брзину од 8 kms^{-1}, не треба за пролажење кроз сенку више од 34 секунде.
3.9. Ово је могло да се догоди у екваторско-тропским земљама у другој половини дана. Орбитно кретање Месеца манифестује се у његовом привидном кретању у односу на звезде са запада на исток са периодом од 27,3 дана (сидерички месец). Кретање Земље по орбити манифестује се у привидном кретању Сунца такође са запада на исток са периодом од једне године. Због тога Месечев диск за време потпуног помрачења сустиже Сунчев диск и додирује његову западну страну. Приликом делимичног помрачења тачка додира ће бити померена према северу или југу и решење се компликује и због тога ћемо сматрати да је помрачење потпуно.

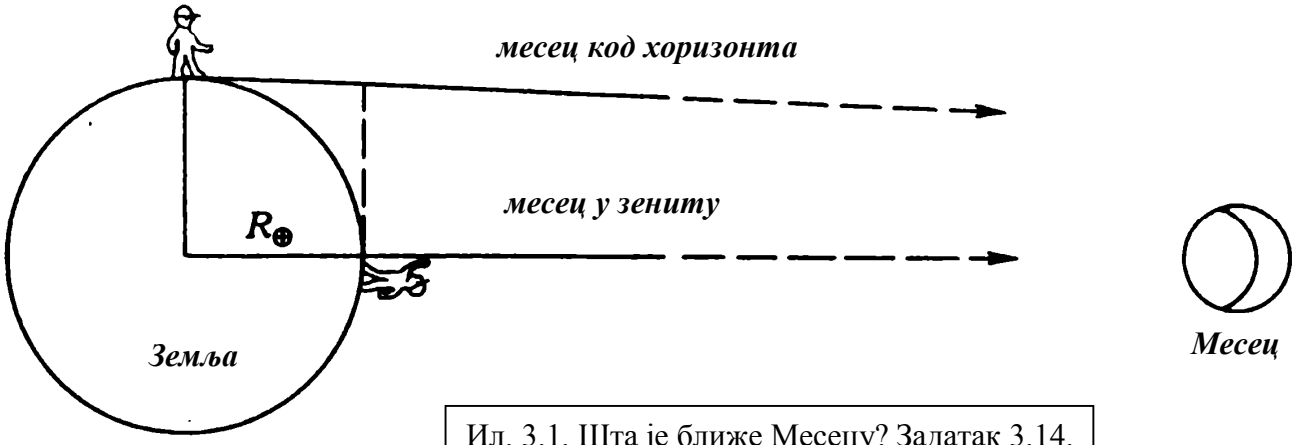
Западна област на Сунчевом диску може да буде „доле" само у другој половини дана за земље које нису много далеко од екватора. Максимална географска ширина ових места се може лако израчунати: она ће бити једнака максималном углу између равни Месечеве путање и Земљиног екватора, тј. $\pm(23{,}5^0 + 5{,}5^0) = \pm 29^0$. Ако се помрачење догодило неколико часова после поднева, могуће је чак да се приближно преко годишњег доба укаже географска ширина места: лети и зими ово се могло посматрати само близу екватора, у пролеће (мисли се на пролеће за северну полулопту) - у близини северног повратника, а у јесен у близини јужног.

3.10. Ово је могло да буде у екваторско-тропским земљама пре поднева (види **3.9**).

3.11. Помрачење се догађа у близини оних тачака еклиптике где њу пресеца Месечева путања. Дакле, помрачења се понављају приближно кроз пола године. Према томе, друго помрачење може да се догоди лети, крајем јуна, а треће крајем децембра.

3.12. Средиште круга Земљине сенке имало је деклинацију која је одговарала деклинацији Сунца, али са обрнутим знаком. Према томе, средиште диска пуног месеца било је јужније (ниже) него средиште сенке за $21^0 18' - 20^0 50' = 28'$. Полупречник Земљине путање већи је од полупречника Месеца (15') на његовом растојању 2,5 - 2,8 пута. Према томе, у тренутку максималне фазе Месец мора да прође кроз доњи део Земљине сенке и тада је помрачење делимично са веома великом фазом.

3.13. Могуће је ако је положај посматрача на Земљи такав да се Месец и Сунце виде у близини хоризонта и још Месец пролази близу ивице Земљине сенке. Тада ће Месечево средиште да буде на растојању од 25' од средишта сенке, а доњи крај Месеца ће бити на растојању од $180^0 05'$ од доњег краја Сунца. Међутим, услед атмосферске рефракције доњи крајеви небеских тела ће се близу хоризонта подићи за 35' и привидно растојање између њих ће износити мало мање од 179^0. Дакле, Месечев и Сунчев диск ће тада бити изнад линије математичког хоризонта. Ако се посматрач налази на врху брда, оба небеска тела могу да буду суштински изнад линије правог хоризонта. Међутим,разуме се, затамњени Месечев диск неће се видети на позадини дневног неба (бар, у оптичком дијапазону).



Ил. 3.1. Шта је ближе Месецу? Задатак 3.14.

3.14. Близу зенита пошто је у таквом положају посматрач ближи њему за износ Земљиног полупречника (Ил. 3.1.), тј. за 1,6%.

3.15. Близу хоризонта пошто је у таквом положају привидни пречник Месеца мањи (вид. **3.14**).

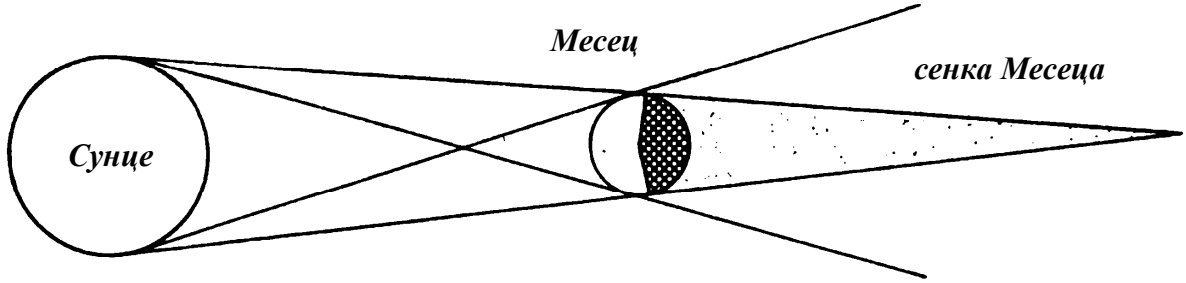
3.16. Дању је светлије на другој страни Месеца јер је она тада ближе Сунцу за износ пречника Месечеве путање него друга страна (*? од преводиоца*) када је на њој дан. Ноћу је светлије на видљивој Месечевој страни: она је осветљена светлошћу одбијеном од дневне Земљине стране и то тако јако да је за време „пуне земље" на Месецу могуће читати без тешкоћа користећи Земљину светлост. То је разлог зашто са младим (или врло старим) месецом видимо део Месечевог диска који није осветљен Сунчевом светлошћу. То је тзв. **пепељава Месечева светлост.**

3.17. Месечева путања се налази скоро у потпуности у равни еклиптике ($\pm 5^0$) и због тога Месечева привидна путања на небу се скоро поклапа са Сунчевом; једино што Месец начини свој обрт, не за годину дана као Сунце, него за један сидерички месец (27,3 дана). Дакле, када се посматра са једног од географских полова, Месец ће две недеље бити изнад хоризонта, а две недеље испод њега. Када се узме у обзир атмосферска рефракција, установиће се да ће се Месец видети мало дуже (колико - оцените сами).

3.18. Логично је да се претпостави да ће становници сваке станице одржавати везу са одређеном тачком на Земљи. Узимајући у обзир да се у свом кретању око Земље Месец током једног Земљиног дана помери за известан угао који даје 1 час, налазимо да један Земљин обрт око своје осе за посматрача на Месецу траје 25 часова. У сврху тачног прорачуна употребићемо формулу:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{P_{\oplus}} - \frac{1}{P_{\subset}}$$

где је $P_{\oplus} \approx 23^h56^m$ период обртања Земље, а $P_{\subset} \approx 27{,}32$ дана $\approx 655^h43^m$ период обиласка Месеца око Земље. Тада ће период проласка Месеца кроз фиксирани подневак на Земљи износити $T=24^h50^m$.



Ил. 3.2. И дуже од ноћи траје обданица ....

3.19. Не сасвим. Због коначних димензија Сунца стално је (разуме се, искључујући тренутке помрачења Месеца) осветљено више од пола Месечеве лопте. Да се уверимо да је тако довољно је да се сетимо да Месечева сенка има облик који, није ваљкаст, него купаст (Ил. 3.2). Разлику између површине осветљеног и неосветљеног дела Месечеве површи можемо да оценимо на следећи начин: ширина допунског (осим полулопте) осветљеног појаса дуж терминатора износи $0{,}25^0$, а дужина 360^0; дакле његова површина је $90\square^0$ (квадратних степени). Одавде следи да је површина осветљене стране за $180\square^0$ већа од површине неосветљене стране. Ово је око 0,5% укупне површине Месеца.

Ово расуђивање би било потпуно тачно када би са сваке тачке Сунчевог диска на Месец доспевао паралелан сноп зракова, тј. када би Сунце, као извор светлости, било „бесконачно далеко". У стварности није тако: свака тачка на Сунцу осветљава мало мање од целе Месечеве

полулопте. Разлика је једнака углу $\alpha = R_{\subset}/1AJ = 2{,}4''$. Овај угао је врло мали у поређењу са угаоним полупречником Сунца ($0{,}25^0$) и због тога није узет у обзир у решењу датом горе. Међутим, онима који су уочили ову разлику упућује се честитка!

3.20. Нигде, ако данас није млад месец (а текућу Месечеву мену љубитељ астрономије треба да зна!).

3.21. Пошто сваки пут зона помрачења покрива случајну област на Земљи, вероватноћа да дата географска тачка доспе у зону помрачења једнака је односу површине ове зоне s и укупне површине Земљине лопте S. Дакле, у просеку из дате тачке ће се видети једно од S/s помрачења, а интервал између њих ће износити t=S/s година. Налазимо $S = 4\pi R_{\oplus}^2 \approx 5 \times 10^8$ km^2 и s = 200 km $\times$ 10^4 km = 2×10^6 km^2. Тада је t = 250 година.

3.22. У доњој кулминацији висина Сунца износи $h_D = \delta + \varphi - 90^0$, где је δ деклинација Сунца, а φ географска ширина места посматрања. На дан летњег солстицијума је $\delta = +23{,}5^0$ и у Санкт-Петербургу Сунце се не спушта ниже од $h_D = 23{,}5^0 + 60^0 - 90^0 = -6{,}5^0$, а то значи да, практично, тамо целе ноћи траје грађански сумрак ($-6^0 \leq h_D \leq 0^0$). Као што се види, А. С. Пушкин је био у праву када је написао:

,,И не пуштајући ноћну таму
На плава небеса
Један сумрак смењује други
Жури пошто је ноћи дао пола часа."

Узгред буди речено, проверите да ли заиста у Санкт-Петербургу, у пуном сјају белих ноћи, ноћ прекида грађански сумрак око поноћи на пола часа?

У Одеси је, пак, $h_D = 23{,}5^0 + 46{,}5^0 - 90^0 = -20^0$, дакле чак и на дан летњег солстицијума тамо се догађа дубока астрономска ноћ ($h_{\square} \leq -18^0$).

3.23. На половима и то тако што је треба поставити на узвишење од 2-3 km. У овом случају је могуће да се посматрања Сунца обављају без прекида јер ће се оно кретати дуж хоризонта са мањим клаћењима од $\pm 1{,}5^0$ услед нагиба Месечевог екватора према еклиптици. Међутим, линија привидног хоризонта на Месецу се налази за $2^0\sqrt{h}$ ниже од правог хоризонта где је h - висина посматрача изнад површи изражена у километрима (формулу изведите сами). У тим истим тачкама је повољно да се изгради Сунчева електрична централа.

3.24. Месец се креће скоро по еклиптици и када је пун месец налази се наспрам Сунца. Пошто се зими Сунце налази испод екватора, Месец ће бити на већој висини. Због тога је Сунце дању не много изнад хоризонта, а Месец је ноћу високо, за 40 - 45 степени више од Сунца (удвостручен нагиб еклиптике према екватору).

3.25. Два пута током орбитног периода Урана путањска раван његових сателита пролази кроз правац ка Сунцу. У тим тренуцима могу да се десе помрачења. Пошто угаоне димензије Сунца на Урановом растојању износе свега 1,7', потпуна помрачења могу да изазову сви његови сателити. Том приликом пречник малих унутрашњих сателита видљив са површи планете само мало превазилази димензије Сунчевог диска и, због тога, помрачења ће имати изглед на који смо навикли: Сунчева корона ће се видети у целости. Међутим, помрачења која потичу од пет великих спољашњих Уранових сателита (то су Миранда, Аријел, Умбријел, Титанија и Оберон) биће чак више него потпуна: у тренутку када Сунчев диск буде покривен може да се види само половина короне.

3.26. У односу на Земљину сенку Месец начини један обилазак за један синодички месец (29,5 дана), тј. креће се са угаоном брзином од $0{,}5^0$/час. За пола часа он се помери за износ једног свог полупречника, према томе, сенка ће да покрије приближно половину Месечевог диска са источне

стране, тј. за посматраче са северне полулопте - леву половину Месеца. За посматраче са јужне полулопте биће покривена десна Месечева половина, међутим на Антарктику Месец се у то време уопште не види: Сунце се налази близу тачке зимског солстицијума, дакле пун Месец је близу тачке летњег солстицијума, тј. северније од екватора за $23{,}5^0$. Тада се он не види јужније од јужног повратника, баш тамо где је Антарктик.

3.27. Знајући Месечев период обиласка (27,3 дана) наћи ћемо угаону брзину Месеца у односу на звезде: $360^0/27{,}3 = 13{,}2^0$/дан ≈ 33'/час. Пошто је привидни пречник Месеца у просеку једнак 32', покривеност може да траје не више од 1 часа и то само у случају ако звезда пролази кроз средиште Месечевог диска. Могућ је и други метод за израчунавање: треба поделити пречник Месечеве сенке (који је у случају далеког извора светлости једнак Месечевом пречнику 3474 km), са брзином кретања Месеца по орбити (1 kms^{-1}): добићемо такође око 1 час.

Међутим, ово је тачно само за непокретног посматрача на Земљиним половима. На екватору посматрач се сам креће на исту страну као и Месечева сенка, али мањом брзином - око 0,5 km s^{-1}.Због тога за њега трајност покривености нараста двоструко.

3.28. Одредимо трајање излаза Сунца на Месечевом екватору. Пошто се раван Месечевог екватора скоро поклапа са еклиптиком, Сунце ће да излази тачно у источној тачки нормално на хоризонт. Период обиласка Месеца у односу на правац ка Сунцу, то је синодички месец (29,5 дана), дакле 1^0 на небу Сунце пређе за $29{,}5^d/360^0 = 0{,}08^d \approx 2^h$, а свој пречник ($0{,}5^0$) Сунчев диск ће да пређе за 1 час. Када би се радња романа догађала, не у близини Месечевог екватора, тада крећући се под углом према хоризонту Сунце би на излаз потрошило више од 1 часа.

3.29. Месец се креће у сусрет дневном обртању небеске сфере брзином од око 13^0 на дан. Небеска сфера се обрће брзином од 15^0/час. Дакле, излаз Месеца ће да касни сваки дан за $60^m \times (13^0/15^0) = 52^m$. После излаза у уторак пред поноћ у среду Месец неће изаћи, него ће се појавити тек у четвртак ускоро после поноћи: у 0^h37^m.

3.30. Решавајући овај једноставан задатак важно је да се правилно схвати разлика између синодичког и сидеричког месеца. Сидерички ($27{,}32^d$) је тај који служи као период обртања Месеца око своје осе. Дакле, током једне године Месец начини $365{,}25^d / 27{,}32^d = 13{,}37$ обрта.

3.31. Услед кретања Месеца у сусрет дневном обртању небеске сфере период између два његова излаза износи 24^h52^m (види **3.29**). На екватору он ће бити изнад хоризонта тачно током половине овог временског интервала, тј. 12^h26^m.

3.32. Друга страна Месеца је подједнако често осветљена Сунчевом светлошћу као и она видљива: на било ком месту на Месецу две недеље траје дан и две недеље ноћ. Разуме се, фотографисање друге стране Месеца обављано је око младине, када је та страна осветљена Сунчевом светлошћу. Друга нетачност тиче се процеса фотографисања: тешко је да се замисли како је могуће да се сними Месечева површ утонула у мрак. Ово подсећа на шалу о томе како је једна наивна дама упитала познатог астронома: „Како Ви то фотографишете небеске објекте ноћу? Вероватно, користите бљесак (блиц)?"

3.33. Не, јер је тамо у то време поларна ноћ.

3.34. Сидеричком месецу.

3.35. Максимална вредност пречника Месечеве сенке на Земљи износи око 270 km. Купа Месечеве сенке има угао при врху једнак $0{,}5^0$ (ово је привидни пречник Месеца). Висина купе пречника основе 270 km и угла отвора од $0{,}5^0$ износи 270 km$\times(57{,}3^0/0{,}5^0)$ = 31 хиљада километара. Баш на такво растојање треба да се удаљи Месец да купа сенке више не допире до Земљине површи и престану потпуна помрачења. Ово ће да се догоди кроз (31 хиљаду km/3 cm годишње) = 1 милијарда година.

3.36. Заиста, као последица смањивања угаоне брзине обртања Земље и Месеца око својих оса смањује се и њихов момент импулса. Међутим, са смањивањем угаоне брзине Месечевог кретања по орбити његов орбитни момент расте. Прецизније, момент импулса је дат као $L \propto M \times V \times R$, где је M маса Месеца, R полупречник његове путање и V брзина на путањи. Пошто је $V \propto R^{-1/2}$, биће $L \propto R^{1/2}$. Угаона брзина је, пак, $\Omega \propto V/R \propto R^{-3/2}$. Следи $L \propto \Omega^{-1/3}$. Управо пораст Месечевог орбитног момента компензује смањење момента ротације Земље (одговарајући момент за Месец је занемарљиво мали). Овде њихов збир одржава своју вредност.($\propto$ значи пропорционално)

3.37. Решићемо задатак у општем облику. Нека су R_{sat} и R_p полупречници сателита и планете, а r_{sat} и r_p су полупречници њихових орбита. Тада ће максимална вредност угаоног пречника сателита, посматраног са планете, изражена у степенима ($57{,}3^0 \approx 1$ rad) да износи

$$\alpha_{sat} = 114{,}6^0 \frac{R_{sat}}{r_{sat} - R_p} \text{ а угаони пречник Сунца ће бити } \alpha_{sun} = \frac{0{,}5^0}{r_p(AJ)}$$

Услов за потпуно помрачење Сунца ће бити неједнакост $\alpha_{sat} \geq \alpha_{sun}$: $\quad r_p(AJ) > \dfrac{r_{sat} - R_p}{229{,}2 R_{sat}}$

За Титан и Сатурн овај услов је „дебело" испуњен. Због радозналости могу се израчунати угаоне димензије Сунца и Титана за Сатурново небо. За R_p = 60 хиљада km и r_p = 9,5 AJ, добићемо α_{sun} = 3,2' и α_{sat} = 15,2'.

3.38. Кратер Тихо се налази на видљивој страни Месеца и никада не нестаје из видокруга због либрација иза Месечеве ивице. Ово значи да тамо Земља никада не залази за хоризонт.

3.39. Користећи услов за помрачење (вид. **3.37**) лако се налази да се на Јупитеру догађају Сунчева помрачења од сва четири галилејска сателита, док на Марсу нема потпуних помрачења јер сенке Фобоса и Деимоса не досежу до планетске површи.

3.40. Пошто данас Месец једва додирује својом купом Земљину сенку, очигледно је да ће када се полупречник путање смањи два пута, пречник Месечеве сенке у близини Земље бити једнак полупречнику Месеца (1738 km). Теже је да се одреди којом брзином ће се тада кретати Месечева сенка у односу на Земљину површ.

Систем Земља-Месец у механичком смислу може да се сматра затвореним и тада у њему укупан момент импулса остаје непромењен. Момент импулса ротације Месеца је занемарљиво мали и нећемо га узимати у обзир. Практично, непромењен остаје збир орбитног момента Месеца и момента ротације Земље:

$M_{\subset} vr + kM_{\oplus} R_{\oplus} V = const$, где су $M_{\subset}$, r и v маса, полупречник путање Месеца и његова брзина на путањи, а $M_{\oplus}, R_{\oplus}$ и V маса, полупречник и брзина обртања на Земљином екватору; коефицијент k зависи од расподеле масе унутар Земље: када би сва њена маса била сконцентрисана дуж екватора, било би k = 1, а када би сва маса била у средишту, било би k = 0, а за једноставне процене може се узети k = 0,5. Брзина Месеца на путањи дата је изразом $v = \sqrt{\dfrac{GM_{\oplus}}{r}}$ Из ових једначина није тешко да се нађе брзина обртања Земље у прошлости:

$V = V_0 + 2v_0 \left(\dfrac{M_{\subset} r_0}{M_{\oplus} R_{\oplus}} \right) \left(1 - \sqrt{\dfrac{r}{r_0}} \right)$, где се индекс „o" односи на садашње вредности величина.

Узимајући у обзир да је $M_{\oplus} = 81 M_{\subset}$, $r_0 = 60 R_{\oplus}$, r_0=2r, V_0=0,5 kms^{-1} и v_0 = 1 kms^{-1} добијамо за брзину обртања Земље: V=0,9 kms^{-1} и брзину Месеца на путањи: v=1,4 kms^{-1}.

Брзина Месечеве сенке у односу на средиште Земље се практично поклапа са брзином кретања Месеца на путањи. Према томе, у односу на Земљину површ Месечева сенка ће се кретати брзином v=1,4 kms^{-1} у поларним областима у било које светло доба дана, а у екваторским областима ујутру и увече и на екватору за време обданице брзина сенке ће бити v-V=1,4 - 0,9 = 0,5 kms^{-1}. Дакле, трајање тоталности (потпуне фазе помрачења) ће износити

1738 km/[од 0,5 до 1,4] kms^{-1} = [од 1241 до 3476] s, тј. од 20 минута до 1 часа у зависности од географске ширине и доба дана.

Лако је да се схвати да помрачења у тим далеким временима, не само да су дуже трајала него данас, него су била и знатно чешћа: најзад Месечева сенка је покривала знатно већу површину на Земљи него данас. Узгред буди речено, када је то било? Детаљни астрономски прорачуни показују да је Месец био два пута ближи Земљи приближно пре две милијарде година.

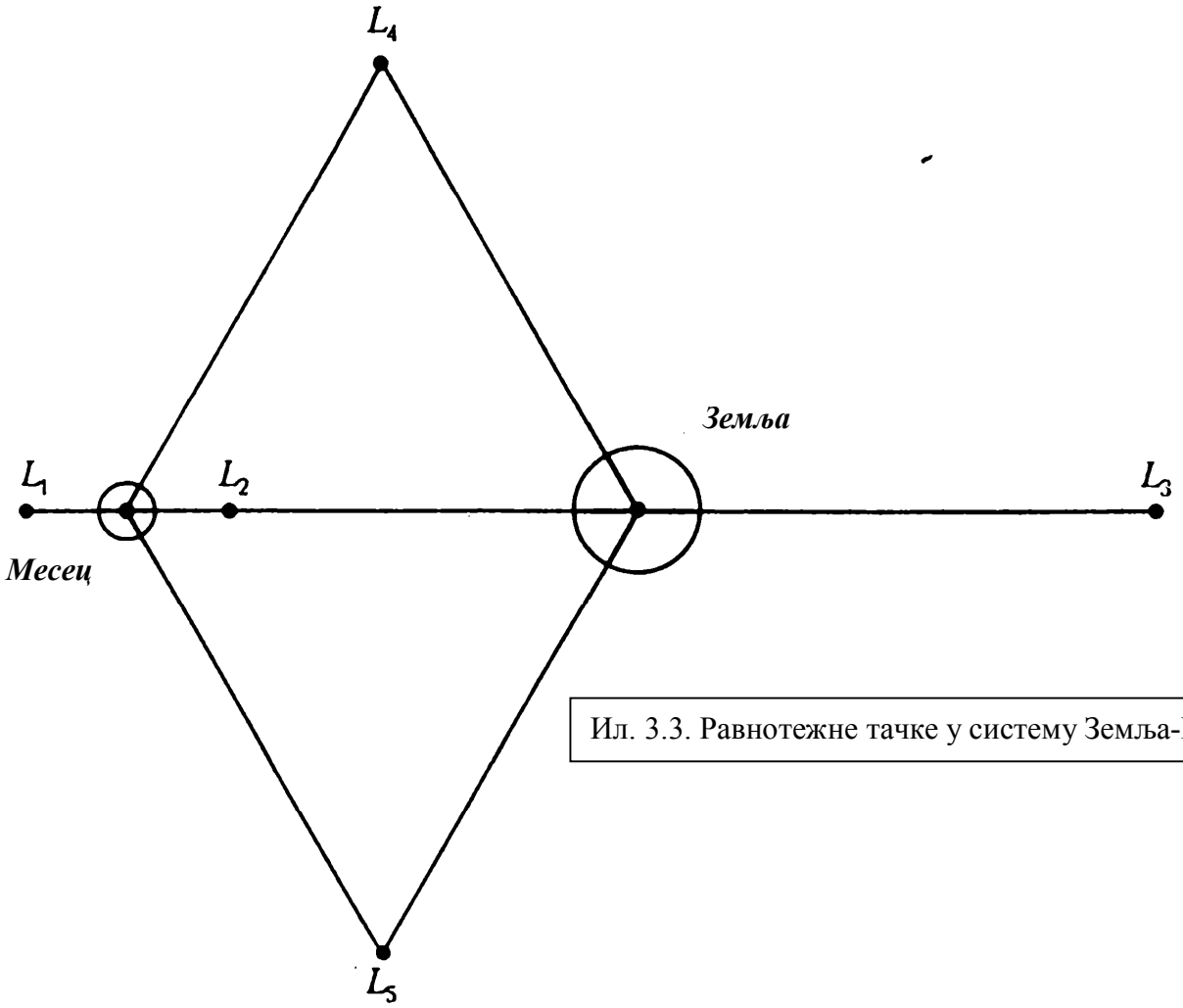
3.41. Трајање помрачења ће да се повећа онолико пута колико се смањи брзина померања Месечеве сенке у односу на посматрача. Брзина Месечеве сенке у односу на средиште Земље је блиска Месечевој брзини на путањи око Земље (1 kms^{-1}). Брзина обртања Земљине површи на географској ширини од 60^0 износи 0,5 km s^{-1} $\times \cos 60^0$ = 0,25 kms^{-1}. Дакле њихова релативна брзина је 1 - 0,25 = 0,75 kms^{-1}.

Посматрач у авиону се креће у односу на Земљину површ брзином од 900 kmh^{-1}=0,25 kms^{-1} и, као последица, његова брзина у односу на средиште Земље је 0,25 + 0,25=0,5 kms^{-1}. Дакле, Месечева сенка га сустиже брзином од 1-0,5=0,5 km s^{-1}. Одатле трајање помрачења у авиону је: 5 минута $\times$0,75/0,5=7,5 минута. Тако дуга помрачења са Земљиног тла могу да се посматрају само у областима око екватора.

3.42. Ако се узме у обзир само ноћна видљивост, растући Месец се види увече на западу - одмах после младине, на југу - када је прва четврт, на истоку - близу пуног месеца. Што је Месец старији, то касније залази; када је пун залази пред излазак Сунца.

Када месец опада, онда се види увече на истоку. Што је старији, све касније излази, али се тада види до јутра. Дакле, увече се увек види млад месец, а ујутру стар.

3.43. Једноставно решење овог задатка, као када се тражи путања геостационарног сателита, овде не иде: превелики су поремећаји које уносе Земља. Према томе, неопходно је да се одмах узме у



Ил. 3.3. Равнотежне тачке у систему Земља-Месец.

обзир да на сателит утичу два тела - Месец и Земља која се крећу око заједничког центра маса. Погодно је да се овај задатак решава у координатном систему са почетком у центру маса система Земља-Месец, а главна раван се поклапа са равни Месечеве путање и осе се обрћу са периодом једнаким месец дана.

У таквом координатном систему Земља, Месец и селеностационарни сателит ће бити непокретни. Налазимо да постоји пет тачака у којима је збир сила које делују на сателит (привлачење од стране Земље и Месеца и центрифугална сила) једнак нули. Ове посебне тачке носе назив тачке **либрације** или **Лагранжеве** тачке. Њих три (L_1, L_2, L_3) се налазе на правој која спаја Месец и Земљу (Ил. 3.3),а друге две (L_4 и L_5) у врховима једнакостраничних троуглова странице једнаке растојању од Земље до Месеца (А).

Растојања сателита од Месеца, где се као јединица користи величина А, износе:					
Тачка либрације	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
Растојање од Месеца	0,15	0,17	1,99	1,00	1,00

3.44. Пошто током дана на Земљи Месец у односу на Сунце прелази мало више од 12^0, онда у оним случајевима када тренутак младог месеца пада у подне, можемо пред излазак Сунца да видимо стар месец, а одмах после заласка Сунца млад. Истини за вољу, и у једном и у другом случају Месец ће на небу бити веома близу Сунца и због тога његово посматрање ће бити отежано. Лети је лакше остварити ова посматрања јер тренуци излаза и залаза Сунца су више размакнути, а то дозвољава да се Месец нађе од Сунца на угаоном растојању већем од 5^0.

3.45. Онолико пута, колико он сече небески екватор. За један сидерички месец ($27{,}32^d$) он то чини двапут. Дакле, у просеку 25 пута годишње Месец се види у зениту из било које тачке на Земљином екватору.

3.46. То је летње посматрање када се онај део еклиптике у чијој близини Месец пролази за време пуног месеца налази јужније од небеског екватора за $23{,}5^0$. Осим тога, чворови Месечеве путање морају бити постављени тако да за време пуног месеца Месец буде за 5^0 испод еклиптике.

3.47. Убедљив доказ за ово дао је 1630. године Галилеј у својим знаменитим „Дијалозима о два светска система": „Особита мутна светлост која се види на Месецу, нарочито када он има српаст изглед, потиче од одбијања Сунчеве светлости од површи копна и мора и она је тим јача што је срп тањи јер је тада и већи осветљени део Земље који се види са Месеца ... [пошто] је увек осветљен део Земље окренут Месецу, исти као и део Месеца затамњен од стране Земље; дакле, што је већи осветљени део Земље који се види са Месеца, тим је јаче одбијање светлости."

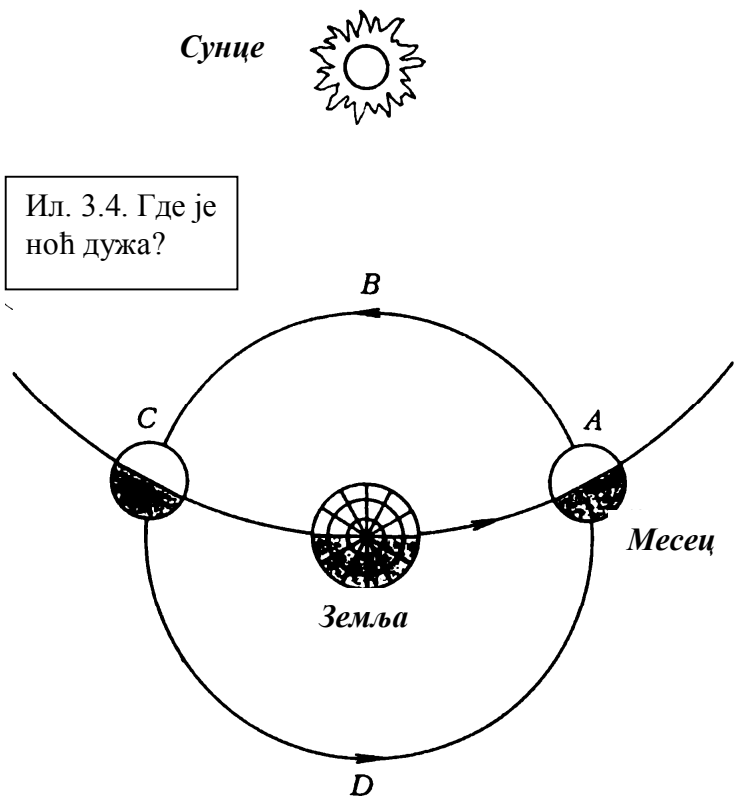
3.48. Пошто димензије Месечеве сенке на Земљи износе око 200 km, са Месеца se ова тамна пега види под углом

$$\alpha = 3438' \frac{200km}{384400km} = 1{,}8'$$

Голим оком се ова пега не може уочити, док је полусенка сувише светла да би се могла издвојити на „мрљастој" Земљиној површи. По свој прилици за посматраче на Месецу помрачење ће остати непримећено.

3.49. Због либрација Месеца правац ка средишту Земље се премешта током месеца за неколико степени. Осим тога, обртање Земље око сопствене осе доводи до померања пријемне тачке на њеном тлу скоро за 2^0 (угаони пречник Земље приликом посматрања са Месеца) у интервалу од 12 часова. Према томе, за антену са уским снопом потребан је систем за навођење.

3.50. Звезде равномерно излазе и залазе, као на Земљи, али период износи 28 дана. Земља има либрацијске осцилације, неколико дана је изнад, а онда доспева поново под хоризонт.



Ил. 3.4. Где је ноћ дужа?

3.51. Окултације звезда и Сунца (помрачења Сунца), морска плима и осека, зрачење Месеца у неоптичким областима (радио, ИЦ), радио-ехо од Месечеве површи итд.

3.52. Анализираћемо средишње тачке видљиве и друге стране Месеца. Равномерно обртање Месеца око сопствене осе, рекло би се, мора да доведе до једнаког трајања ноћи у било којој тачки његовог диска. Међутим, у игру улази кретање Месеца по орбити које доводи до паралактичког померања Сунца, синхроног са његовим дневним кретањем (Ил. 3.4). Као резултат, имамо да је ноћ на другој Месечевој страни мало дужа него на видљивој (упоредите дужину лукова ABC и CDA). Оценимо ову разлику.

Амплитуда паралактичког померања Сунца износи 3438' $\times$(384 400 km/150 милиона km) = 8,8'. За толики угао је право Сунце испод средњег у тренутку излаза на другој страни Месеца и изнад њега - у тренутку залаза. Обрнута релација важи за видљиву страну. Дакле, укупна разлика у трајању ноћи на двема Месечевим странама једнака је времену током кога у свом дневном кретању Сунце на Месечевом небу пређе лук од 4 $\times$8,8' =35' . Ово износи око 1 час и 10 минута (види **3.28**).

3.53. Жбуње обично није високо и пошто је оно, још, било и удаљено, значи да Месец само што се показао иза хоризонта. Тада се његова светлост излаже снажној селективној апсорпцији у атмосфери („црвен"), а услед рефракције лик се сажима по вертикали („широког лица").

3.54. Пошто је Месец увек окренут Земљи једном својом страном, на већем делу његове видљиве стране Земља се види стално и никада не залази (а на другој Месечевој страни не излази). Међутим, у уској области дуж границе видљиве и невидљиве Месечеве стране Земља и излази и залази због мањих либрација („љуљања") Месеца у односу на правац ка Земљи, а које су у вези са некружним обликом Месечеве путање и нагибом његове обртне осе према равни путање. Према томе, редови Јулија Кима су тачни само за посматраче који се налазе у овој уској области Месечеве лопте.

3.55. На Плутону (*У време када је збирка написана био је још увек планета - прим прев.*).

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

4. ПРИВИДНО КРЕТАЊЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА

* * * * * □ * * * * *

4.1. Уранова оса ротације лежи скоро у потпуности у његовој путањској равни: планета се обрће као да лежи на боку. У близини сваког пола било би могуће да се посматра како се Сунце, описујући спирале изнад хоризонта, током четвртине Уранове године сваки дан подиже све више и више, достижући зенит. Током следеће четвртине године Сунце се по спирали приближава хоризонту и, најзад, залази. Сада, током половине године ће бити поларна ноћ. На екватору смена обданице и ноћи се догађа сваки дан и обданица и ноћ су једнаки. Сунце се тамо креће скоро исто као и на Земљином екватору: разлика је у томе што на Земљином екватору оно у тренутку горње кулминације не може бити на већем углу од зенита него $23{,}5^0$, а на Урановом екватору оно се два пута годишње удаљава од зенита за 90^0 и тамо за извесно време зађе под хоризонт. Једном у северној тачки, а кроз пола године у јужној.

4.2. α Лава се налази на еклиптици и због тога она има годишње померање дуж праве линије по еклиптици у једну и другу страну. Налазећи се близу пола еклиптике γ Змаја описује путању сличну Земљиној око Сунца, тј. кружницу. Северњача која се налази близу небеског пола и δ Ориона која се налази на екватору описују неке елипсе.

4.3. Пошто се Месец креће недалеко од еклиптике, у близини пуног месеца зими он се налази тамо где је Сунце лети, тј. у северном делу еклиптике. Према томе, Месец зими понавља дневни пут Сунца усред лета, тј. достиже велику висину изнад хоризонта.

4.4. 22. децембра је дан зимског солстицијума. Сунце се налази у сазвежђу Стрелца. Месец (пун месец) је на супротној страни у сазвежђу Близанаца. Тамо се налази и Јупитер - у опозицији.

4.5. Пошто се види Северњача, сплав се налази северно од екватора. У таквом случају Јужни крст се може видети само близу горње кулминације. Пошто његова јужна граница има деклинацију око -65^0, он се појављује на видљивој полусфери на географским ширинама јужно од $+25^0$. Међутим, када се узме у обзир да је услов да се једно небеско тело добро види да оно буде најмање 5^0 изнад хоризонта, тражени распон географских ширина се сужава до вредности од 5^0 до 20^0 . (Не узимамо у обзир да је поларна даљина Северњаче 1^0.)

Сада ћемо одредити доба године. У тренутку поноћне кулминације Јужног крста Сунчева ректасцензије је $12{,}5^h + 12^h = 0{,}5^h$. С обзиром да Сунце 24^h пређе за годину дана, а ректасцензија се рачуна од тачке пролећне равнодневице, налазимо да Сунце има ректасцензију $\alpha = 0{,}5^h$ недељу дана после пролећне равнодневице (21. марта), тј. крајем марта. Међутим, кулминација Јужног крста се могла посматрати не само у поноћ, него у било ком тренутку ноћи, рецимо од 20 час. до 4 часа по локалном времену. Због тога морамо да проширимо интервал ректасцензије за ± 4h, а то је еквивалентно ± 2 месеца. Дакле, догађај се могао догодити од првих дана фебруара до краја маја.

У стварности (даје се референција на руском о овом догађају) сплав се налазио на 18^0 северне географске ширине почетком марта. Дакле, поморац је своја посматрања обављао у првој половини ноћи, око 22^h, што је потпуно природно.

4.6. Близу екватора Сунчева висина се током дана јако мења, али азимут остаје непромењен дуже времена. Због тога да би се у соби сачувала константна осветљеност вертикалне жалузине треба наместити само једном и даље их не дирати. На средњим ширинама Сунце се дању помера по азимуту, скоро без промене висине и због тога тамо дају предност хоризонталним жалузинама.

4.7. Може, ако се дневно обртање планете и њено обилажење око Сунца догађају у истом смеру и са приближно истим периодима. На пр. на Меркуру где трајање дана (тј. звездани дан) износи 2/3 орбитног периода (тј. године), Сунчев дан траје 2 Меркурове године, а светлосни дан 1 годину. Када би се дневни и годишњи период поклапали, смена дана и ноћи би потпуно престала.

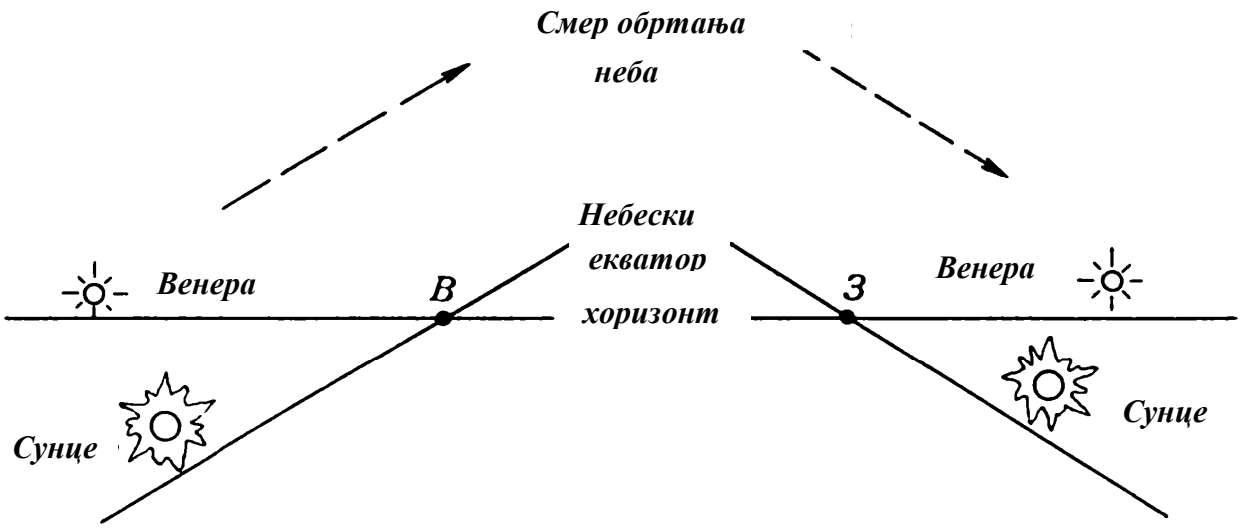
4.8. У односу на звезде Амалтеја ће се кретати са запада на исток брзином од 30^0 на час. За то време планета ће се померити за угао од 36^0 у истом смеру. На тај начин сателит ће се померити током једног часа према западној тачки за 6^0. Према томе, кретање сателита у односу на хоризонт ће бити врло споро: пун дневни обрт за 60 часова.

Пошто се равни путање сателита и екватора планете поклапају, сателит ће да изађе у источној тачки, проћи ће кроз зенит и заћи ће у западној тачки. Захваљујући поклапању равни путање сателита са еклиптиком он ће се налазити у зодијачким сазвежђима.

4.9. Ако се сматра да је трајање обданице време од излаза до залаза Сунца, оно би тада свугде на планети било непромењено и једнако 12 часова независно од тога које је доба године. Вечна обданица би била само на половима (а зашто?).

4.10. На Земљином небу дневно кретање Сунца и звезда, с једне стране, и годишње кретање Сунца,с друге, се догађа у различитим смеровима и зато је Сунчев дан нешто дужи од звезданог. Код Венере правац кретања по орбити се поклапа са Земљиним, али је правац дневног кретања супротан; због тога дневно и годишње кретање Сунца се тамо догађа у истом смеру. Дакле, Сунце залази раније од оних звезда са којима је изашло и Сунчев дан ће бити краћи од звезданог.
У случају Земље ова разлика није велика јер се година и дан веома разликују у свом трајању; дан је приближно 365 пута краћи од године и зато разлика трајања Сунчевог и звезданог дана такође износи 365. део његовог трајања, тј. 4 минута. У случају Венере година (225 дана) је блиска периодуобртања, тј. звезданом дану (243 дана). Због тога Сунчев дан (117 дана) је тамо знатно краћи од звезданог.

4.11. Раван прстенова, која се поклапа са равни Сатурновог екватора, има непромењену оријентацију у простору. Као резултат кретања планете по орбити ова раван два пута у току Сатурнове године (29,5 земаљских година) пролази кроз Сунце и групу њему блиских планета, међу којима је и Земља. Због тога се периоди невидљивости прстенова понављају приближно на 15 година.



Ил. 4.1. Венера се види ујутру и увече!

4.12. Постоји: то није ништа друго него годишње кружење Сунца по еклиптици. Истини за вољу, формуле које повезују годишњу паралаксу и растојање за далеке звезде нису примењиве на Сунце јер за њега не важи упрошћен прилаз са малим угловима.

4.13. Да се Венера види два пута дневно могуће је на средњим географским ширинама у случају када се близу тренутка доње кулминације између Венере и Сунца деклинација планете знатно разликује од деклинације Сунца. На пр. у пролеће 1977. године деклинација Венере је била за 16^0 већа од Сунчеве. Због тога је на умереним северним ширинама планета излазила нешто раније, а залазила мало касније него Сунце и била видљива близу хоризонта како ујутру, тако и увече (Ил. 4.1). Оваква двострука видљивост Венере траје врло кратко: при чистом хоризонту она обично није дужа од једног часа.

4.14. У односу на Меркур Земља је спољашња планета и због тога периодично доспева у конјункцију, опозицију и квадратуре. Период са којим се ове Земљине конфигурације смењују једнак је синодичком периоду обиласка Меркура посматраном са Земље, тј. у просеку 116 дана. У односу на Марс Земља је унутрашња планета и, према томе, периодично доспева у горњу и доњу конјункцију са Сунцем и у највеће елонгације. Период са којим се понављају ове конфигурације једнак је синодичком периоду обиласка Марса и у просеку износи 780 дана. Ако су a_z и a_{Ma} велике полуосе путања Земље и Марса, средња вредност највеће елонгације Земље за Марс ће износити

$$A = \arcsin\left(\frac{a_z}{a_{Ma}}\right) = \arcsin\left(\frac{1AJ}{1{,}524AJ}\right) = 41^0$$

Велика полуоса Меркурове путање је a_{Mer} = 0,387 AJ, а ексцентричност e_{Mer} = 0,206. Дакле, растојање ове планете у афелу је

$$Q_{Me} = a_{Mer}(1+e_{Mer}) = 0{,}467 \text{ AJ} = 70 \text{ милиона km},$$

а њено најмање растојање од Земље r_{min}=1 AJ - Q= 80 милиона km. Пошто је велика полуоса Месечеве орбите a_{Mes}=384 400 km, ексцентричност e_{Mes} =0,055, растојање Месеца у апогеју ће износити

$$Q_{Mes} = a_{Mes}(1+e_{Mes}) = 405\ 500 \text{ km}.$$

Са Меркура ово растојање се види под углом (у радијанима) $\alpha = Q_{Mes}/r_{min}$ = 0,0051, тј. у степенима α = 206 265" $\times$0,0051=1045"=17'. Ово је приближно једнако полупречнику Месечевог диска гледаног са Земље.

С обзиром да је ексцентричност Марсове путање e_{Mar} = 0,0934, лако се налази растојање планете у перихелу:

$$q_{Mar} = a_{Mar}(1-e_{Mar}) = 1{,}382 \text{ AJ},$$

док је њено најмање растојање од Земље (за време велике опозиције)

$$r_{min} = q_{Mar} - a_z = 0{,}382 \text{ AJ} = 57 \text{ милиона km}.$$

На таквом растојању највеће угаоно растојање између Месеца и Земље износи

$$\alpha = Q_{Mes}/r_{min} = 0{,}0071 \text{ rad} = 24'.$$

4.15. Трајањем обданице сматра се временски размак између тренутака појављивања на и нестајања иза хоризонта горњег краја Сунца. Узимајући у обзир угаони полупречник Сунца (16') и атмосферску рефракцију на хоризонту (35') видимо да се средиште Сунчевог диска налази 51' испод хоризонта онда када се горњи крај Сунца види на самом хоризонту. На географској ширини Москве ($\varphi = 56^0$) небески екватор сече хоризонт под углом од 34^0. Дакле, да би се спустило за 51' дуж вертикала Сунце, заједно са небеском сфером, треба да пређе пут од 51'/sin 34^0 = 91'. За то је потребно $24^h \times 91'/360^0 = 6^{min}$. Према томе, трајање обданице ће се повећати за 12 минута.
Шта да се ради са још 2 минута? Једним делом то су грешке у заокруживању, а другим је то стваран астрономски ефект. Ствар је у томе што је прави тренутак равнодневице 1990. године наступио приближно у поноћ по московском времену између 20. и 21. марта. Дакле, у тренутку залаза 21. марта Сунце је већ прешло по еклиптици око 45' и подигло се за 45' $\times$sin $23{,}5^0$ =18' изнад екватора. Небеској сфери је потребно да се обрне за 18' $\times$tg 34^0=27' па да право Сунчево средиште, а не његова пројекција на небески екватор, пресече хоризонт. За ово је неопходно време од $24^h \times 27'/360^0$ = 1,8 минута.

4.16. Анализа показује да је практично немогуће да се без телескопа и часовника примети да је Месец сателит неке друге планете масивније од њега. Ево неких ефеката који дозвољавају да се то уради:

а) као последица Месечевог кретања по орбити периодично се мења привидни пречник Сунца - током две недеље он се промени за 9" (тј. за 0,5%). Осветљеност Месечеве површи се тада промени за 1% што је немогуће да се примети од ока.

б) на растојању од 1 AJ (типично растојање до Венере и Марса) угаони полупречник Месечеве путање износи око 9'. Толика ће бити дневна паралакса на Месецу (уствари месечна) у случају ових планета за посматрача на Месецу. Она ће се манифестовати у привидном кретању планета по петљама које је познато и астрономима на Земљи. Полупречник месечних петљи за астрономе на Месецу износиће око 9' што се може приметити само помоћу телескопских мерења положаја планета. Међутим, посматрач са Месеца неће моћи да прати петљу у потпуности јер је оса Месечеве ротације скоро нормална на еклиптику; свака планета се тамо види само пола дана.

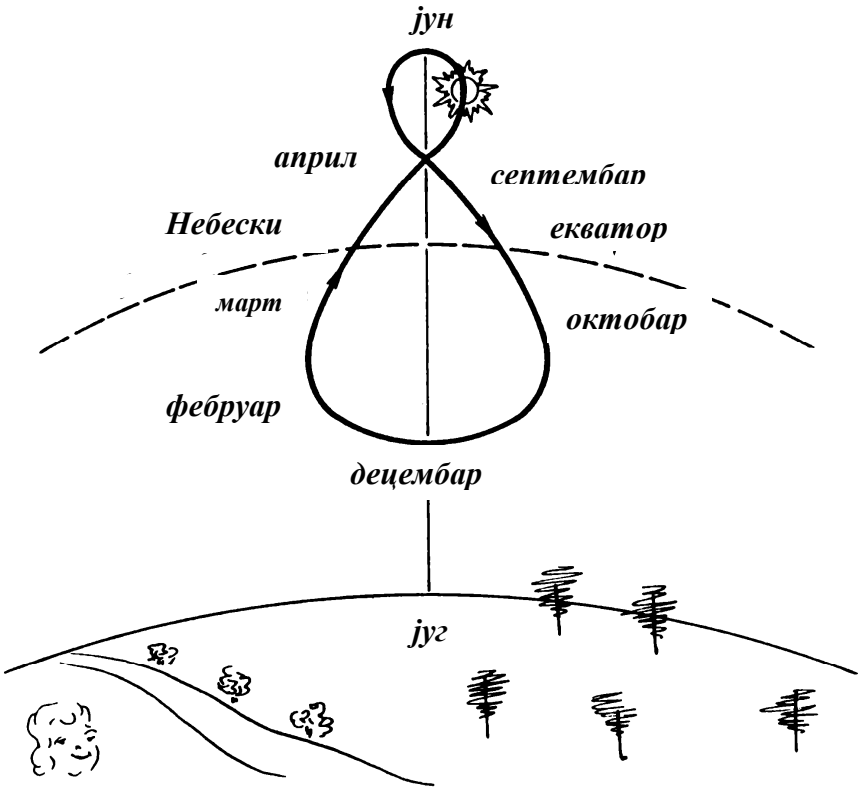
в) промена угаоне брзине померања планете повезана са паралактичким кретањем може да се оцени из поређења брзина кретања по орбити за Месец и планете: за Марс и Венеру, који имају знатну паралаксу, ово ће бити реда величине $(1\ \mathrm{kms}^{-1})/(30\ \mathrm{kms}^{-1}) = 3\%$.

г) ако се има сеизмограф, може да се примети да се „месецотреси" појачавају са месечном периодичношћу. Ово посредно сведочи о периодичном приближавању неком масивном телу.

д) поремећаји у кретању астероида који пролазе поред Месеца су 82 пута јача него што би то било када се Земља не би налазила непосредно близу Месеца.

Као што видимо, сви ефекти су слаби и захтевају детаљна посматрања. Вероватно би нека цивилизација на другој страни Месеца знатно раније приметила Земљу непосредно за време селенографских експедиција на видљиву страну Месеца.

4.17. Та путања личи на осмицу истегнуту дуж небеског меридијана и смештену између подневних висина Сунца за дане летњег и зимског солстицијума. Према томе, ова „осмица" се својом дужом страном протеже 47^0, док се њена ширина лако одређује из амплитуде временског изједначења: право Сунчево време се највише разликује од средњег ± 15 минута и баш за толики часовни угао ће се Сунце удаљити од меридијана у тренуцима амплитуде временског изједначења. Другим речима„„осмица" коју Сунце описује није ништа друго него један облик представљања временског изједначења (Ил. 4.2).



Ил. 4.2. Положаји Сунчевог средњег поднева. Задатак 4.17.

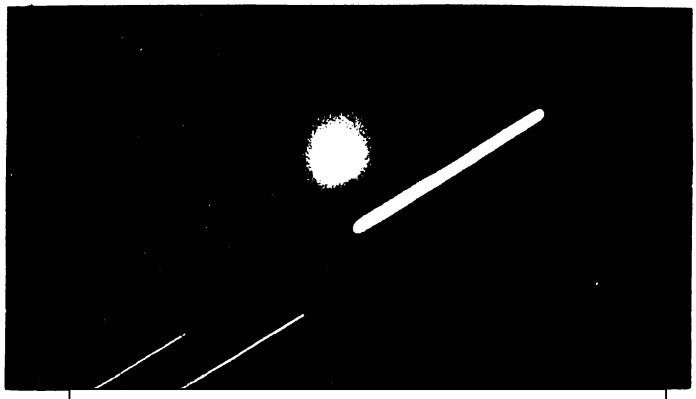
4.18. Великим се називају оне опозиције Марса када се он налази у перихелу своје путање која има довољно велику ексцентричност (0,093). Земљину путању можемо сматрати, практично, кружницом. Пошто се оријентација путања у простору мења изузетно споро, велике опозиције се догађају приближно за један исти положај на путањи како за Земљу тако и за Марс. С друге стране, годишња доба на планети су скоро у потпуности везана за њен положај на путањи (скоро, зато што прецесија Земљине осе постепено мења ову везу). Ето зашто се велике

опозиције Марса током више миленијума догађају у исто доба године. А које?

Еклиптичка лонгитуда перихела Марсове путање износи 336^0. Пошто се она мери од тачке пролећне равнодневице са запада на исток, Марс, пошто прође перихел, не достиже за 24^0 тачку пролећне равнодневице, тј. Сунце у тренутку велике опозиције не достиже за 24^0 тачку јесење равнодневице. Очигледно, да се ово догађа око 1. септембра.

Међутим, пошто периоди обиласка Земље и Марса нису самерљиви, опозиције сваки пут падају у различите датуме. Марсов сидерички период износи T_{sid} = 687 дана, а средњи синодички период T_{sin}=780 дана („средњи" зато што се Марс креће неравномерно по својој елиптичној путањи). Према томе, на сваке две Земљине године догађа се опозиција, али она наступа после претходне за 780 - 365 $\times$2 = 50 дана. Великим се називају оне опозиције које се догађају августа-септембра. Због тога средњи интервал између две узастопне велике опозиције једнак је 780/50 ≈ 16 година. У стварности он осцилује од 15 до 17 година.

Минимално растојање између Земље и Марса за време перихелских (великих) опозиција износи 56 милиона километара, а за време афелских 100 милиона километара.



Ил. 4.3. Померање комете међу звездама

4.19. На основу спољашњег изгледа практично их је немогуће разликовати. Једино померање комете међу звездама доказује да је то објект из Сунчевог система (Ил. 4.3; вид. такође слику уз задатак **8.54.**).

4.20. Ако се сматра, да се сам Марс креће у равни еклиптике, тада за 90^0 - 65^0 = 25^0.

4.21. У пролеће је Сунце близу тачке пролећне равнодневице, дакле, одмах после заласка на северној полулопти еклиптика се налази на небу знатно изнад небеског екватора и под великим углом сече хоризонт. Према томе, Месец у једнаким фазама (тј. на једнаком угаоном растојању по еклиптици од Сунца) се у пролеће после заласка Сунца види више изнад хоризонта него у јесен и лакше може да се примети. Нарочито јако се овај ефект манифестује на великим северним ширинама где небески екватор пролази близу хоризонта. На јужној полулопти аналогна појава се види пола године касније.

4.22. 22. децембра Сунце се налази у тачки зимског солстицијума. Пошто је Марс у опозицији, он ће се тада налазити близу тачке летњег солстицијума (у сазвежђу Близанаца). Горња кулминација ове тачке 22. децембра се догађа у праву Сунчеву поноћ. Деклинација ове тачке је $\delta = +23{,}5^0$. Према томе, Марс ће да кулминује на висини од $90^0 - \varphi = 57{,}5^0$.

4.23. Овај задатак је аналоган претходном. Јупитер се налази у сазвежђу Стрелца и кулминује у поноћ на висини од око $10{,}5^0$.

4.24. По формули која повезује синодички са сидеричким периодом обиласка

$$\frac{1}{T_{\sin}} = \frac{1}{1god} - \frac{1}{T_{sid}}$$

налазимо да је $T_{sid} \approx 8$ година. Применом трећег Кеплеровог закона: $T^2_{sid} = a^3$, где је период T_{sid} изражен у годинама, а велика полуоса путање а у астрономским јединицама, налазимо да је а ≈ 4 АЈ. Очевидно је ово мала планета - астероид.

4.25. У пролеће Сунце се налази близу тачке пролећне равнодневице, дакле Месец има највећу деклинацију у првој четврти када он пролази близу тачке летњег солстицијума.

4.26. Ако се ради о северном небеском полу, звезда неће залазити тамо где је висина пола (једнака географској ширини места) већа од 45^0. То важи за Санкт-Петербург и Архангелск. Ако се ради о јужном небеском полу, звезда се неће видети у Санкт-Петербургу и Архангелску, али може да се појави близу хоризонта у Јалти и Ташкенту.

4.27. Циркумполарне звезде имају деклинацију $\delta \geq 90^0 - \varphi$, а услов за горњу кулминацију је $\delta = \varphi$. Комбинујући ова два израза добијамо решење задатка: $\varphi \geq 45^0$.

4.28. Ако се обртање око сопствене осе планете и њено обилажење по орбити догађају са истим периодом и у истом смеру.

4.29. Сунце се најбрже премешта дуж еклиптике у првим данима јануара када Земља пролази кроз перихел своје путање. У том периоду Сунце се налази у сазвежђу Стрелца и одговарајући зодијачки знак је Јарац (као што је познато, за две хиљаде година које су прошле од тренутка канонизације астрологије у Птолемејевим радовима, као резултат прецесије дошло је до акумулације у разилажењу између положаја сазвежђа и тачке пролећне равнодневице за коју се везују зодијачки знаци). Дакле, Сунце најбрже пролази кроз знак Јарца (за два дана брже него кроз летњи знак Рака).

4.30. Јасно је да у овом задатку није потребно да се узме у обзир атмосферска рефракција: она може да промени тренутак, али не и трајање излаза или залаза. На екватору Сунце сече хоризонт скоро под правим углом. Пречник Сунца износи $0{,}5^0$, угаона брзина његовог дневног кретања је $360^0/24h = 15^0$ на час, дакле излаз траје (0,5/15) часова, тј. два минута.

На половима дневно обртање Земље не помера Сунце у односу на хоризонт, због чега треба разматрати кретање Сунца по еклиптици. Сунце сече хоризонт (као и небески екватор) под углом од $23{,}5^0$ угаоном брзином од 360^0/ годишње. Дакле, његова вертикална брзина износи

$$360^0 \sin 23{,}5^0 / \text{ годишње} = 0{,}4^0 / \text{ дневно.}$$

Према томе, излаз или залаз Сунца на половима траје мало више од 24 часа.

4.31. На већем делу видљиве стране Месеца Земља нити излази нити залази - она се стално види. Међутим, у близини границе видљиве и друге стране Месеца може да се види како Земља пресеца хоризонт. Ствар је у томе да код Месеца имамо мање осцилације у односу на правац ка средишту Земље - либрације. Либрације по лонгитуди ($\pm 7^0 54'$) настају зато што се око своје осе Месец обрће константном брзином, док му је брзина на путањи око Земље променљива. Либрације по латитуди ($\pm 6^0 50'$) се догађају услед нагиба Месечевог екватора према равни његове геоцентричне путање. Пошто је пречник Земљиног диска на Месечевом небу око 2^0, у једном уском појасу на Месечевој површи, дуж границе његових хемисфера, ће се сваког месеца видети излази и залази Земље.

Њихово трајање у области Месечевог екватора се може оценити из амплитуде лонгитудних либрација (латитудне у овом случају нису битне). Пут који пређе Земља на Месечевом небу за један месец износи око $4 \times 7^0 54' = 31{,}6^0$, а, у складу с тим, одговарајућа угаона брзина је око 1^0 дневно. Према томе, Земљином диску да пресече Месечев хоризонт треба око 2 дана.

4.32. Тога дана Сунце излази у источној тачки, подиже се дуж велике вертикалне кружнице и положај средњег Сунца се поклапа са положајем правог Сунца. Дакле, у тренутку помрачења висина Сунца је 45^0.

4.33. Судећи по опису Сунце само што је зашло за хоризонт, дакле мора да је било пун Месец тек што се појавио над хоризонтом и никако се није могао видети „на висини".
Овај задатак се може решити и формалније. У мају Сунце је по деклинацији прошло више од половине растојања између тачака пролећне равнодневице (23. марта $\delta = 0^0$) и летњег солстицијума ($\delta = 23{,}5^0$). Заиста, у Астрономском календару се може видети да је после 1. маја деклинација Сунца $\delta_{sun} > 15^0$. Дакле, Месечева деклинација за време пуног месеца са узимањем у обзир нагиба његове путање према еклиптици ће бити $\delta_{mes} \leq -15^0 \pm 5^0 \leq 10$. Узимајући у обзир

географску ширину Москве ($\varphi \approx 56^0$), израчунаћемо максималну хоризонтску висину небеског екватора: $h_{екв} = 90^0 - 56^0 = 34^0$. Према томе, Месец у периоду мајског пуног месеца уопште не доспева на хоризонтску висину већу од

$$h_{мес} = h_{екв} + \delta_{mes} \leq 34^0 - 10^0 = 24^0.$$

Тим више, одмах после заласка Сунца, док још није потамнело, тј. за време грађанског сумрака ($0^0 \geq h_{sun} \geq -6^0$) висина пуног Месеца је $h_{mes} \leq 6^0$. И, чак, када се Месец не би посматрао тачно у фази пуног месеца, него 2-3 дана пре ње, његова висина у тренутку заласка Сунца не би била већа од $24^0 \times (3/7) \approx 10^0$, а до завршетка грађанског сумрака $h_{mes} \leq 16^0$. На тај начин око пуног месеца за време пролећних вечери у Москви Месец не достиже велику висину изнад хоризонта.

4.34. То је залаз младог Месеца на средњим географским ширинама северне полулопте или излаз старог Месеца на средњим ширинама јужне полулопте.

4.35. По познатој формули налазимо да сидерички период износи $T_{sid} = \dfrac{T_{\sin} \cdot 1god}{T_{\sin} - 1god} = 5god$

Велика полуоса путање се одређује из трећег Кеплеровог закона

$$a = T^{2/3} = 2{,}92 \text{ AJ}.$$

Према томе, растојање перихела може да износи од 0 до 2,92 АЈ, а растојање у афелу од 2,92 до 5,84 АЈ при услову да њихов збир износи 5,84 АЈ. Према таблици путањских елемената планета лако се закључује да наше небеско тело може да се креће између путања: Меркура и Јупитера, Меркура и Сатурна, Венере и Јупитера, Земље и Јупитера, Марса и Јупитера.

4.36. Дневно кретање Сунца са истока на запад догађа се због Земљине ротације практично истом брзином. Кретање Сунца у супротном смеру је повезано са обилажењем Земље око њега и његова угаона брзина се мења током године: она је најмања крајем јуна када је Земља у афелу и највећа крајем децембра када је Земља у перихелу. Следи да је трајање правог Сунчевог дана такође највеће крајем децембра, а најмање у јуну.

4.37. Сунце излази на дан јесење равнодневице и креће се скоро паралелно са хоризонтом тако што за 24 часа начини један обрт и постепено повећава своју висину услед годишњег кретања по еклиптици. Ово траје до зимског солстицијума. Потом висина почиње да се смањује и на дан пролећне равнодневице Сунце залази.

Приликом решавања овог задатка неки прихватају да се на јужном полу током дана Сунце креће од западног дела хоризонта ка источном. Овде одмах имамо две грешке: прво, када се посматра са јужног пола, као и са северног, појмови „западни" и „источни" део хоризонта су бесмислени; друго, без обзира где сте - на северној или јужној полулопти - ако станете лицем ка северу, исток ће бити увек десно, а запад лево од вас и небеска тела ће увек да излазе на истоку и залазе на западу. На половима је могуће да се укаже само смер дневног кретања небеских тела за посматрача који гледа, на пр., у зенит: у смеру казаљке на часовнику на јужном полу, тј. у супротном смеру на северном.

4.38. Сматрајући да је одбијени зрак ишао хоризонтално и да је упадни угао на површ одбијања једнак одбојном углу, добијамо висину Сунца: $30^0 + 30^0 = 60^0$. Очигледно, Сунце је било на југу, тј. близу горње кулминације. Тога дана његова висина изнад екватора била је 23.5^0, па је висина екватора изнад хоризонта $60^0 - 23{,}5^0 = 36{,}5^0$. Одавде је географска ширина места $\varphi = 90^0 - 36{,}5^0 = 53{,}5^0$.

4.39. Довољно је само да се тачне цифре упишу у таблицу:

Слова питања	а	б	в	г	д	ђ
Цифре одговора	3	5	4	1,2,3	5	1

4.40. 12h.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

5. ВРЕМЕ И КАЛЕНДАР

* * * * * ◻ * * * * *

5.1. Земља се креће различитом брзином на својој путањи у близини перихела и афела. Због тога од пролећне равнодневице (21. марта), коју ћемо сматрати за почетак обданице на северном полу, до јесење равнодневице (23. септембра), коју узимамо за крај северне поларне обданице, протекне 186 дана, а од 23. септембра до 21. марта (обданица на јужном полу) 179 дана.

5.2. Ово тврђење је, строго говорећи, нетачно. Прво, рефракција доводи до тога да Сунце излази нешто раније и залази касније него што би то било у одсуству атмосфере. Трајање обданице се због тога повећава, а тренутак једнакости обданице и ноћи помера. Друго, у једном истом физичком тренутку на различитим тачкама Земљине лопте, у вези са месним временом, имамо различите датуме. Најзад, наступање равнодневице (тј. тренутка када средиште Сунчевог диска прође кроз тачку пресека екватора и еклиптике) се не догађа истог дана због тога што је календарска година само у просеку једнака тропској и стварна дужина године се не изражава целим бројем дана.

5.3. За такву проверу треба знати временско изједначење за дати дан, географску дужину тачке посматрања и редни број зоне у којој се та тачка налази. Разуме се, том приликом треба узети у обзир да је у неким земљама зонско време промењено на основу посебног закона - указа. Тако, низ година у СССР се зонском времену додавао указни час. Формула за прелаз од правог Сунчевог времена на указно гласи: $T_D = T_C + \eta + n$. Овде је T_D тражено указно (декретно) време, T_S Сунчево време, η временско изједначење (алгебарски збир где се узима у обзир знак разлике „средње време минус право"), а n је поправка за прелаз од месног на указно време која се одређује на основу разлике географских дужина средишњег меридијана у зони и тачке посматрања и такође уз узимање у обзир свих административних „померања" времена (+1h указно, +1h летње). *(примедба преводиоца: у датој формули треба водити рачуна о поправци ± 12h јер се временско изједначење дефинише као разлика часовних углова средњег и правог Сунца).*

5.4. У Москви 20. марта у 18 часова Сунце још увек није зашло, звезде се не виде и ову појаву је немогуће посматрати. У Комсомолску-на-Амуру Влашићи су већ испод хоризонта и према томе посматрање њихове окултације тамо такође није могуће. Окултација се може посматрати само у Јекатеринбургу. 20. марта је дан пролећне равнодневице. Сунце се налази западно од Влашића само три часа по ректасцензији. Месец има изглед уског српа и окултација звезда долази од његовог тамног краја.

5.5. Пре свега у тачки на екватору која има исту географску дужину као Гринич (0^0). Даље, у свим осталим тачкама које се налазе на јутарњој половини терминатора, а то је велика кружница која пролази кроз ту тачку и тачку Земљине површи чија је географска ширина + $66{,}5^0$ и западна географска дужина 90^0 (и, разуме се, дијаметрално супротна тачка са географским координатама - $66{,}5^0$, 90^0 на исток).

5.6. Алгол мора да се налази у горњој кулминацији у тренутку одређеном његовом ректасцензијом - у 3^h05^m по звезданом времену, тј. 3^h05^m после горње кулминације тачке пролећне равнодневице. На дан пролећне равнодневице истоимена тачка има горњу кулминацију тачно у месно подне. После тога горња кулминација се догађа све раније - за 3^m56^s дневно; 11. априла, 21 дан после пролећне равнодневице, горња кулминација истоимене тачке ће се догодити 83^m пре поднева и следи да ће Алгол кулминовати 1^h42^m после правог поднева. Занемарујући временско изједначење

(оно је средином априла једнако нули) и с обзиром на заокружену разлику између указног и месног времена (за Москву 30^m зими и 1^h30^m лети) налазимо да се горња кулминација Алгола 11. априла догађа у 15^h12^m по московском времену, а доња, према томе, између три и четири часа после поноћи.

5.7. Узимајући у обзир указно време московско време се разликује од светског за $\Delta T_W = 3h$ зими и $\Delta T = 4h$ лети. Према томе, у тренутку по московском времену $T_M = 10h$ у Гриничу ће бити $T_U=7h$ зими или $T_U = 6h$ лети. Услед тога подне се дешава на источној географској дужини $\lambda = 15^0 (12^h - T_U) = 75^0$ зими или $= 90^0$ лети.

5.8. Формално користећи трећи Кеплеров закон наћи ћемо:

$$P = 2\pi\left(\frac{R^3}{GM}\right)^{1/2} \propto R^{3/2}$$

Ако се полупречник путање (R) учетвороструки, њен период (P) ће се повећати $4^{3/2} = 8$ пута. У једној години ће тада бити 1,5 месеци. Међутим, када порасте полупречник Месечеве путање, порашће и утицај Сунчевог привлачења на њега: разлика гравитационих убрзања Месеца и Земље у односу на Сунце може да постане већа од убрзања Месеца у односу на Земљу и наша планета ће изгубити свој сателит. Ово је познати плимски ефекат, а критично растојање од планете изван кога њени сателити одлазе под дејством Сунчевог привлачења носи назив полупречник плимске стабилности (r_t). Оценимо његов износ. Убрзање тела ка средишту Земље на путањи полупречника r_t износи

$a = \frac{GM_\oplus}{r_t^2}$ док је разлика убрзања двају тела ка средишту Сунца (Δa) удаљених од њега R_1 и R_2, респективно, једнака

$$\Delta a = GM_{sun}\left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2}\right)$$

Пошто се претпоставља да је $\Delta R = (R_1 - R_2)$ □ $R_{sr} = (R_1 + R_2)/2$, у формули за Δa уместо R_1 и R_2 можемо да напишемо R_{sr} па ће бити

$\Delta a = \frac{2GMsun\Delta R}{R_{sr}^3}$ По дефиницији за $\Delta R = r_t$ мора бити $\Delta a = a$ и следи

$\frac{GM_\oplus}{r_t^2} = \frac{2GM_{sun}r_t}{R_{sr}^3}$ одакле се добија оцена за полупречник плимске стабилности:

$$r_t = R_{sr}\left(\frac{M_\oplus}{2M_{sun}}\right)^{1/3}$$

Заменом вредности за масе Земље и Сунца и прихватањем да је $R_{sr} = 1$ AJ добићемо r_t=0,0115 AJ, док је полупречник Месечеве путање r_{Mes} = 384 400 km=0,00257 AJ. Према томе, $4r_{Mes}$ = 0,0103 AJ ≈ r_t. Практично ово значи да ће Месечево кретање бити нестабилно и на таквој путањи он неће моћи да буде дуго.

5.9. Свака кулминација непокретних небеских тела се дешава за 3^m56^s раније него претходног дана (разлика између Сунчевог и звезданог дана). Због тога за осам дана добија се разлика од $3^m56^s \times 8 = 31^m28^s$. Дакле, кулминација ће се догодити у $19^h28^m32^s$.

5.10. Експедиција Фернанда Магелана 1519-1522 г. крећући се ка западу била је прва која је обишла Земљу. Када су се учесници експедиције вратили у отаџбину, открили су да се њихов рачун броја дана и датума разликује од истог за становнике који су остали код куће за тачно један дан: морнари су ,,изгубили" тај дан.

Ствар је у томе што су путници, крећући се на запад, стално живели по месном Сунчевом времену које је заостајало од времена у тренутку поласка експедиције. Враћајући постепено казаљке својих часовника до краја путовања око света морнари нису урачунали један дан. Да су се

кретали на исток, било би им потребно да померају часовнике унапред и један дан би био сувишан. Тада није било зонског времена, али његово увођење после 1884. године није принципијелно променило ситуацију: разлика је само у томе што данас када путујемо на велика растојања по географској дужини треба да померамо часовнике напред или назад за цео број часова не мењајући износ минута и секунди.

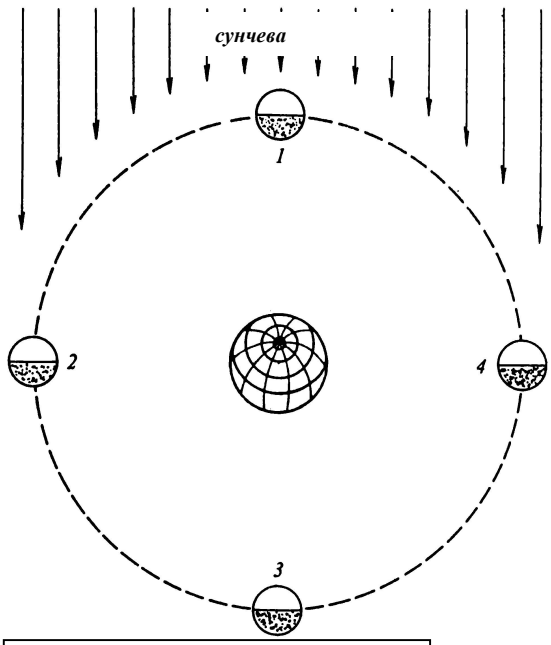
Да би се избегле грешке у рачунању дана на Земљи установљена је датумска граница. Према међународном договору она пролази кроз слабо настањене области Северног леденог и Тихог океана близу меридијана од 180^0 одступајући од њега на запад код Врангелових и Алеутских острва и на исток код Чукотског полуострва, острва Фиџи, Самоа, Тонгатабу, Кермалек и Чатам.

Западно од датумске границе датум је увек за један већи него источно од ње. Према томе, када се ова линија прелази са запада на исток, треба поновити датум, а када се она прелази са истока на запад, треба, насупрот, прескочити први наредни датум. Ово треба да уради сваки путник који жели да се његов лични календар поклопи са календаром оног краја где се он тренутно налази. Није битно да ли он прелази растојања полако, морем или брзо - кроз ваздух. А космонаут?

Код њега је све много једноставније. Он тако брзо прелази часовне зоне да за њега нема смисла да живи по месном Сунчевом времену и да на сваких неколико минута дотерује казаљке часовника. Због тога космонаути живе према времену места поласка (космонаути из Руске Федерације према зимском московском времену). Дакле, космонаут ће стићи на Земљу 10. марта *(маја, у зависности од тога где је грешка у оригиналу - прим. прев.*) у 11 часова и 30 минута.

5.11. Део небеске сфере забрањен за посматрање је мали круг полупречника 60^0 чије се средиште поклапа са тренутним положајем Сунца. Максимално трајање невидљивости извора ће бити када онпрође кроз овај круг дуж његовог пречника са угаоном брзином коју има Сунце при кретању по еклиптици. Оно износи $365^d \times 120^0/360^0 \approx 122^d$ или око четири месеца. Баш толико износи минимално трајање експедиције.

5.12. Године 1983. московско време (указно зимско) је било 3 часа испред гриничког (светског) и услед тога астрономско пролеће у Москви је почело у $4^h39^m + 3^h = 7^h39^m$. У том тренутку Сунце је пролазило кроз тачку пролећне равнодневице и звездано време је било12^h00^m. Подне је у Москви наступило кроз $12^h - 7^h39^m = 4^h21^m$. Овом интервалу средњег Сунчевог времена одговара $4^h21^m + 10^s \times 4{,}4 \approx 4^h22^m$ звезданог времена. Дакле, када је у Москви подне, биће $12^h + 4^h22^m = 16^h22^m$ по звезданом времену.



Ил. 5.1. Где дуже траје обданица?

5.13. Пошто један Сунчев дан траје дуже од звезданог за 3^m57^s по звезданом времену, часовник ће да покаже $8^h56^m03^s + 3^m57^s = 9^h00^m00^s$.

5.14. По свему судећи аутор ове реченице уопште није био на северном полу: средином поларне ноћи Сунце се тамо налази дубоко испод хоризонта, а „уски Месечев српић"је увек близу Сунца и, према томе, такође се не може видети.

5.15. Смена обданице и ноћи на обе Месечеве стране се догађа у тачкама 2 и 4 на његовој путањи (Ил. 5.1) где је иста удаљеност од Сунца. Дакле, и угаоне димензије Сунца у овим тачкама ће бити једнаке. Као последица, и излаз горњег краја Сунца на Месечевом хоризонту ће се у ове две тачке догађати за исто време раније него излаз средишта. Тада ће бити исто и трајање обданице. Међутим, најинтересантније је да ће оно бити тачно толико на источној и западној хемисфери (тачке 1 и 3) јер се раније излажење надокнађује каснијим залажењем (и обрнуто).

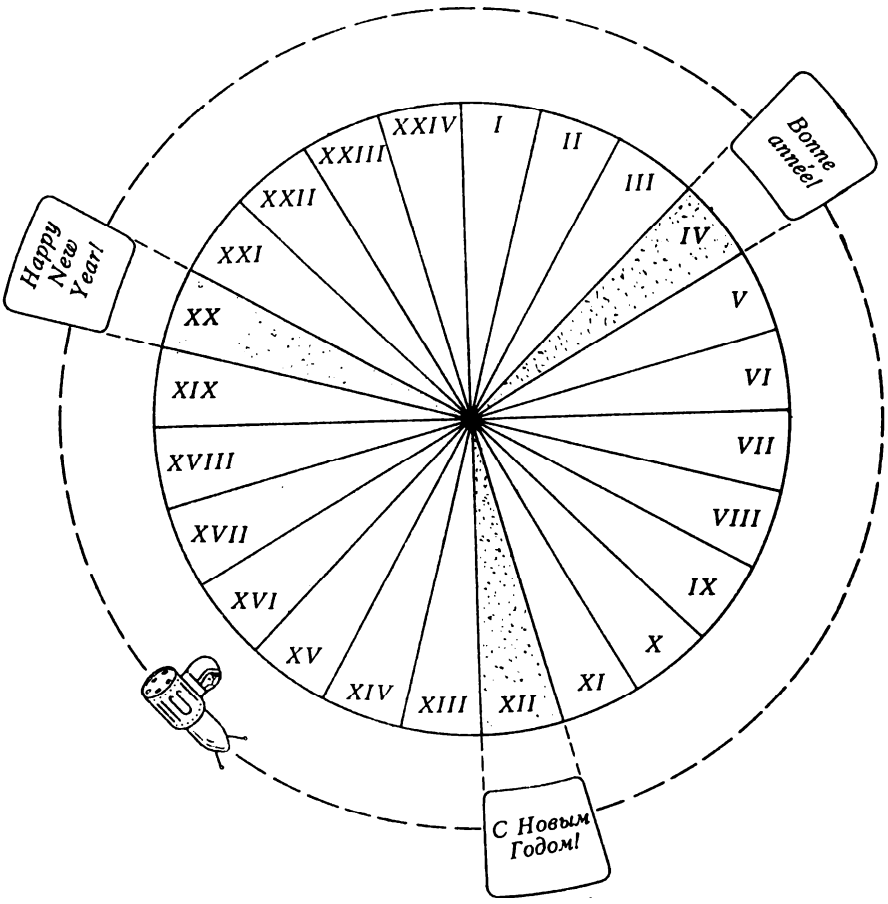
5.16. Пошто се Сунце тога дана налази практично на небеском екватору, оно ће зећи у 18^h, а Месец нешто касније јер за 9^h колико је прошло од тренутка помрачења, он се померио на исток за $13^0 \times 9^h/24^h \approx 5^0$. За толики угао небеској сфери у њеном обртању треба $24^h \times 5^0/360 = 20^m$. Према томе, Месец ће зећи у 18^h20^m по месном правом Сунчевом времену. (Обратите пажњу да временско изједначење за тај датум није једнако нули.)

5.17. Ово је еквивалентно томе да годишње обилажење Сунца буде у супротном смеру. Сада годишње кретање Сунца смањује број Сунчевих дана у години у поређењу са звезданим (има их 366, 24 у једној години). Дакле, када би се Земља обртала у супротном смеру, број Сунчевих дана у години био би за један већи од броја звезданих и износио би 367,24.

5.18. Сматраћемо да сви Земљани живе према зонском времену, а границе часовних зона свугде иду дуж меридијана на сваких 15^0. У тренутку $T_o=12^h$ UT 31. децембра, тј. када први пут на Земљи стигне нова година (у 12. часовној зони), станица може да буде изнад било које од часовних зона (Ил. 5.2). Ако се она нађе баш изнад 12. зоне, космонаути ће моћи да обележе овај догађај заједно са становницима области које пролећу испод њих. Кроз 3^h, пошто обиђе Земљу два пута, станица ће се поново наћи изнад поноћног дела планете и тада ће бити изнад 9. зоне. Касније, када прође још 3^h, они ће дочекати нову годину заједно са становницима 6. зоне итд. За 24 часа ово ће се десити осам пута.

Друга срећна могућност за космонауте је да се нађу у тренутку T_o изнад 20. часовне зоне. Тада ће они час касније да надлете 11. зону где у датом тренутку стиже нова година. После овога на сваких 3^h ће се ситуација понављати и укупно ће бити осам пута. Трећи повољан положај станице у тренутку T_o је надлетање 4. часовне зоне. Других повољних положаја нема.

Према томе, само три прилике од 24 су повољне за космонауте. Вероватноћу датог догађаја добијамо као P = 3/24 = 1/8. Међутим, ако се искористи повољна прилика, космонаутима предстоји да осам пута обележе овај празник.



Ил. 5.2. Срећна Нова година! Срећна Нова година! Срећна Нова ...

5.19. Пошто се тачка пролећне равнодневице (γ) налази на небеском екватору, она ће увек и свугде да излази у источној тачки (E), а да залази у западној (W). Пошто звездани дан почиње онда када gamma-тачка пресече небески меридијан, звездано време на било којој географској ширини ће бити S = 18 h у тренутку излаза те тачке, тј. $S = 6^h$ у тренутку залаза.

5.20. Лик звезде у бунару се види само онда када је она у зениту. Дакле, Капела је била у горњој кулминацији. Тада ће географска ширина места да буде $\varphi = \delta = +45^0 57'$, а звездано време $S = \alpha = 5^h13^m$.

5.21. Проста година (365 дана) ће се завршити у понедељак јер се преосталих 364 дана деле са 7 без остатка. Ако је година преступна (366 дана), последњи дан ће бити уторак.

5.22. Према јулијанском календару фебруар 2100. године треба да има 29 дана јер је број година дељив са 4 без остатка и, према томе, ова година ће бити преступна. Међутим, по грегоријанском календару, према коме ми сада живимо, не сматрају се преступним године којима се завршавају векови ако број стотина није дељив са 4. То су 1800., 1900., 2100. итд. Дакле, у фебруару 2100. године ће бити 28 дана.

5.23. Пошто у савременом бројању година није било нулте године, један цео век се завршава годином **00., а следећи почиње 1. јануара **01. године. У складу са овим нови миленијум почиње 1. јануара *001. године. Дакле, XXI век и нови миленијум ће почети 1. јануара 2001. године.

5.24. Звездано време је назив за часовни угао тачке пролећне равнодневице. Пошто се та тачка налази на небеском екватору, у тренутку излаза њен часовни угао је био 18^h, а час касније 19^h. Управо је то вредност звезданог времена у датом тренутку.

5.25. Време 15^h27^m; датум 1. јануар.

5.26. Авион треба да лети на запад брзином једнаком брзини обртања Земље:

$$V = \frac{2\pi R_{\oplus}}{24h} = 0{,}5kms^{-1}$$

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

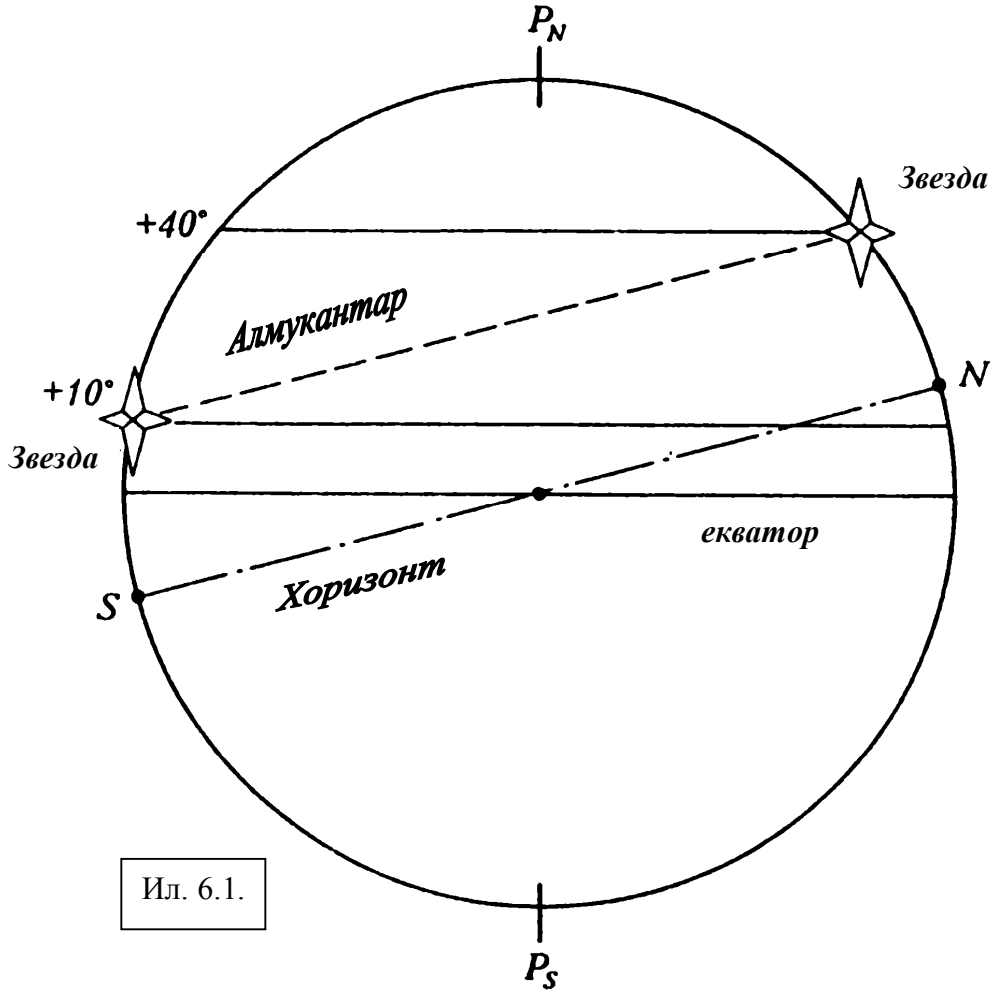
6. КООРДИНАТЕ НЕБЕСКИХ ТЕЛА

* * * * * □ * * * * *

6.1. Хоризонтска висина у горњој кулминацији износи $90^0 - \varphi + \delta = 53^0 45'$. Сунце се 22. септембра налази у тачки јесење равнодневице, дакле, у поноћ има кулминацију тачка пролећне равнодневице. Тада ће кулминација комете бити у 6^h13^m по средњем Сунчевом времену или у $6^h13^m - \lambda/15^0 = 3^h41^m$ по Гриничу. Додавши 2^h зонског времена за Москву, 1^h указног времена и 1^h летњег времена добићемо да се кулминација догодила у 7^h41^m по московском летњем времену.

6.2. Такве тачке не постоје.

6.3. Пошто се у својој највишој тачки небески екватор налази изнад хоризонта на висини од $90^0 - \varphi = 41^0$, а Месец је кулминовао на висни од 46^0, јасно је да је он тада био близу највише тачке своје путање (нагиб Месечеве путање према еклиптици износи 5^0). С обзиром да је Месец у последњој четврти, тј. 90^0 западно од Сунца, видимо да се небеско тело налази близу силазног чвора Месечеве путање. Према томе, тога дана Месец се налази у близини тачке пролећне равнодневице. Лонгитуда се рачуна од тачке пролећне равнодневице у смеру супротном смеру казаљке на часовнику. Дакле, лонгитуда узлазног чвора је 270^0.



Ил. 6.1.

6.4. Начинивши цртеж (Ил. 6.1) и спојивши поменуте лонгитуде на једном меридијану алмукантаром видећемо да место посматрања може да се налази само на северној хемисфери и то, на великој географској ширини (јер је зенит близу небеског пола). Том приликом друга звезда треба да је у горњој кулминацији, а у доњој прва. Тачну вредност географске ширине одредићемо из услова једнакости висина одговарајућих кулминација:

$\varphi - 90^0 + \delta_1 = 90^0 - \varphi + \delta_2$,

одакле је $\varphi = 75^0$. Пошто је у горњој кулминацији била звезда са $\alpha_2 = 6^h$, ово је, управо,

вредност звезданог времена. С обзиром да су ове звезде слабе, закључујемо да су се посматрања обављала касно ноћу, рецимо, око поноћи. Дакле, Сунце је тада имало $\alpha = 18^h$, тј. била је зима.

Питању о добу године се може прићи и на формалнији начин. Слабе звезде се виде по завршетку астрономског сумрака када је Сунчева висина мања од -18^0. С обзиром на положај равнодневичких тачака у тренутку посматрања (оне су на хоризонту) и географску ширину места лако је наћи угао између еклиптике и хоризонта:

$$\omega = 23{,}5^0 + 15^0 = 38{,}5^0.$$

Дакле, одстојање Сунца од равнодневичких тачака према тачки зимског солстицијума није мање од $18^0/\sin\omega = 29^0 \approx 2^h$. Толики угао Сунце пређе за месец дана. Следи да су ова посматрања могла бити обављена између новембра и фебруара.

6.5. Не, јер се Бетелгејз у доњој кулминацији не види у Москви.

6.6. Нађимо највеће одстојање горњег краја Месечевог диска од небеског екватора:
'

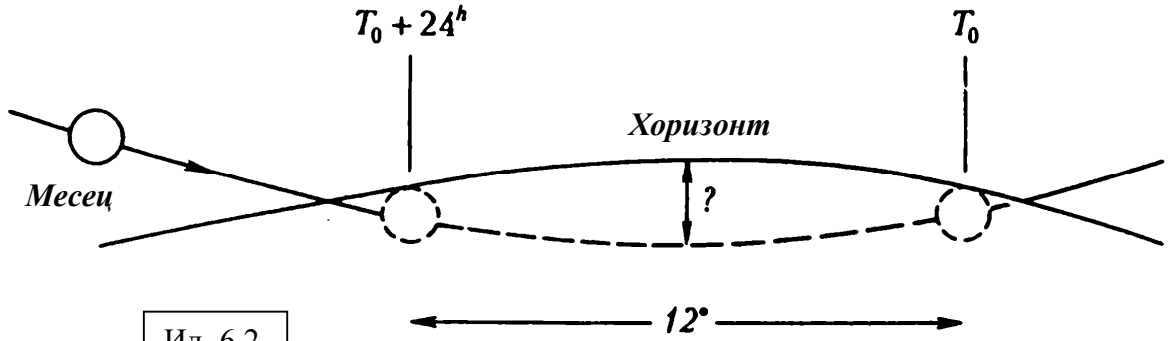
Нагиб екватора према еклиптици	$23^0 27'$
Нагиб Месечеве путање према еклиптици	$5^0 09' \pm 10`$
Привидни Месечев полупречник	$16' \pm 1'$
Збир	$28^0 52' \pm 11'$

Несигурност у вредностима (±) је повезана са реалним периодичним променама ових величина. Пошто је највећа дубина небеског екватора испод хоризонта једнака $(90^0 - \varphi)$, налазимо најједноставнији услов за наш задатак:

$$\varphi > 90^0 - 28^0 52' \pm 11' = 61^0 08' \pm 11'.$$

Овакав услов задовољава **само Јакутск**. Међутим, решење може бити и тачније.

Прво, рефракција на хоризонту издиже лик небеског тела за 35,5', друго, Месец за 24 часа не начини потпун обрт на небеској сфери, него за 12^0 мање. Због овога се он може посматрати у току дана чак и ако се део његове целе путање налази испод хоризонта (Ил. 6.2).



Ил. 6.2.

Нека је тачка L – положај Месечевог средишта у тренутку када се његов крај види на хоризонту у тачки L' (Ил. 6.3).

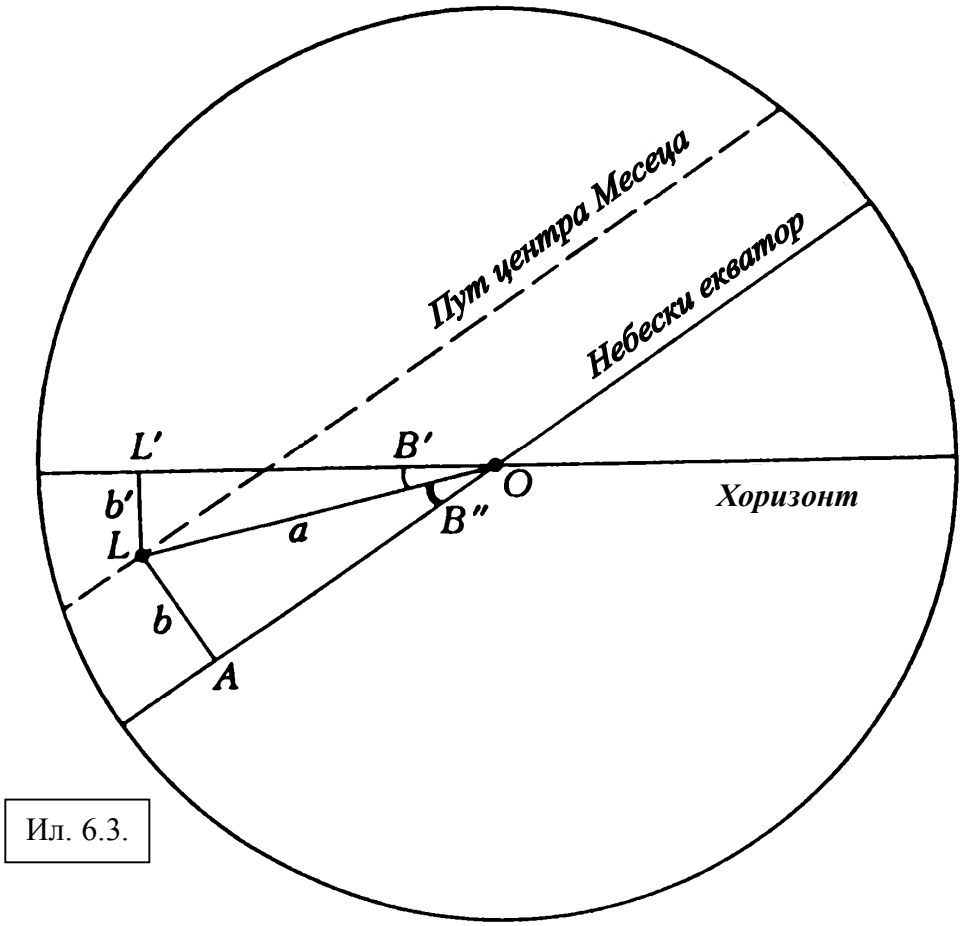
У правоуглом сферном троуглу OL'L је страна b' = 35,5' + 16' ± 1'=51,5' ± 1'. У правоуглом сферном троуглу OLA је страна $c = 84^0$, страна $b = 23^0 27' + 5^0 09' \pm 10' = 28^0 36' \pm 10'$, док се трећа страна може наћи на основу косинусне теореме $\cos a = \cos b \times \cos c$,

одакле је $a = 84^0 44'$. Углови код тачке O у троугловима OLA и OL'L одређују се из тангенсне теореме

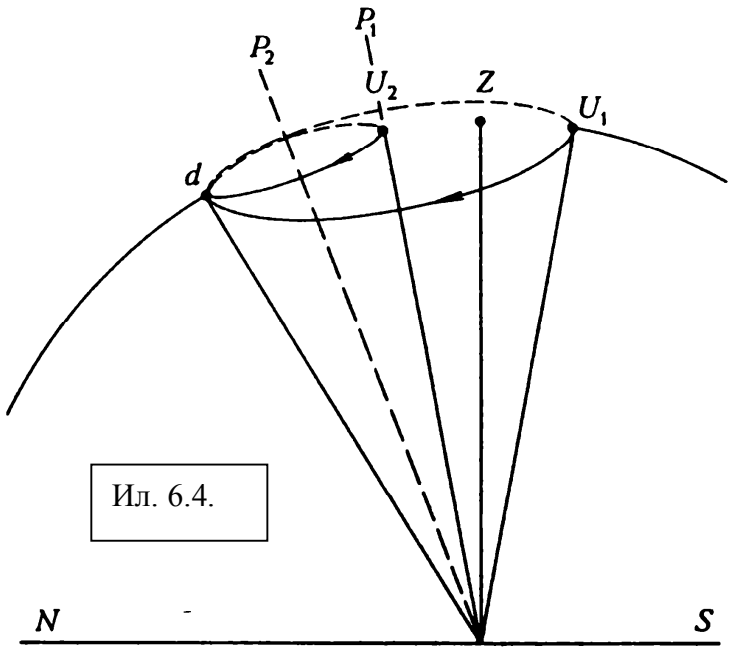
$tgB'' = \dfrac{tgb}{\sin c}$ одакле је $B'' = 28^0 44' \pm 10'$; и према синусној теореми

$\sin B' = \dfrac{\sin b'}{\sin a}$, одакле је $B' = 52' \pm 1'$. Тада је угао између небеског екватора и хоризонта B' + B'' $= 29^0 36' \pm 11'$, а услов за географску ширину града је

$\varphi > 90^0 - 29^0 36' \pm 11' = 60^0 24' \pm 11'$. Као што видимо, сада **не само Јакутск, него и Виборг** задовољава услов задатка када је он тачније решен.



Ил. 6.3.



Ил. 6.4.

6.7. Решење задатка није једнозначно: док је положај доње кулминације (тачка d на Ил. 6.4) одређен тачно, горња кулминација је могла, у принципу, да се догоди како јужно (U_1), тако и северно (U_2) од зенита (Z). У првом случају за северну хемисферу небески пол ће бити на положају P_1 и географска ширина ће износити

$$\varphi_1 = \frac{180^0 - 60^0 - 80^0}{2} + 60^0 = 80^0,$$

а у другом, за положај пола P_2, ширина ће бити

$$\varphi_2 = \frac{80^0 - 60^0}{2} + 60^0 = 70^0.$$

С обзиром да је трајање ноћи било веће од временског интервала између кулминација, тј. 12^h, а посматрање је обављено на великим географским ширинама, ово је могло да се догоди само зими.

6.8. Знајући нагиб еклиптике према небеском екватору ($\varepsilon = 23{,}5^0$) наћи ћемо географску ширину северне поларне кружнице: $\varphi = 90^0 - \varepsilon = 66{,}5^0$. Нека је A - азимут, h - висина, t - часовни угао, S - звездано време. Тада је за горњу кулминацију:
$h_G = \varphi + (90^0 - \delta) = 82^0$, $A_G=180^0$, $S_G = \alpha = 14^h51^m$, $t_G = 0h$.
А за доњу кулминацију: $h_D = \varphi - (90^0 - \delta) = 51^0$, $A_D = 180^0$, $S_D = \alpha + 12^h = 2^h51^m$, $t_D = 12h$.

6.9. Из посматрања је познато да 22. јуна Сунце има највећу деклинацију $\delta_1 = +\varepsilon$, а 22. децембра најмању: $\delta_2 = -\varepsilon$. Пошто је $h_1 = 90^0 - \varphi + \delta = 90^0 - \varphi + \varepsilon$, а $h_2 = 90^0 - \varphi - \varepsilon$, добићемо: $\varepsilon = (h_1-h_2)/2 = 23{,}5^0$, $\varphi = 90^0 - (h_1+h_2)/2 = 56{,}5^0$, $\delta_1 = +23{,}5^0$, $\delta = -23{,}5^0$. На тај начин сазнали смо, не само Сунчеву деклинацију и географску ширину места, него и нагиб еклиптике према екватору.

6.10. Следећи пут ће Сунце изаћи кроз годину дана. Пошто година траје 365,24... дана, тада после обављених 365 пуних обрта, тачка изласка (тачка пролећне равнодневице) ће још да пређе четвртину круга, а Сунце ће да изађе за 90^0 западније него у претходном случају.

6.11. Круг деклинација треба поставити на 30^0, а круг за часовне углове на вредност $t_s - \alpha = 12^h19^m - 13^h52^m = -1^h33^m$. Другим речима, од меридијана на исток 1^h33^m или дуж скале $24^h - 1^h33^m = 22^h27^m$.

Ако се звезда буде кретала кроз средиште видног поља, то ће трајати

$$\frac{24h \times 45'}{360^0 \times \cos 30^0} = 3{,}5\,\text{min}.$$

6.12. Ове звезде се налазе на небеском екватору, дакле њихова деклинација је $\delta = 0^0$.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

7. СЈАЈ, ЛУМИНОЗНОСТ, РАСТОЈАЊЕ

* * * * * □ * * * * *

7.1. Изведимо најпре општу формулу. Нека је R растојање до звезде, v брзина у правцу посматрача, n број који показује колико пута треба повећати сјај звезде. С обзиром да се осветљеност мења обрнуто пропорционално квадрату растојања могуће је написати:

$n = \left(\frac{R}{R - vt}\right)^2$, где је t време за које се осветљеност промени n пута. Одавде је

$$t = \frac{R}{v}\left(1 - \sqrt{\frac{1}{n}}\right).$$

Ако се R изрази у километрима и v у километрима по години, t ће бити изражено у годинама. Заменом бројних вредности података добијамо да се сјај Сиријуса удвостручује на сваких 97 хиљада година.

7.2. У максимуму светли цео диск звезде чија је површина πR^2, а у минимуму само његов део који не заклања сателит, а чија је површина $\pi R^2 - \pi r^2$. Дакле, однос сјаја износи

$$n = \frac{R^2}{R^2 - r^2}.$$

Одакле је однос полупречника

$$\frac{r}{R} = \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

7.3. Промена привидне величине за $1{,}5^m$ одговара промени луминозности у односу од $2{,}512^{1,5} = \sqrt{2{,}512^3} \approx 4\,puta.$ Међутим, пошто је сјај јединице површине звезде остао непромењен, следи да се њена површина повећала четири пута, а полупречник два пута.

7.4. С обзиром да је паралакса једне звезде уствари угао под којим се види велика полуоса Земљине путање са те звезде пошто су углови у нашем задатку мали, може се рећи да однос 0,065"/0,024" = 2,7 представља број који указује колико је пута пречник те звезде већи од полупречника Земљине путање. Дакле, пречник звезде износи 2,7 $\times$ 150 милиона километара = 405 милиона km.

7.5. Претпоставља се да су путање и Земље и планете кружнице. Планета је за време опозиције била сјајнија за 1^m, тј. 2,512 пута. Међутим, пошто је промена сјаја обрнуто пропорционална квадрату растојања, биће

$\left(\frac{R+r}{R-r}\right)^2 = 2{,}512,$ где су r и R полупречници путања Земље и планете, респективно. Одавде је R $\approx$ 4,4 AJ. Према трећем Кеплеровом закону ($T^2 = a^3$) налазимо период обиласка планете. Он износи 9,2 године. Даље, користећи формулу која повезује сидерички и синодички период (види **4.24**) налазимо синодички период планете. Он износи 1,12 година. Дакле, између конјункције и опозиције ће да прође 0,56 година или 205 дана.

7.6. Решава се аналогно задатку 7.2. Из једначине

$\frac{R^2}{R^2 - r^2} = 2{,}512^{8-6} = 2{,}512^2$ ћемо наћи однос полупречника R/r = 1,1 и однос запремина $1{,}1^3 = 1{,}3$.

7.7. Приликом мерења паралаксе звезда основица износи 1 АЈ. **Сунчева паралакса - то је хоризонтска екваторска паралакса** где се за основицу узима екваторски полупречник Земље - 6378 km. Прва основица је од друге већа приближно 23 500 пута. Како је Сунчева паралакса 20 пута већа од паралаксе звезде, растојање до ње ће бити 20 $\times$ 23 500 = 470 хиљада пута веће него што је растојање између Земље и Сунца.

Могућ је и други начин да се реши овај задатак. Растојање до звезде је 1/0,44"=2,3 pc што даје 2,3 $\times$ 206 265 = 470 хиљада АЈ.

7.8. С обзиром да су углови мали, Сунчев угаони пречник се одређује као 32'/40=48". Сунчев диск неће моћи да се разликује голим оком. Нека је $E_\oplus$ - осветљеност коју даје Сунце на Земљи, а E_{PL} осветљеност коју даје Сунце на Плутону, тада је $E_\oplus / E_{PL} = 40^2 = 1600$. С друге стране, имамо $\frac{E_\oplus}{E_{PL}} = 2{,}512^{(m_{PL} - m_\oplus)}$, где је m_{PL} звездана величина коју Сунце има на Плутону. Тада за m_{PL} имамо једначину: $2{,}512^{(m_{PL} + 26{,}7)} = 1600$. Одавде се логаритмовањем добија $m_{PL} = -18{,}6$. Разлика сјаја Сунца на Плутону и пуног Месеца на Земљи износи $m_{mes} - m_{PL} = 6$ звезданих величина. Дакле, разлика осветљености ће да износи $2{,}512^6 \approx 250$ пута у корист Сунца на Плутону. Према томе, Сунце осветљава Плутонову површ као што 250 пуних Месеци осветљава Земљину.

7.9. Бројне вредности у овом задатку су изабране тако да се он може решити без коришћења сложених формула. Нека је број звезда са главног низа $N_{ms} = 10^6 = 100 \times 100 \times 100$; тада ће њихова укупна апсолутна величина бити за $5^m + 5^m + 5^m = 15^m$ мања него за једну такву звезду и износиће $6^m - 15^m = -9^m$. За црвене џинове је $N_{rg} = 10^4 = 100 \times 100$, дакле и њихова укупна величина износи $1^m - 5^m - 5^m = -9^m$. Узгред буди речено, у стварним збијеним јатима имамо приближно такву ситуацију: сразмерно малобројни црвени џинови зраче исту количину светлости као све остале звезде јата.

Сада ћемо одредити привидну величину јата. Пошто је растојање од 10 kpc 1000 пута веће од оног растојања за које се дефинише апсолутна величина (10 pc), привидни сјај звезда ће бити $(1000)^2$ мањи од апсолутног. Представивши овај број као $100 \times 100 \times 100$ наћи ћемо разлику сјаја у звезданим величинама: $5^m + 5^m + 5^m = 15^m$. Дакле, укупан сјај црвених џинова и звезда главног низа узетих појединачно биће једнак $-9^m + 15^m = 6^m$. Цело јато ће изгледати два пута сјајније од звезде 6. привидне величине, тј. у потпуности је доступно нормалном оку на тамном небу. Разуме се, све ово важи под условом да нема међузвездане апсорпције.

Они који знају логаритме могу да користе познату формулу која повезује привидну (m) и апсолутну звездану величину (M) са растојањем (R, у парсецима) додавши у њу још један члан који узима у обзир број звезда (N):

$$m_{ukupno} = M - 5 + 5\log R - 2{,}5 \log N .$$

7.10. Пошто су угаоне димензије детаља одређене параметрима телескопа, њихове стварне димензије биће пропорционалне растојању до Марса. Нека је $a_\oplus$ = 1 АЈ велика полуоса Земљине путање , а a_M = 1,5 АЈ велика полуоса Марсове. Тада ће за време конјункције растојање између њих да буде $(a_M + a_\oplus)$, а за време опозиције $(a_M - a_\oplus)$. Дакле, димензије најмањих детаља који се могу видети на Марсу око конјункције (када Сунце не би сметало) износе

$$100km \times \frac{a_M + a_\oplus}{a_M - a_\oplus} = 500km.$$

7.11. Преводећи парсеке у светлосне године (1 pc = 3,26 св. г.) сазнаћемо колико времена светлост путује од Андромедине маглине до Сунца. Оно износи 690 $\times$ 1000 $\times$ 3,26 = 2,25 милиона година.

7.12. Око 180 хиљада година (види решење задатка **7.11**).

7.13. Пошто се друга звезда налази 10 пута даље од оног растојања (10 pc) за које се одређују апсолутне звездане величине, осветљеност која долази од ње ће бити $10^2 = 100$ мањи него од звезде чија је привидна величина m= - 5. Смањивање осветљености од 100 пута одговара повећању звездане величине за 5^m. Дакле, друга звезда има привидну величину $-5^m + 5^m = 0^m$ и она је сјајнија од прве звезде.

7.14. Сетивши се да је период обиласка Халејеве комете око 76 година налазимо велику полуосу њене путање по трећем Кеплеровом закону: $a = T^{2/3} \approx 18$ AJ; а пошто је перихелско растојање q= 0,6 AJ, афелско ће бити Q= 2a – q = 35,4 AJ. Тада ће однос осветљености, одређен из закона обрнутих квадрата, да буде $E_q/E_Q = Q^2/q^2 = (35{,}4/0{,}6)^2 \approx 3{,}5$ хиљада пута.

7.15. Земљин албедо (A) се може одредити по сјају Месечеве пепељаве светлости, тј. по сјају тамне Месечеве стране на коју пада Сунчева светлост одбијена од Земље. Нека је I_1 сјај Месечеве стране коју осветљава Сунце, а I_2 је сјај тамне стране коју осветљава Земља; a је Месечев албедо, $r_\oplus$ полупречник Земљине путање, r_{mes} полупречник Месечеве путање, $R_\oplus$ полупречник Земље и L_{sun} Сунчева луминозност. Тада ће светлосни флукс на Земљином растојању да износи $L_{sun}/(4\pi r_\oplus{}^2)$, а луминозност Земљине дневне хемисфере, респективно

$$L_\oplus = \frac{AL_{sun}\pi R_\oplus^2}{4\pi\, r_\oplus^2}$$

Без посебног испитивања тешко је рећи како се расподељује одбијена светлост Земље по правцима. У првој апроксимацији се може сматрати да је она хомогено расподељена по дневној хемисфери.Тада се може написати:

$$I_1 = \frac{aL_{sun}}{4\pi\, r_\oplus^2} \quad , \quad I_2 \approx \frac{aAL_{sun}\pi R_\oplus^2}{2\pi\, r_{mes}^2\, 4\pi\, r_\oplus^2} = \frac{aAL_{sun}}{8\pi}\left(\frac{R_\oplus}{r_\oplus r_{mes}}\right)^2 .$$

Однос ових величина, који се мери непосредно приликом поређења сјаја за пепељаву светлост и дневну Месечеву страну, је

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{2}{A}\left(\frac{r_{mes}}{R_\oplus}\right)^2 .$$

Одавде се, знајући Земљин полупречник и растојање до Месеца, лако може наћи албедо:

$$A \approx 2\left(\frac{I_2}{I_1}\right)\times\left(\frac{r_{mes}}{R_\oplus}\right)^2 .$$

7.16. Нека је R – полупречник језгра комете, r њено растојање од Сунца (и од Земље јер је r »1 AJ), A = 0,4 је албедо језгра, m звездана величина језгра, $M \approx 5^m$ апсолутна звездана величина Сунца и L_{sun} Сунчева луминозност. Тада ће луминозност језгра комете да износи

$$L = \frac{AL_{sun}\pi R^2}{4\pi\, r^2}. \qquad (1)$$

Под претпоставком да језгро комете расејава светлост изотропно, тј. равномерно на све стране (није сасвим тако, али може да се користи за процену), можемо да искористимо стандардну формулу која повезује привидну и апсолутну звездану величину са растојањем:

$$m = M - 2{,}5\log\left(\frac{L}{L_{sun}}\right) + 5\log\left(\frac{r}{10\,pc}\right) . \qquad (2)$$

Комбинујући формуле (1) и (2) добићемо:

$$m = M - 2{,}5\log\left(\frac{A}{4}\right) + 5\log\left(\frac{r^2}{R\cdot 10\,pc}\right) . \qquad (3)$$

Заменом бројних вредности налазимо $m=29{,}5^m$. Објекти тако слабог сјаја још увек нису доступни за телескопе јер је откривање језгара комета изван граница Сунчевог система немогуће.

7.17. Искористимо решење задатка **7.16** и ознаке усвојене у њему. Тада се из формуле (3) лако налази полупречник језгра:

$$\log\left(\frac{R}{3km}\right) = 2 - 0{,}2\,(m - M) + 2\log\left(\frac{r}{2AJ}\right) - 0{,}5\log\left(\frac{A}{4}\right).$$

Заменом бројних вредности налазимо R ≈ 5 km.

7.18. Усвојимо за средњи сјај датих звезда величину од $5{,}5^m$. Тада њихова укупна осветљеност одговара једној звезди чија је величина $m = 5{,}5 - 2{,}5 \log 1600 = -2{,}5^m$. Дакле, звезде између 5. и 6. привидне величине осветљавају Земљу 2,5 јаче од самог Сиријуса.

7.19. Укупни сјај за прву групу звезда (од 3^m до 4^m) износи око

$$m_{3\text{-}4} = 3{,}5^m - 2{,}5^m \log 400 = -3{,}0^m,$$

а за другу групу (од 4^m до 5^m) око

$$m_{4\text{-}5} = 4{,}5^m - 2{,}5^m \log 1100 = -3{,}1^m.$$

Дакле, обе групе су практично равноправне према укупној осветљености.

Интересантно је да оваква законитост остаје на снази све до врло великих вредности m. На пр., звезда између 17^m и 18^m на небу има по реду величине 150 милиона. Њихова укупна привидна величина је

$$m_{17\text{-}18} = 17{,}5^m - 2{,}5^m \log (1{,}5\times 10^8) = -2{,}9^m.$$

Астрономи сматрају да доспевањем до 29^m - 30^m ми практично можемо да посматрамо све звезде Млечног пута. Оценићемо њихов укупни сјај претпостављајући да је релација написана горе ($m_{\text{od } i \text{ do } i+1} = -3^m$) испуњена за све звезде од 0^m до 30^m :

$m_{0\text{-}30} = m_{i\text{-}i+1} - 2{,}5^m \log (i_{max} - i_{min}) = -3^m - 2{,}5^m \log 30 = -6{,}7^m$.

На тај начин закључујемо да све звезде Млечног пута осветљавају Земљу за 20^m (или 100 милиона пута) слабије него једна од њих - наше Сунце.

7.20. Као што је познато, небо без месечине далеко од градова има сјај $21{,}5^m$ на квадратну лучну секунду. Површина небеске хемисфере износи 2π стерадијана или $2\pi\times(206\,265'')^2 \approx 2{,}7 \times 10^{11}$ квадратних лучних секунди. Дакле, осветљеност неба без месечине одговара једној звезди чија је привидна величина $m = 21{,}5 - 2{,}5 \log (2{,}7 \times 10^{11}) \approx -7^m$. Ово је скоро 200 пута слабије него пун месец.

Обратите пажњу на резултат претходног задатка: укупно зрачење свих звезда одговара једној звезди чија је привидна величина $-6{,}7^m$. На сваки делић Земљине површи доспева половина ове осветљености јер је изнад њега небеска полусфера. Ово одговара звезди са -6^m. Поредећи ово са резултатом добијеним у поменутом задатку видећемо да око 40% сјаја ноћног неба потиче од зрачења звезда Млечног пута које наше око не може да раздвоји. Преостали део потиче од зрачења Земљине атмосфере и Сунчеве светлости коју расејава међупланетна прашина (зодијачка светлост).

7.21. Однос полупречника путања за Земљу ($r_\oplus$ = 1 AJ) и Марс (r_M = 1,5 AJ) је скоро исти као за путање Венере (r_v=0,72 AJ) и Земље. Према томе, сличне ће да буду и посматране конфигурације планета. Димензије Земље и Венере су скоро једнаке, а коефицијент одбијања светлости (албедо) за Земљу мора бити два пута мањи јер је Венера у целости покривена облацима, а Земља обично половично. Према томе, однос осветљености која долази на Земљу са Венере (E_v) и Марса од Земље на ($E_\oplus$) у истим конфигурацијама ће бити једнак односу њихових осветљености које потичу од Сунца ($r_\oplus^2/r_v^2$) помноженом са два с обзиром на албедо и подељеном односом квадрата растојања између извора и посматрача (закон обрнутих квадрата):

$$\frac{E_v}{E_\oplus} = 2\left(\frac{r_\oplus}{r_v}\right)^2 \times \left(\frac{r_M - r_\oplus}{r_\oplus - r_v}\right)^2 = 12{,}3$$

У звезданим величинама ово ће да износи $2{,}5 \log (E_v/E_\oplus) = 2{,}7^m$. На пр., у максималној елонгацији Венера за Земљане има сјај $-4{,}1^m$, дакле за „Марсовце" у истој конфигурацији Земља ће да светли као звезда привидне величине $-1{,}4^m$, тј. као Сиријус или као што код нас сија Марс у опозицији.

Полупречник Месеца је скоро четири пута мањи од Земљиног, а албедо му је пет пута мањи. Због тога Месец ће да одбија скоро 100 пута мање светлости од Земље, тј. биће од ње слабији скоро за 5^m. Уосталом, вероватно неће бити тешко посматрати звезду привидне величине $3{,}5^m$ на ведром марсовском небу, тим пре што њено угаоно одстојање од сјајне Земље у тренуцима њених највећих елонгација може да достигне 9' (проверите ову вредност самостално).

7.22. Очигледно, за „Венеријанце" Земља достиже највећи сјај у опозицији. Пошто је код Венере у максималној елонгацији осветљена половина њеног диска видљивог са Земље, а ако је Земља у опозицији, за „Венеријанце" је осветљен цео њен диск, сматраћемо да је Земљина површина на којој се врши расејање два пута већа од одговарајуће Венерине. Ово компензује разлику њихових албеда. Дакле, разлика у сјају ће потицати само од разлике растојања планета од Сунца и посматрача од планета у тренуцима поменутих конфигурација (вид. задатак **7.21**). Нека су $E_\oplus$ и E_v осветљености од Земље и Венере, респективно, $r_\oplus$ и r_v полупречници њихових путања, $D_\oplus$ растојање између Земље и Венере за време опозиције и D_v растојање између Венере и Земље у максималној елонгацији. Тада је

$\frac{E_\oplus}{E_v} = \left(\frac{r_v D_v}{r_\oplus D_\oplus}\right)^2$ С обзиром да је $D_\oplus = r_\oplus - r_v$ и $D_v^2 = r_\oplus^2 - r_v^2$, налазимо

$$\frac{E_\oplus}{E_v} = \left(\frac{r_v}{r_\oplus}\right)^2 \times \frac{r_\oplus + r_v}{r_\oplus - r_v} \approx 3{,}2$$

У звезданим величинама ово износи $-2{,}5 \log 3{,}3 \approx -1{,}3^m$. Дакле, Земља ће за „Венеријанце" да има сјај $-5{,}4^m$.

Овакво решење се може сматрати довољно тачним за младог љубитеља астрономије. Међутим, пажљивија анализа показује да је приликом поређења расејања на Венери и на Земљи начињена једна сувише груба претпоставка. У стварности када се посматра лопта осветљена са стране, она светли не као половина лопте осветљене „спреда" него знатно слабије. Ово долази од тога зато што је у области терминатора сјај површи лопте осетно нижи него у тачки „под Сунцем" (другачији је угао под којим падају зраци на површ). Једноставнији рачун за мутну (без сјаја) лопту која подједнако расејава светлост на све стране показује да је она за време „пуног месеца" не 2, него $\pi = 3{,}14...$ пута сјајнија, него за време „прве четврти". За чврста тела на зависност сјаја од фазног угла (угао „Сунце - планета - Земља") веома јак утицај има структура површи. Код планета чија је површ порозна ова зависност је осетно јача него за мутну лопту. На пр. Месец је за време пуног месеца 13 пута, тј. скоро за 3^m, сјајнији него за време прве четврти.

Код планета са густом атмосфером зависност сјаја од фазног угла није тако јака као за Месец, али је јача него за мутну лопту. Сјај Венере у првој четврти је слабији од сјаја за време пуне фазе (која се са Земље никада не види) четири пута. Осим тога, приликом решавања задатка ми смо повећали Венерине димензије усвојивши да су једнаке Земљиним. У стварности однос њихових попречних пресека износи 1,1. Укупна наша грешка је тада $1{,}1 \times 4/2 = 2{,}2$ пута, тј. потценили смо Земљин сјај за 0,9 . Дакле, он ће да износи $-6{,}3^m$. Сјајан објект, нема шта!

Вештачки Венерин сателит у услову задатка се не помиње случајно: то дозвољава да се не узима у обзир апсорпција светлости од стране облака на Венери. Интересантно питање: да ли ће се Земља видети са Венерине површи? Ми на Земљи понекад видимо Јупитер и Венеру кроз облаке.

7.23. Осветљеност од Сунца иста је за Земљу и Месец. Међутим, код Месеца је албедо (око 7%) знатно мањи него код Земље (око 40%). Зато је Месец тамнији.

7.24. Прво, када се звезда види на хоризонту, њена светлост прелази дуг пут у атмосфери (скоро 40 пута дужи него када је звезда у зениту) и, према томе, трпи знатну апсорпцију. Друго, сопствено светљење атмосфере из истог разлога је веће на хоризонту него у близини зенита. Због тога на сјајнијој позадини на хоризонту ослабљена светлост звезде изгледа још слабија.

7.25. Све звезде ВМО се налазе на приближно истом растојању од нас. Због тога, открившi зависност између привидног сјаја цефеида и њиховог периода астрономи су дошли на идеју да постоји веза између периода и луминозности за променљиве звезде ове врсте. За звезде из Галаксије ово би било много теже да се уради јер би за сваку од њих требало да се одреди растојање да би се стварна јачина светлости одредила на основу привидног сјаја. Осим тога, ствар би постала још компликованија услед различитости у међузвезданој апсорпцији у разним правцима за Млечни пут (цефеиде су младе звезде и зато се срећу у близини галактичког екватора), док је за све звезде ВМО апсорпција светлости у међузвезданој средини наше Галаксије приближно иста.

Међутим, у циљу коначног одређивања зависности периода од луминозности било је неопходно да се измери тачно растојање бар до једне од цефеида. За ово су обрађиване цефеиде из наше Галаксије. Пошто су неке од њих довољно близу Сунца и улазе у састав звезданих јата, растојање до њих се одређује довољно поуздано уз помоћ више независних метода. Било би сасвим добро када би се могла измерити њихова тригонометријска паралакса и на тај начин да се непосредно одреди растојање, али засада то не полази за руком. (*После најновијих вештачких сателита „Хипаркос" и „Тихо", на пр., то више није тако - прим. прев.)*

7.26. Нема начина да се непосредно мере растојања до галаксија. Због тога се скала вангалактичких растојања образује постепено, корак по корак. Најпре се уз помоћ тригонометријског метода одређују растојања до најближих звезда и налази веза између њихове луминозности и температуре (спектралне класе). Потом, користећи ову везу одређују се растојања до звезданих јата у којима има цефеида (вид. задатак **7.25**). Онда, користећи зависност „период - луминозност" за цефеиде налазе се растојања до најближих галаксија. Даље, одредивши луминозност најсјајнијих звезда и области HII у блиским галаксијама одређују се растојања до галаксија које су даље, а где се ове звезде и емисионе маглине још увек могу видети. Онда, када се одреди зависност између луминозности галаксије и брзине њеног обртања, одређује се растојање до оних галаксија код којих се ова брзина још увек може измерити. Онда ...

Једном речју, скала вангалактичких растојања се образује као пирамида. А ви сте запамтили на шта се она ослања? На растојања до најближих звезда која су измерена коришћењем тригонометријског метода. Том приликом тачност одређивања растојања зависи од тога са којом тачношћу је измерена основа - растојање од Земље до Сунца. Дакле, од тачности одређивања астрономске јединице зависи наше познавање вангалактичких растојања и Хаблове константе, а као последица и будућности Васионе.

7.27. Одредимо до ког растојања (r) ће се регистровати експлозије супернових. Апсолутна (M) и привидна звездана величина (m) су међу собом повезане преко растојања r (у парсецима):
M = m + 5 - 5log r. Одавде ћемо наћи r:

$$\log r = 0{,}2(m + 5 - M) = 0{,}2(14 + 5 + 21) = 8\ .$$

Дакле, посматрања у циљу праћења супернових обухватају област чији је полупречник 100 Mpc. Запремина ове области је $4\pi r^3/3 \approx 4\times 10^6$ Mpc^3 и у њој се налази 4×10^5 галаксија. Пошто за једну галаксију учестаност експлозија износи 1/100 година, од свих ових галаксија посматрања службе праћења ће да фиксирају 4000 експлозија годишње или приближно 11 нових експлозија сваке ноћи. Истини за вољу, међузвездана апсорпција светлости у нашој и другим галаксијама може знатно да смањи овај износ.

7.28. Нека је F – снага по јединици површине на Земљи која потиче од Месечеве светлости на Земљи. Очигледно, лоптица прихвата снагу πR^2F и одбија πR^2Fk и то је њена „луминозност". Претпоставимо да лоптица расејава светлост изотропно, тј. исто у свим правцима (покушајте да докажете да је одиста тако). Тада ће снага по јединици површине њене светлости на растојању L да износи $\pi R^2Fk/4\pi L^2$. Однос снага по јединици површине од Месеца и његовог лика изражен у звезданим величинама износи

$$\Delta m = 2{,}5\log\left(\frac{4L^2}{kR^2}\right) = 2{,}5\log\left(\frac{4}{0{,}7}\right) + 5\log\left(\frac{200}{0{,}5}\right) = 14{,}9.$$

Дакле, звездана величина Месечевог лика ће бити m = 14,9 - 12,7 = 2,2. Баш оваквим методом, поредећи сјај Месечевог лика који одбија лоптица са сјајем звезда, астрономи аматери могу да одреде сјај самог Месеца у зависности од његове фазе или у тренуцима помрачења Месеца.

7.29. Очигледно, у том тренутку за космонаута као једини сјајан извор светлости служи осветљена Јупитерова површ. Да упоредимо њену светлост са појавом пуног месеца на Земљи. Нека је r_{Io} = 422 000 km полупречник путање сателита Ио, R_J = 70 000 km Јупитеров полупречник, r_J = 5,2 AJ његово растојање до Сунца, а A_J = 0,45 и A_{Mes}=0,07 албедо Јупитера и Месеца, респективно.Тада ће угаони пречник Јупитера на небу сателита Ио да износи $\alpha_{Jup} = 2\arcsin\left(\frac{R_J}{r_{Io}}\right) = 19{,}1^0$, док за Месец на Земљином небеском своду, као што је познато, имамо $\alpha_{mes} = 0{,}5^o$. Однос сјаја за површи Месеца и Јупитера ће бити

$$\frac{I_{mes}}{I_{Jup}} = \frac{A_{mes}}{A_{Jup}}\left(\frac{r_{Jup}}{1AJ}\right)^2 = 4{,}2.$$

На овај начин Јупитеров диск на небу сателита Ио ће бити знатно већи од Месечевог по свом углу, али неколико пута блеђи него овај други. Колика је осветљеност површи сателита? Очигледно, она је пропорционална I_J и посматраној површини његовог диска. Поредећи је са Месечевом налазимо

$$\frac{F_{Jup}}{F_{mes}} = \frac{I_{Jup}}{I_{mes}}\left(\frac{\alpha_{Jup}}{\alpha_{mes}}\right) = 344.$$

Баш толико пута је светлије на ноћној површи сателита Ио окренутој Јупитеру него на Земљи за време пуног месеца. Сетивши се да је неким јунацима књижевних дела полазило за руком да читају на светлости пуног месеца, може да се помисли да је космонауту врло лако да чита на ноћној хемисфери сателита Ио окренутој Јупитеру.

Уосталом, да завршимо формално решавање задатка. Уобичајена јединица за осветљеност је лукс (lx). За разне врсте делатности установљене су норме за осветљеност од 5 lx до 5000 lx. За читање и писање као прихватљива се сматра осветљеност од 100 lx. Приближно толику осветљеност производи на страници ове књиге ваша стона лампа чија је снага 60 W. У природи се осветљеност мења од 0,0005 lx за ноћ без месечине до 10^5 lx под сјајним сунцем. За пун Месец у зениту осветљеност Земљине површи износи око 0,25 lx. Следи да пун Јупитер на површи сателита Ио производи осветљеност од $344 \times 0{,}25 = 86$ lx . Практично, ово је идеална осветљеност за читање и рад.

7.30. Усвојимо да је привидна величина Венере једнака - 4^m . Тада ће разлика привидних величина између Венере и слабих звезда да буде 6^m - (- 4^m) = 10^m. С обзиром да разлици привидних величина од 5^m одговара промена осветљености од 100 пута видимо да би, да се замени Венера, било потребно $100 \times 100 = 10^4$ слабих звезда.

7.31. Растојање између Марса и Земље за време опозиција се креће од 56 до 101 милиона km, па следи да ће у просеку оно бити око 80 милиона km. Растојање између Земље и Венере за време доње конјункције Венере са Сунцем износи око 40 милиона km. Марсово средње растојање од Сунца је 1,5 AJ. Земљин пречник је два пута већи од Марсовог.
Дакле, пошто је Земља 1,5 пута ближа Сунцу него Марс, она од њега добија осветљеност јачу $1{,}5^2$ пута. Због различитог албеда Земља одбија 0,36/0,16 ≈ 2,3 пута боље од Марса. Због различитог пречника површина Земљиног попречног пресека је 2^2 пута већа него код Марса. Најзад, Земља је два пута ближа Венери него Марс Земљи; услед овог осветљеност се повећава још 2^2 пута. Као укупан ефект Земља добија у осветљености у односу на Марс $2{,}3 \times (2 \times 2 \times 1{,}5)^2 \approx 83$ пута. Ово је еквивалентно разлици у привидним величинама од $4{,}8^m$. Дакле, Земљин сјај за посматрача на Венери за време опозиције ће бити око - $6{,}8^m$.

Поређењем ове вредности са решењем задатка **7.22** приметићемо разилажење. У чему је узрок? Највећим делом је он био објашњен приликом решавања задатка **7.22**, али и овог пута смо допустили малу нетачност у поређењу димензија Земље и Марса. У стварности Земљин попречни пресек има површину већу од Марсовог не 4, него 3,5 пута. У звезданим величинама је ово једнако

$0{,}14^m$. Стварни Марсов сјај у просеку за време опозиције није - 2^m, него $-1{,}9^m$; тј. имамо још $0{,}1^m$. Приликом заокруживања растојања такође смо добили грешку од око $0{,}15^m$ и све ове нетачности су чиниле Земљу сјајнијом. Коначно, тачнији прорачун (који не би требало да се захтева од младих љубитеља астрономије) даје за привидну величину Земље за време опозиције према Венери око - $6{,}4^m$, а то се добро слаже са тачним решењем задатка **7.22.**

7.32. Задатак је једноставан и зато је важан не толико одговор, колико приступ у израчунавању. Могуће су три варијанте:
1) Угаони пречник Сунца износи око 30' = 1800". Према томе, угаони пречник пеге је сто пута и мало више мањи. Међутим, и пречник Земље је 109 пута мањи од пречника Сунца. Дакле, ова пега је величине Земље.
2) Дневна Сунчева паралакса (угао под којим се види полупречник Земље са Сунца) износи 8,8". Дакле, са истог растојања под углом од 17" мора се видети пега чији је пречник једнак Земљином.
3) Под углом од 1" види се предмет чије су димензије 206 265 пута мање од растојања до њега. Знајући растојање до Сунца (150 милиона km) и угаоне димензије пеге израчунавамо њене стварне димензије:

$$L = 17'' \times \frac{150 \times 10^6\, km}{206265} = 12363,$$

а то је скоро као Земљин пречник. Последњи начин је најтачнији, али и најтежи.

Пошто је округла и недеформисана утицајем перспективе (јер се налази близу средишта Сунчевог диска), пега се и по својој површини може упоредити са површином пресека Земље.

7.33. Размотримо стубић површине попречног пресека 1 cm^2 и дужине L = 10 pc. Пролазећи дуж њега светлост ослаби онолико пута колико износи проценат покривености попречног пресека од стране честица прашине:

$$\frac{S}{1cm^2} = r$$

где је S површина оног дела попречног пресека које су покриле честице прашине, r је апсорпција (=1% према услову задатка). Површина попречног пресека за једну честицу износи $s = \pi r^2$. Ако апсорпција није знатна, честице прашине се, практично, не пројектују једна на другу и покривају површину једнаку укупној површини њихових пресека: S=sN где је N број честица прашине у стубићу. Одавде је

$$N = \frac{S}{s} = r \times \frac{1cm^2}{\pi r^2} = 8 \times 10^6.$$

Сматрајући да су честице равномерно распоређене у стубићу дужине L налазимо средње растојање између две честице:

$$l = \frac{L}{N} = \frac{10\,pc}{8 \times 10^6} = 0{,}25\,AJ$$

7.34. Светлост коју израчи Сунчева површ простире се у свим правцима, а не само у правцу Месеца. Светлосни флукс који прође кроз јединичну површину замишљене сфере полупречника R са средиштем у средишту Сунца је ослабљен $(R/R_\oplus)^2$ пута и ово је, заиста, фотометријски закон обрнутих квадрата. Према томе, светлосни флукс који пада на Месец је ослабљен $(1\ AJ/R_\oplus)^2$ = 46 хиљада пута, а онај који Месец одбија 46 000/0,07 = 660 хиљада пута. Толико пута ослабљен је, како сјај јединице површине на Месецу, тако и регистровани сјај читавог Месеца у поређењу са Сунцем пошто су њихове угаоне димензије једнаке.

7.35. Изражавајући угаони пречник у радијанима налазимо стварни пречник јата:

$$d = \alpha D = \frac{8' \times 10^3\, pc}{3438'} = 23\,pc.$$

Апсолутна величина јата за нулту међузвездану апсорпцију

$$M = m + 5 - 5\log r(pc) = -9.$$

Тада ћемо број звезда да одредимо на основу луминозности јата:

$$N=L/L_{sun} = 10^{0,4(M_{sun} - M)} = 4 \times 10^5.$$

Усвојивши за запремину јата вредност $V= \pi d^3/6$ налазимо просечну просторну концентрацију звезда:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{6N}{\pi d^3} = 63 pc^{-3},$$

тј. у сваком кубном парсеку јата се у просеку налазе 63 звезде. Упоредите ово са Сунчевом околином где у просеку имате у 10 кубних парсека свега једну звезду.

Ако је средње растојање између две звезде једнако L, средња запремина на једну звезду ће бити L^3. Тада ће у јединици запремине бити $1/L^3 = n$ звезда. Следи, $L = n^{-1/3} = 0,25$ pc.

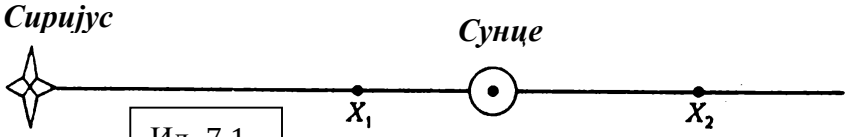
7.36. Нека је у тренутку емитовања светлости растојање до галаксије једнако X. Да њена светлост стигне до нас потребан је временски интервал t=X/C. За то време галаксија прелази растојање $\Delta X = Vt = VX/C$. Следи да ће у тренутку посматрања растојање до галаксије да износи X(1+V/C) = 330 Mpc. Одавде је X = 330 Mpc/(1 + 30 хиљада /300 хиљада) = 300 Mpc.

7.37. Нека је D, $D = 1/\pi$, растојање између Сунца и Сиријуса, X растојање између посматрача и Сунца, а L_{sun} и L_{sir} су луминозности Сунца и Сиријуса, респективно, при чему је $L_{sir} = 22L_{sun}$. Тада, у сагласности са фотометријским законом обрнутих квадрата, услов задатка ћемо написати овако:

$\frac{L_{sun}}{X^2} = \frac{L_{sir}}{(D-X)^2}$, одакле се лако добија квадратна једначина: $21X^2 + 2DX - D^2=0$.

Она има два решења:

$$X_1 = 0,176D = 0,47 \text{ pc}$$
$$X_2 = -0,273D = - 0,73 \text{ pc}$$



Ил. 7.1.

Смисао двају решења је очигледан са Ил. 7.1: једна од тачака се налази између звезда (она нам је и потребна!), а друга даље од Сиријуса него што је Сунце. Када би путник начинио грешку у правцу и полетео на другу страну, он би у овој тачки такође нашао да су Сунце и Сиријус подједнако сјајни.

7.38. Разлика звезданих величина од $1,5^m$ одговара промени светлосног флукса од 4 пута. Следи да је, према фотометријском закону, космонаут био два пута даље од метеора него астроном који се налазио на Земљи. Међутим, познато је да метеори настају на висини од око 100 km изнад Земљине површи. Дакле, висина путање космичког брода је око 300 km.

7.39. Путања синхронизована са Сунцем је она блиска поларној чија раван, због тога што Земљино поље гравитације није сферно симетрично, има прецесију од око 1^0 дневно. Том приликом путањска раван заклапа константан угао са равни терминатора чија се прецесија догађа са истом брзином услед кретања Земље по орбити.

Ако раван путање синхронизоване са Сунцем заклапа мањи угао са равни терминатора, за становнике Земље скулптура ће се видети на позадини неба у сумрак или ноћу обилазећи Земљу са периодом од око 2 часа. На таквој путањи сателит се види са Земљине површи унутар траке ширине 7000 km, а за два часа Земља се на екватору обрне за 3670 km. Према томе, сваке ведре вечери ову космичку скулптуру могли би да посматрају сви становници Земље.

Упоредимо сјај ове скулптуре са сјајем пуног месеца (m_{mes} = - 12,7). Највећи просторни угао под којим може да се види скулптура износи

$$W = 2\pi RH\left(\frac{57.3^0}{h}\right)^2 = 4\cdot 10^{-4}\,\square^0$$

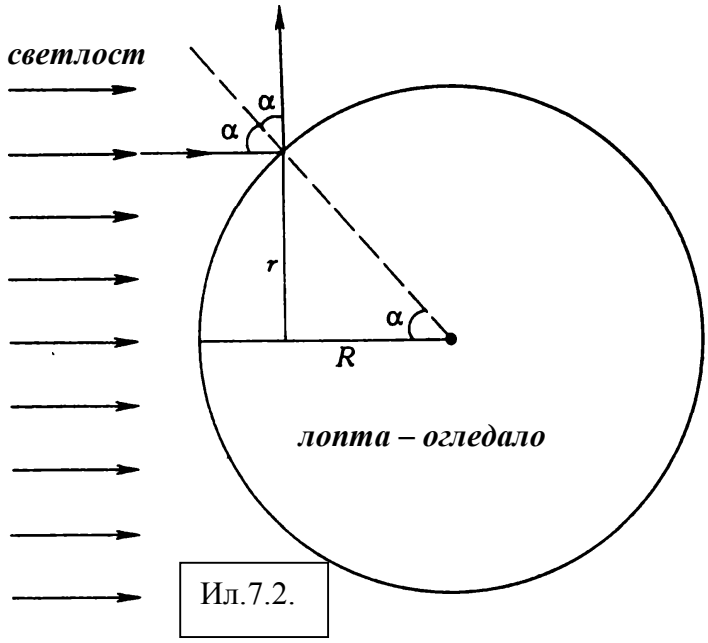
где су R и H полупречник и дебљина торуса, респективно, а h висина путање. Просторни угао за

Месечев диск је $\Omega_{mes} = \pi\,(0{,}25^0)^2 = 0{,}2\ \square^0$. Проистиче, с обзиром да је однос албеда једнак десет, да однос осветљености од Месеца и скулптуре износи

$$\frac{F_{mes}}{F} = 0{,}1\frac{\Omega_{mes}}{\Omega} = 50.$$

Овоме у звезданим величинама одговара $\Delta m = 2{,}5\log 50 = 4{,}2$. Следи да је највећи сјај скулптуре $4{,}2^m - 12{,}7^m = -8{,}5^m$. Узимајући у обзир да она неће увек да се види на најкраћем растојању (тј. у зениту) и да неће увек бити у потпуности осветљена Сунчевом светлошћу (у већини случајева фазни угао „Сунце-скулптура-посматрач" ће бити око 90^0), можемо за оцену очекиваног сјаја да прихватимо -7^m. Дакле, скулптура света би била најсјајнији објект ноћног неба, после Месеца. Истини за вољу, њене угаоне димензије не би премашиле $2R/h \approx 3'$. Према томе, већини људи који немају нарочито оштар вид скулптура би изгледала као невероватно сјајна покретна „звезда". Међутим, и са најједноставнијим двогледом јасно би се видео њен облик.

7.40. Нема сумње да је Галилеј у праву када каже да када би планете биле лопте-огледала, ми онда не бисмо видели њихове дискове, него бисмо приметили само Сунчев лик који оне одбијају. Међутим, укупан сјај планете се, практично, услед овога не би изменио. Заиста, да размотримо одбијање паралелног флукса светлости који пада на лопту-огледало.



Ил.7.2.

Нека је R полупречник лопте, A њен албедо, α упадни угао светлости на елемент површине лопте, f светлосни флукс који пада на себи нормално постављену јединицу површине *(осветљеност прим. прев)* (Ил. 7.2). Тада на узан појас на лопти чији је полупречник $r = R\sin\alpha$ и ширина $Rd\alpha$ доспева флукс

$$dF = f \times 2\pi r dr = f \times 2\pi R\sin\alpha R\cos\alpha d\alpha = \pi R^2 f \sin 2\alpha d\alpha.$$

Према закону о одбијању светлости ова светлост ће се распростирати под углом $\beta = 2\alpha$ према правцу ка извору. Одредићемо јачину светлости (тј. флукс по јединици просторног угла Ω) у правцу β:

$$I(\beta) = A\frac{dF}{d\Omega} = A\frac{dF}{2\pi\sin\beta d\beta} = \frac{Af\pi R^2\sin 2\alpha d\alpha}{2\pi\sin 2\alpha\, 2d\alpha} = \frac{AfR^2}{4}.$$

Дакле, јачина светлости (често се каже и сјај) лопте-огледала не зависи од фазног угла посматрача (β). Другим речима, лопта-огледало одбија светлост на све стране подједнако и са свих страна има исти сјај. Колики?

Упоредимо га са Сунчевим сјајем. Ако је растојање лопте од Сунца r, а од посматрача s, флукс зрачења који пада на лопту ће бити једнак

(F има димензије луминозности, а E има димензије снаге прим. прев)

$F = \dfrac{L_{sun}\pi R^2}{4\pi r^2}$, а осветљеност посматрача одбијеном светлошћу

$E_1 = \dfrac{AF}{4\pi s^2} = \dfrac{AL_{sun}\pi R^2}{(4\pi rs)^2}$. У исто време осветљеност посматрача Сунчевим зрацима који падају под правим углом $E_2 = \dfrac{L_{sun}}{4\pi r_{sun}^2}$, где је r_{sun} растојање између Сунца и посматрача. У звезданим величинама разлика у сјају између Сунца и лопте-огледала износи

$$\Delta m = 2{,}5\log\left(\frac{E_2}{E_1}\right) = 2{,}5\log\left(\frac{4}{A}\right) + 5\log\left(\frac{rs}{r_{sun}R}\right).$$

Ми смо добили зависност у најопштијем облику. Ако лопта-огледало одбија светлост без губитака (A = 1), формула се може поједноставити:

$\Delta m = 1{,}5 + 5\log\left(\frac{rs}{r_{sun}R}\right)$ Она ће постати још једноставнија ако су растојања посматрача и лопте од Сунца једнака ($r = r_{sun}$), као у случају Месеца: $\Delta m = 1{,}5 + 5\log\frac{s}{R}$

Баш ову формулу ћемо и користити да бисмо доказали Галилејеву грешку у оцени сјаја „Месеца-огледала". За R = 1738 km и s = 384,4 хиљада km добићемо Δm = 13,2. Усвојивши за визуални сјај Сунца m_{sun} = - 26,6, за сјај „Месеца-огледала" добијамо $m = m_{sun} + \Delta m$ = - 13,4. Напоменимо да за врло низак албедо (A = 7%) стварни Месец за време пуног месеца има сјај m_{mes} = - 12,7, тј. он је само два пута слабији од „Месеца-огледала". Ово је повезано са тим да храпава површ стварног Месеца углавном одбија светлост у правцу извора.

Дакле, доказали смо да би „Месец-огледало" био чак малчице сјајнији од стварног и, као раније, би остао најсјајнији објект ноћног неба. А колики би био пречник Сунца које се у њему огледа?

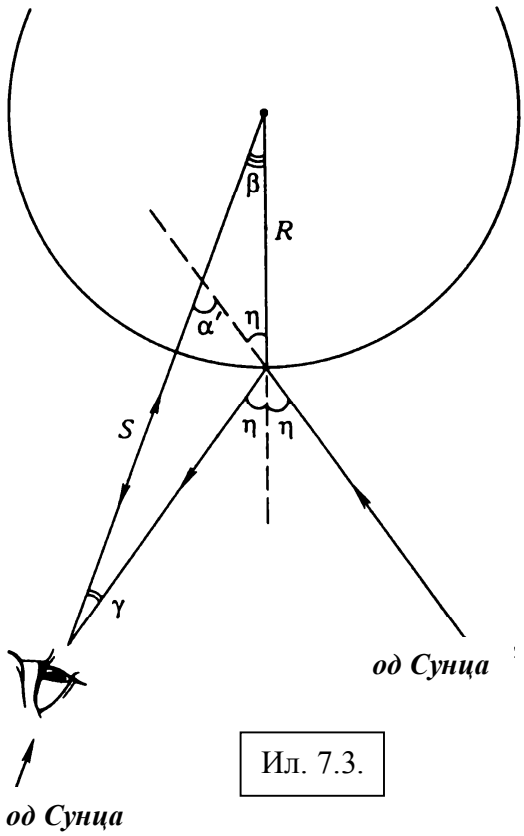
Ако се посматрања обављају за време пуног Месеца, тј. у тренутку опозиције „Месеца-огледала" и Сунца, угаоне димензије Сунца (α) и његовог лика на лопти (γ) су повезане на следећи начин (Ил. 7.3):

$$\eta = \alpha - \beta$$
$$\eta = \gamma - \beta$$

одакле је 2 β = α – γ. С обзиром да је $\gamma_{sun} = \beta R$, добићемо:

$\gamma\left(2 + \frac{R}{s}\right) = \alpha\frac{R}{s}$. Пошто за посматрање небеских тела важи R« s , добијамо: $\gamma = \alpha\frac{R}{2s}$.

За Сунце је $\alpha = 0{,}5^0$ и, према томе, димензије његовог лика на „Месецу огледалу" ће бити γ = 4". За око или двоглед ово је „звезда".



Ил. 7.3.

7.41. Сматраћемо да је сателит сфера-огледало, а албедо му је A=50%. Тада се задатак решава аналогно претходном. Ако је R, R=1,5 m, полупречник сателита, а s = 36 хиљада km растојање до њега, разлика у сјају између Сунца и сателита ће да буде

$$\Delta m = 2{,}5\log\frac{4}{A} + 5\log\frac{s}{R} = 39{,}2.$$

Усвојивши m_{sun} = - 26,6 добићемо за визуални сјај сателита m = 12,6. За посматрање таквог објекта потребан је велики телескоп.

7.42. Проксима из сазвежђа Кентаура је звезда најближа Сунцу; она је сателит сјајније звезде – α Centauri. У положају поред Проксиме космонаут, практично, неће променити свој положај у односу на друге звезде, са изузетком Сунца, саме Проксиме и α Centauri. Стога се може сматрати да је сјај (осветљеност) свих звезда остао исти, тј. променио се само за Сунце и α Centauri (Проксима нас не интересује). Пошто α Centauri припада истом типу звезда као и Сунце, а космонаут ће бити врло близу ње, вероватно је да ће она и бити најсјајнија звезда на његовом небу. Да проверимо.

Растојање између Сунца и alpha Centauri износи 1,33 pc, а њена привидна величина је $4{,}34^m$. Проксима се

налази на растојању од 1,27 pc од Сунца и види се под углом од $2{,}2^0$ од alpha Centauri. Према томе, њено растојање у пројекцији на небеску сферу од alpha Centauri ће износити 1,3 pc$\times(2{,}2^0/57{,}3^0)$ = 0,05 pc. Разлика растојања дуж визуре за ове звезде износи 1,33 pc - 1,27 pc = 0,06 pc. Дакле, растојање између њих у простору ће бити $(0{,}05^2 + 0{,}06^2)^{1/2} = 0{,}08$ pc. Тада ће привидна величина α Centauri бити једнака

$$m = M - 5 + 5\log r = 0 - 5 + 5\log 0{,}08 = -6{,}1.$$

Што се Сунца тиче, за њега ће бити

$$m_{sun} = M_{sun} - 5 + 5\log r = 4{,}7 - 5 + 5\log 1{,}27 = 0{,}2.$$

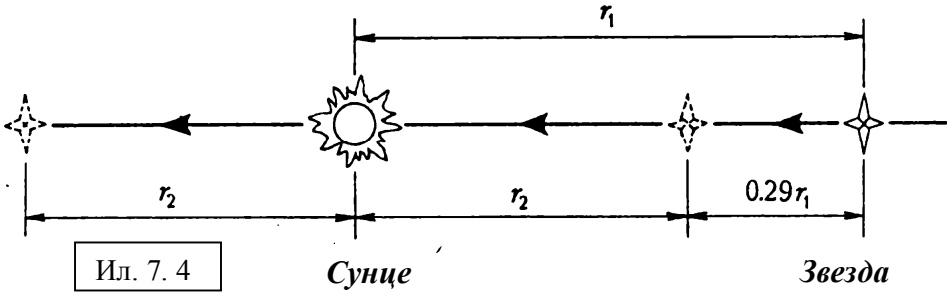
Као што видимо, наше наслућивање је тачно: alpha Centauri је најсјајнија звезда.
(***Коментар:*** *У оригиналу је дат погрешан резултат јер стављена вредност 0^m (што је привидна величина на Земљи) уместо првилног $4{,}34^m$ што је права апсолутна величина за α Centauri. Осим тога α Centauri је двојна звезда и сви подаци дати у задатку односе се на њену сјајнију компоненту (А); компонента В има апсолутну величину једнаку 5,7 и пошто су сви остали подаци исти за њу као и за компоненту А, следи да ће њена привидна величина за небо Проксиме да буде – 4,8, ове две компоненте су су на небу Проксиме размакнуте за око пет лучних минута. Дакле, закључак о томе која је најсјајнија звезда за небо Проксиме остаје на снази, али је исправно рећи да је то А компонента двојне звезде α Centauri. иначе, вредност од 4,7 коришћена у оригиналу за апсолутну величину Сунца би могла бити предмет спора јер се у литератури обично среће 4,8 али је та разлика сувише мала да би о њој вредело расправљати. прим. прев.)*

7.43. Апсолутна величина Сунца је $M_{sun} = 4{,}7$. Толика ће бити његова привидна величина на растојању од 10 pc. На растојању од 20 pc осветљеност Сунчевог зрачења ће се смањити четири пута, тј. за $1{,}5^m$ и Сунчева апсолутна величина ће достићи $6{,}2^m$. Ово је граница за нормално око и, према томе, 20 pc је гранично растојање са кога се може видети Сунце.

7.44. Осветљеност коју даје тачкасти извор светлости је обрнуто пропорционална квадрату растојања до њега, тј.

$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$ где су E_1 и E_2 осветљености на растојањима r_1 и r_2, респективно. С обзиром да је, према

услову задатка, $E_1/E_2 = 2$ налазимо $r_2 = \pm\frac{r_1}{\sqrt{2}} \approx \pm 0{,}71 r_1$. Знак „плус-минус" у формули показује да



Ил. 7. 4

ће звезда изгледати два пута сјајнија први пут када се њено растојање смањи до 0,71 r_1 и други пут када се оно поново повећа до ове вредности (Ил. 7.4), тј. пошто она пређе растојање од 1,71 r_1 (разуме се, ако се не судари са Сунцем!).

Следи да до прве тражене тачке звезда треба да пређе растојање од 0,29 r_1. Ово ће се догодити кроз

$$t_1 = 0{,}29 \times 5{,}6 \times C/V = 4390 \text{ година};$$

овде је $C = 3 \times 10^8$ ms^{-1} брзина светлости, а $V = 111$ kms^{-1} брзина звезде. До друге тачке звезда ће стићи кроз $t_2 = 1{,}71 \times 5{,}6 \times C/V \approx 26$ хиљада година.

7.45. Лако је да се нађе колико је пута осветљеност коју даје огледало на Земљи (E_2) мања од Сунчеве (E_1): према Погсоновој формули је

$$\log(E_1/E_2) = 0{,}4(m_2 - m_1) = 0{,}4(3 + 27) = 12,$$

где су m_1 и m_2 звездане величине Сунца и огледала, респективно. Следи да је

$$E_1/E_2 = 10^{12}.$$

Пошто се у огледалу види део Сунчеве површи, а растојање до Сунца је много веће него до Месеца,очигледно је да се у огледалу види 10^{-12} део површине Сунчевог диска (овде се занемарује потамњење диска према Сунчевој ивици). Дакле, угаони пречник округлог огледала ће да буде

једнак $\sqrt{10^{-12}} = 10^{-6}$ делу угаоног пречника Сунца (31'= 1860"), тј. он ће износити ($1{,}86 \times 10^{-3}$)". Сада се може израчунати стварни пречник огледала (d) узимајући у обзир да се оно налази на истом растојању као и Месец и да има веома мале угаоне димензије:

$$d = 3{,}84 \times 10^{10}\, cm \frac{\left(1{,}86 \times 10^{-3}\right)''}{206265''} = 346 cm,$$

где је 206265" број лучних секунди у једном радијану. Решење задатка показује да огледало сразмерно скромних димензија може да подражава довољно сјајну звезду на Месечевој површи. Размислите да ли се овакво огледало може искористити за пренос сигнала са Месеца на Земљу? А са путање Месечевог вештачког сателита?

7.46. Сјај сферног тела је пропорционалан површини његове површи и вредности албеда. Ако је стварна површина Фобоса $(10/7)^2 \approx 2$ пута већа, вредност албеда је два пута мања (7%).

7.47. Пошто се паралакса смањила четири пута, толико пута је порасло максимално растојање до проучених звезда, тј. полупречник сфере унутар које се оне налазе. Под претпоставком да је просторна густина звезда свугде иста налазимо да је запремина унутар сфере порасла $4^3 = 64$ пута, а број звезда достигао вредност од $165 \times 64 = 10\,560$.

7.48. Привидна величина звезде износи

$$m = M + 5^m \log \frac{r}{10\, pc} + A,$$

где је r растојање до ње, а A међузвездана апсорпција. Дакле
а) $m = M + 5^m \log r + 10^m$ ако нема апсорпције и
б) $m = M + 5^m \log r + 10^m + 3^m r$ ако је има и је изражено у килопарсецима.
Одавде је: а) r = 4 kpc б) r = 1 kpc.

7.49. Апсолутна величина Сунца је $+5^m$. Дакле, апсолутна величина јата је $+ 5^m - (5^m + 5^m + 5^m) = - 10^m$. Галаксија се налази милион пута даље од стандардног растојања (10 pc) и слабљење њеног сјаја ће бити 10^{12} пута или $(12/2) \times 5^m = 30^m$. Привидна величина јата износи $-10^m + 30^m = 20^m$ и недоступна је за телескоп.

7.50. Пошто су угаоне димензије Месеца и Сунца исте, онда гледајући у такво огледало могли бисмо у повољном положају да видимо цео Сунчев диск који се, практично, ничим не разликује од стварног (с тачношћу до 1% растојање „Сунце-Земља" се не разликује од растојања „Сунце - Месец - Земља"). Када би то огледало било успешно раширено тако да Сунчев одблесак доспе на Земљу, онда у средишту одблеска осветљеност Земљине површи би била као за време сунчаног дана. Међутим, са удаљавањем од средишта осветљеност би се смањивала пошто би се у огледалу видео све мањи део Сунчевог диска. Угаони полупречник одблеска за посматрача на Месецу би био $0{,}5^0$. Дакле,колико – толико осветљен на Земљи би био круг пречника (384 000/57,3) km = 6700 km.

7.51. Поредећи астероид са Месецом видимо да ће за остале једнаке услове он да одбија 100 пута мање светлости него пун месец ($\Delta m = 5^m$). Осим тога, он је 100 пута даљи од Сунца него Месец, тј. осветљеност његове површи је 10 хиљада пута мања ($\Delta m = 10^m$). Најзад, астероид је даље од Земље (99 AJ/384 хиљ. km) $\approx 4 \times 10^4$ пута више него Месец. Следи да ће његов сјај бити ослабљен још $1{,}5 \times 10^9$ пута ($\Delta m = 23^m$) . Добијамо разлику од $(5+10+23)^m = 38^m$ у поређењу са пуним месецом. Усвојивши за Месечев сјај - $12{,}7^m$ добићемо за очекивану привидну величину астероида $(38-12{,}7)^m = 25{,}3^m$ што је испод прага осетљивости телескопа. Астероид неће моћи да се види.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

8. АСТРОНОМСКИ ПРИБОРИ И ПОСМАТРАЊА

* * * * * □ * * * * *

8.1. Практично никако: лик муве се неће видети.

8.2. Половина објектива образује лик на исти начин као цео објектив, али прикупља два пута мање светлости. Због тога се Месечев лик неће променити, него ће једино да буде два пута мање сјајан.

8.3. Има неколико узрока:
1) приликом обраде површи огледала захтева се два пута већа тачност него приликом обраде сочива;
2) није постојала технологија алуминизације огледала, а метална огледала су лоше одбијала светлост и брзо губила својства;
3) поље вида рефлектора без аберације није велико. Како су се истраживали све слабији објекти, растао је пречник објектива, а сочива пречника већег од 1 m већ нису могла да издрже сопствену тежину и деформисала су се.

Осим тога, било је веома тешко да се направе апсолутно прозрачни, без икаквих дефеката, стаклени калупи за велика сочива. Због тога у XX веку пречници телескопа су расли на рачун огледалских система.

8.4. Основни системи: Њутнов, Касегренов, Грегоријев, Ричи-Кретјенов, куде (лакатни), Несмитов, Шмитов, Максутовљев, Ломоносовљев. Код великих телескопа увођењем додатних огледала се мења оптички систем ради решавања конкретних задатака. На пр. када се ради у главној жижи која се код највећих телескопа налази у посматрачкој кабини, а код телескопа средњих димензија изводи се уз помоћ њутновског огледала на бочну површ цеви, жижна даљина је најмања; ово је повољно за фотографисање великих делова неба.

Међутим, није добро да се тешка опрема смести на горњи део цеви јер се увођењем додатних огледала телескоп претвара у касегреновски, несмитовски или куде (лакатни), а опрема се, у складу с тим, намешта на доњи део цеви, на монтажи са стране или уопште непокретно у доњем делу куполе. Као последица, повећава се жижна даљина инструмента и преостаје могућност да се проучавају само један или више извора који се налазе близу нас.

8.5. Линије у спектру планете која се брзо обрће ће бити под нагибом према правцу спектра. Ивица диска планете која се приближава посматрачу резултоваће померањем једних крајева линија ка љубичастом делу спектра, а ивица која се удаљава померањем супротних крајева линија ка црвеном делу. У средишту диска нема никаквог помака спектралних линија. Радијална брзина ће бити пропорционална растојању од средишта диска (проверите, начинивши цртеж). Стога, линије под нагибом ће бити праве.

8.6. Примена Доплеровог принципа на спектар Сатурновог прстена је показала да делови прстена блиски планети имају већу брзину обилажења него они даљи. Када би прстен био непрекидна средина, слика би била обрнута.

8.7. За време пролећних посматрања Земља се, очигледно, кретала у смеру ка звезди, а у јесен у. супротном смеру. Радијалној брзини звезде се једном додавала, а други пут од ње одузимала брзина саме Земље. Половина разлике измерених радијалних брзина даје брзину Земље око Сунца. Том приликом сматрамо Земљину путању за кружницу. Множењем бројем секунди у једној години добићемо дужину Земљине путање, а дељењем тог износа са 2π добићемо растојање до Сунца.

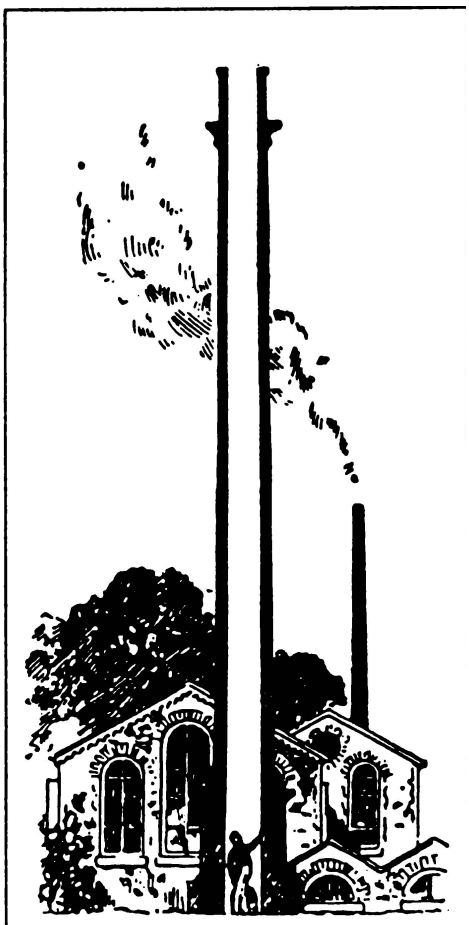
8.8. Пречник објектива је десет пута већи од ноћног пречника зенице и, према томе, коришћено увеличање је веће од нормалног увеличања зенице и у око доспева приближно 100 пута више светлости него без телескопа. Ово ће дати добитак од 5^m и оку ће бити доступне звезде приближно до 11^m . За раздвојну моћ ока са узимањем у обзира увеличања телескопа ћемо добити:

$\alpha_r = \frac{100''}{40} = 2{,}5''$ а дифракцијско раздвајање објектива

износи $\alpha_0 = \frac{14''}{6cm} \approx 2{,}3''$.

Дакле, реално угаоно раздвајање ће износити око 3". Пошто окулари, у зависности од њихове конструкције, имају поље вида од 20^0 до 40^0, поље вида телескопа, узимајући у обзир његово увеличање, може да буде од $0{,}5^0$ до 1^0. Такав телескоп је подесан за посматрање Месеца и планета, развејаних јата, многих двојних звезда, сјајних емисионих маглина и неких блиских галаксија.

8.9. Ради смањења топлотних турбулентних ваздушних струјања у цеви која деформишу Сунчев лик.



This illustration appeared in the 1899 edition of Sir Robert Ball's 1889 book Star-Land, with the caption "How the stars are to be seen in broad daylight."

8.10. Не, не виде се премда такво веровање постоји. Звезда може да постане видљива на небу само када је светлосни флукс који она шаље упоредив са флуксом из дела неба чије су угаоне димензије једнаке раздвојној моћи људског ока (100"). Телескоп може да побољша раздвојну моћ ока приближно до 2", тј. 50 пута (дневна атмосфера обично не даје бољи квалитет ликова). Дакле, том приликом се сјај неба смањује $50^2 = 2500$ пута и сјајне звезде и планете постају видљиве. Бунар може да смањи сјај неба само тада када посматрач који седи на његовом дну његов отвор види под углом мањим од 100". За пречник бунара од 1 m његова дубина треба да буде већа од 1 m/sin 100" = 2 km! Међутим, чак и тада посматрач ће да види само светлу тачку чији ће се сјај повећати за тренутак ако нека звезда прође кроз зенит.

Било је покушаја да се експериментално провери „ефект бунара". Тако је новинар листа „Комсомолска правда" Л. Рјепин у броју од 24. маја 1978. године написао: „Кажу да се и усред бела дана могу видети звезде на небу ако се спустимо у дубок бунар. Једном сам ја одлучио да проверим да ли је то тачно, спустио сам се у бунар дубине 60 m, а звезде нисам могао да видим. Само мајушни квадрат заслепљујуће плавог (као море) неба".

Са једнаким успехом предузимала су се слична посматрања коришћењем високих каминских и фабричких димњака: само сјајан делић неба је висио изнад главе узнемирених природњака.

Можемо само да нагађамо одакле потиче ово веровање. Могуће је да су, налазећи се на дну бунара, јаме или димњака, људи примећивали осветљена зрнца прашине на позадини тамних зидова? (Детаљније видети у часопису „Квант" , 1, 1994.)

8.11. W = 10g + N, где је g број група пега, а N број пега. Према томе, број група биће 10. О њиховом саставу на основу наведених података не може се ништа рећи; усамљена пега се такође сматра за групу.

8.12. У условима атмосферских подрхтавања квалитет лика може током кратког времена да достигне 0,2" - 0,3". Око лови овакве тренутке, а фотоплоча не. Квалитет лика звезда на опсерваторијама се указује у зависности од могућности фотографисања. За око он је у извесним тренуцима већи и, због тога, искусни посматрачи често користе велико увеличање у циљу разматрања детаља на лику баш у овим ретким тренуцима.

Други узрок је у томе што је за нека посматрања неопходно да се види атмосферски или дифракцијски диск звезде. На пр., то је потребно приликом рада са окуларним микрометром да би се конац тачно навео на средину диска.

Трећи узрок је неопходност увеличања нормалне зенице да се не губи светлост. Када се посматра кроз телескоп чији пречник износи 1,5 m, увеличање нормалне зенице износи 1500 mm/ $(5 \div 6)$ mm = $250 \div 300$.

8.13. У то време нису знали да израђују сложене ахроматске објективе, а да би прост објектив од једног сочива дао лик без различитих боја његова жижна даљина морала је да буде врло велика: тада је она достизала 40 m.

8.14. Очигледно, за време експозиције оптичка оса фотоапарата која се помера по Земљиној површи брзином сателита ($V_I \approx 8$ km/s) мора да пређе мање од 10 m. Следи да је потребна експозиција од $\Delta t < 10$ m / (8000m/s) $\approx$ 10 ms. За све ниске путање ова величина је иста.

8.15. Пошто је Маглина Краб практично прозрачна, могу да се посматрају како њени делови који се удаљавају, тако и они који се приближавају. Због тога доплеровско померање - плаво и црвено - раздваја линије у спектру. Брзина узајамног удаљавања ових делова је $V=C\ \Delta\lambda/\ \lambda = 2400$ kms^{-1}. Ако се претпостави да се истом брзином догађа и ширење маглине, одговарајућа угаона брзина ће бити V/D, а одатле је растојање до маглине R=V/(0.4"/год.). Наравно, пре израчунавања лучне секунде треба претворити у радијане, а године у временске секунде. Тада је R=1,2 kpc (По најтачнијим мерењима ово растојање је око 1,7 kpc.)

8.16. Пошто је угаона брзина кретања Месеца међу звездама једнака $\omega_{mes} = 360^0/28^d \approx 0{,}54'$/min. Тада је угаони пречник области $d=2^m \times \omega_{mes} \approx 1'$. Одговарајући линеарни ће да буде D = dR =0,5 pc. Наравно, нисте заборавили да претворите лучне минуте у радијане.

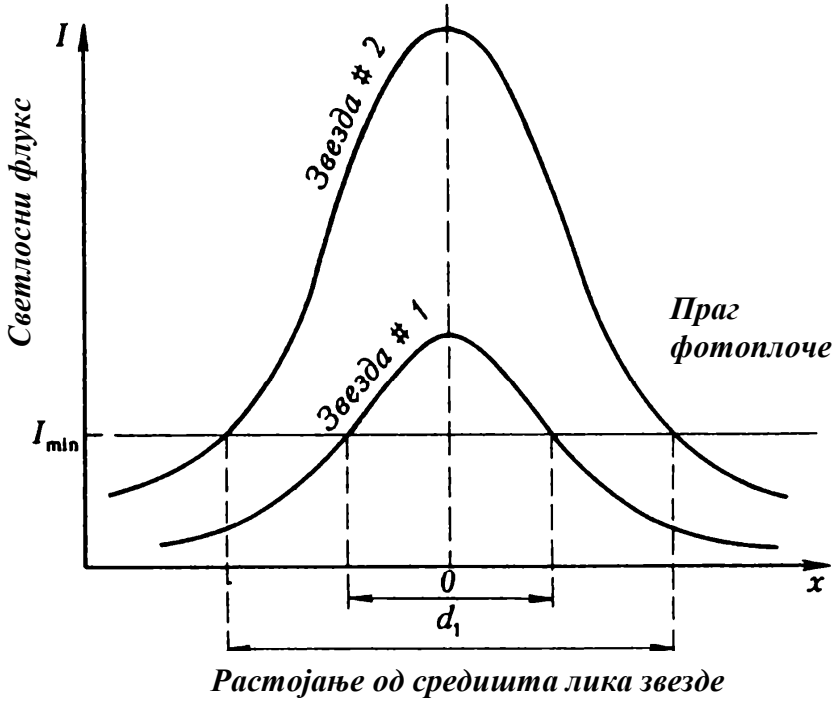
8.17. Код посматрања слабих звезда сметња је Земљина атмосфера. Прво, она упија светлост звезда слабећи је скоро два пута. Друго, атмосфера „разлива" слику и деформише лик звезде тако да практично тачкасти извор претвара у диск пречника $1'' \div 2''$. Ово је лоше јер, треће, ноћно небо није апсолутно тамно: оно сија због расејавања индустријске и градске светлости на честицама прашине услед хемијских реакција у горњој атмосфери и сл. Сјај ноћног неба на Земљиној површи приближно одговара зрачењу једне звезде од 21^m из дела небеске сфере од једне квадратне лучне секунде; на најбољим планинским опсерваторијама света он опада до 22^m/ кв. лучна секунда. Према томе, ликови звезда са $23^m \div 24^m$ се практично не разликују по сјају од суседних делова ноћног неба где нема звезда. Ово веома отежава њихово откривање са Земље: захтевају се велики телескопи и велике експозиције.

У космосу нема апсорпције светлости од стране атмосфере и сјај неба је приближно два пута мањи (остаје зодијачка светлост и зрачење далеких звезда Млечног пута). Међутим, оно главно је – тамо нема атмосферског подрхтавања и због тога ликови звезда могу да имају димензије проузроковане дифракцијом које за телескопе пречника 2-3 m износе свега 0,05". Такав део космичког неба светли као звезда привидне величине m = 29. Осим тога, трајање експозиције у космосу није ограничено трајањем ноћи на Земљи. Због свега тога, у космосу се могу регистровати слабије звезде него на Земљи.

8.18. Први телескоп није уопште подесан за таква посматрања јер је раздвојна моћ његовог објектива 14"/ 100 cm = 0,14" што је недовољно за раздвајање компонената Капеле. Раздвојна моћ другог телескопа је 14"/500 = 0,03". Да би се она искористила неопходно је да се овај угао повећа до вредности раздвојне моћи за око (100"), тј. 100/0,03 $\approx$ 3 хиљаде пута. За F=30 m за ово је потребан окулар жижне даљине f = 30 m/3000 = 1 cm. Јасно је да ако се жели да око види компоненте такве двојне звезде, онда се то може учинити само са космичким телескопом одговарајућих параметара који је изван утицаја атмосферских сметњи. На Земљи уз употребу специјалних интерферометријских метода било би могуће проучавање овог система (мерење

растојања између компонената, њихове оријентације и релативног сјаја), али не и да се он види оком.

8.19. Има неколико узрока због којих ликови добијени на емулзијама фотоплоча нису тачкасти, него разливени тако да им је сјај повишен у средишту и опада према ивицама:
а) атмосферско подрхтавање ликова изазвано кретањима нехомогеног ваздуха;
б) дифракција светлости у објективу телескопа;
в) аберација оптике телескопа;
г) расејавање светлости у фотоемулзији као у обичној мутној средини;
д) одбијање светлости од друге стране фотоплоче. Да би се ослабио последњи ефект на другу страну плоча се наноси антихало слој. Он упија светлост која је претходно прошла кроз емулзију и стакло. Када се плоча развија, антихало слој се спере.



Ил. 8.1. Расподела сјаја по лику звезде

Због овога расподела светлосног флукса по лику звезде личи на брег са стрмим врхом и благо нагнутим падинама (Ил. 8.1). С друге стране, фотографска емулзија има неки праг осетљивости, а такође и слабу равномерну позадину која је повезана са зрачењем неба и хемијским процесима у самој емулзији. Ово доводи до тога да се „нагнуте падине" на лику звезде не издвајају на емулзији. Знатно поцрњење изазива само сјајан део лика око средишта који се налази изнад одређеног прага (I_{min}). Ово подсећа на ситуацију са подводним брегом који се издиже изнад површи океана. У случају једне слабе звезде врх стоји ниже, али је облик падина исти као код сјајне. Према томе, пречник њеног „надводног" дела је мањи.

8.20. Максимална пропусна моћ достиже се за увеличање које није мање од зеничног, а оно је једнако односу између пречника огледала (D = 10 m) и пречника зенице (d = 6 mm) и износи 1700. Тада, формално флукс светлости звезде који доспева у око расте пропорционално $(D/d)^2$ и гранична величина ће бити

$$m = 6^m + 5\log\frac{D}{d} = 22^m .$$

Међутим, у стварности таква пропусна моћ не може да се достигне пошто за увеличање од 1700 пута лик звезде престаје да буде тачкаст за око. На опсерваторији на високој планини Мауна-Кеа, где је саграђен овај телескоп, димензије звезданих ликова, не ретко, достижу 0,3", т. ј. за увеличање веће од 350 пута пречник лика звезде је већи од раздвојне моћи ока. За нетачкасте објекте горекоришћена формула је непримењива јер се сакупљена светлост распоређује између многих елемената мрежњаче ока.

Ако се ограничимо на увеличања од 350 – 400, светлосни флукс који доспева у зеницу се смањује 20 пута у поређењу са формално израчунатим и гранична звездана величина ће бити реда величине 19^m. А када се још узму у обзир светлосни губици при одбијању од огледала и пролажењу кроз сочива окулара, проистиче да треба очекивати граничну привидну величину око $18{,}5^m$.

Лако је да се примети да се за задати квалитет ликова одређен износом атмосферског подрхтавања на месту где је телескоп постављен за визуално посматрање звезда постоји оптимални пречник објектива који даје максималну пропусну моћ. Даљи раст пречника не доводи до појачавања осетљивости јер додатна светлост, у сваком случају, пролази поред зенице. Дакле, треба очекивати да се на Мауна-Кеи може достићи $18{,}5^m$ и са 2-метарским телескопом.

Експерименти посредно потврђују наше прорачуне: на опсерваторији Маунт Паломар, где ликови обично нису бољи од 0,5", полази за руком да се са 5-метарским телескопом виде звезде до $17{,}5^m$. Ово се добро слаже са нашим расуђивањима (проверите, самосталним израчунавањем). Нажалост, досада нисмо имали информације о визуалним посматрањима са 10-метарским телескопом.

8.21. Космички. Чак на најбољим местима на Земљи атмосферске деформације не дозвољавају да се разликују детаљи мањи од 0,3" $\div$0,5" док космички телескоп има дифракциону раздвојну моћ једнаку 140"/D(mm) = 0,07".

8.22. Привидна величина ВЗС се мења због следећих разлога:
а) обртање сателита око своје осе, неопходно ради његове стабилизације или настало случајно, мења услове одбијања Сунчевих зраковаод површи ВЗС (ако она није сферног облика као код првог сателита);
б) прелаз са Земљине стране осветљене Сунчевом светлошћу ка њеној полусенци и сенци;
в) промена растојања до посматрача.

ВЗС је, практично, тачкаст објект, попут звезде, и према томе, његов сјај добијен из посматрања зависи само од пречника објектива прибора (ако увеличање није мање од зеничног и сва светлост коју је сакупио објектив доспева у зеницу ока). Због тога за посматрање ВЗС треба изабрати бинокулар: пречник његових објектива је већи, а увеличање је, практично, као код зенице (80 mm / 12 = 6,7 mm). Осим тога, поље вида бинокулара је веће и лакше је да се он покреће него телескоп. Ово је важно за посматрање ВЗС који брзо лете.

8.23. Угаона раздвојна моћ доброг телескопа изван атмосфере једнака је дифракционој: 14"/D (cm). Полупречник језгра комете износи око 10 km, дакле на растојању од 0,5 AJ оно ће се видети под углом од 206265" $\times$10 km/(0,5 AJ $\times$150 милиона km) = 0,03". Тада из једначине 14"/D = 0,03" налазимо минимални пречник телескопа: D = 4,7 метара. Оптички телескоп ове величине се још увек не планира за инсталисање на орбити око Земље.

8.24. Иако Месец нема атмосферу и расејана светлост дању практично не смета да се посматрају звезде, ипак се за људско око у нормалним условима не очекује да их види. Ствар је у томе да способност ока да региструје слабу светлост звезда настаје постепено са адаптацијом (навикавањем) на мрак. Сјајна Сунчева светлост на Месечевој површи учиниће око неосетљивим на слабу светлост звезда. Међутим, када би се употребио специјални заклон од сјајне површи, звезде би на Месецу морале да се виде дању.

8.25. Месечева површ је осветљена сјајном Сунчевом светлошћу. Према томе, када се на њој фотографишу објекти користећи нормалан филм (на пр. 200 јед. ГОСТ или ASA) неопходно је да се примењују кратке експозиције (приближно 1/1000 s за дијафрагму 1: 8). За тако кратке експозиције звезде не остављају трагове на негативу. Да би се оне фотографисале потребне су, минимално, експозиције реда величине секунде.

8.26. Телескопски павиљони се боје у бело зато да би одбијали што је могуће више Сунчеве светлости и да се не би загревали за време обданице. Тада се после заласка Сунца павиљон и телескоп, који се налази унутра, брзо охладе до ноћне вредности температуре ваздуха. Ово спречава настајање ваздушних струја од павиљона и топлотне деформације телескопа које би могле да покваре лик.

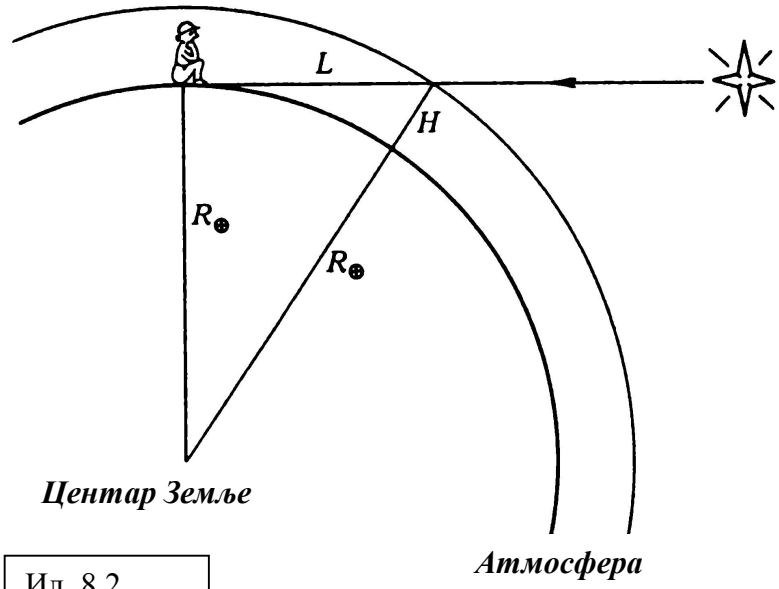
Не ретко за бојење купола се примењују специјална титанска белила која одбијају не само видљиву светлост него и инфрацрвено зрачење од Сунца. Такође се примењује и кондензација

ваздуха за време обданице испод телескопске куполе која спречава већи раст температуре. Веома је корисно ако је на простору око павиљона засађена шума или ако је он покривен водом: тада се неће загревати онолико јако као отворено земљиште. Ово је нарочито важно за посматрање Сунца.

8.27. Ово је ефект контраста: на ноћном небу пепељава Месечева светлост се види, а на сјајном небу за време обданице не. Штавише, за време потпуног помрачења небо у близини Месеца је довољно снажно осветљено од стране Сунчеве короне. Површински сјај унутрашњег дела Сунчеве короне је милијарду пута, тј.за $22{,}5^m$, слабији од сјаја Сунчевог диска (извор податка: „Справочник любителя астрономии" од П. Г. Куликовског, М., Наука, 1971, стр. 71). Усвојивши да привидна величина Сунца износи - $26{,}5^m$, а његов угаони пречник $0{,}5^0$, добићемо да је површински сјај Сунчевог диска приближно једнак $-27{,}5^m/\square^0$. Дакле, Сунчева корона има сјај $-5^m/\square^0$. Упоредите ово са сјајем ноћног неба ($4^m/\square^0$) и схватићете зашто се на позадини короне Месечева пепељава светлост никако не манифестује.

А сада, да кажемо реч-две о пиратима. Као што је познато, они су се опредељивали да нападају трговачке бродове са стране осветљене Сунцем да би дуже остали непримећени и да би дезоријентисали посаду брода – жртве. Због тога су њихова једра изгледала тамна у контрасту са сјајним небом и заслепљујућом Сунчевом светлошћу. Међутим, уопште једра која нису бела, а нарочито црна, имају предност за лаке бродове који се брзо крећу: она се јаче загревају на Сунцу и брже се суше и постају лакша. Нажалост, материјал за једра на ветру и сланој води брзо губи боју и постаје бео.

8.28. У затворену просторију не продире никаква светлост. Тамо је апсолутан мрак. Ноћу, штавише без месечине, на Земљу доспева светлост звезда, зрачење атмосфере, зодијачка светлост и све то осветљава површ планете 200 пута слабије од пуног месеца (види задатак **7.20**), што се у потпуности може осетити. Облаци, који се састоје од капљица воде, углавном расејавају, али не упијају светлост и према томе слој облака, који није врло дебео, слабо смањује осветљеност Земљине површи коју даје ноћно небо. Друга ствар је џиновски облак пепела који се уздиже изнад Земље услед вулканске ерупције. Он веома јако заклања светлост. Разуме се, треба узети у обзир и психолошки чинилац.



Ил. 8.2.

8.29. Представићемо атмосферу као хомоген слој ваздуха дебљине H (Ил. 8.2). Тада ћемо пут који је светлост прешла при посматрању близу хоризонта (L) наћи из Питагорине теореме:

$$L^2 = (R_\oplus + H)^2 - R_\oplus^2 = R_\oplus^2\left[\left(1+\frac{H}{R_\oplus}\right)^2 - 1\right]$$

Користећи Њутнову биномну формулу за мале α

$$(1+\alpha)^n \approx 1 + n\alpha$$

добићемо

$$L^2 \approx R_\otimes^2\left(1+\frac{2H}{R_\oplus}-1\right) \text{ или } L^2 = 2HR_\oplus$$

$$\text{или } \frac{L}{H} \approx \sqrt{\frac{2R_\oplus}{H}}$$

Уколико је H<< $R_\oplus$, таква једнакост се може сматрати тачном. Као што је познато, атмосфера је нехомогена: њена густина опада са висином. Међутим, сав ваздух је практично концентрисан у доњем слоју дебљине H = 8 km који носи назив дебљина хомогене атмосфере. Тада је

$\frac{L}{H} = \sqrt{\frac{2 \times 6371}{8}} = 40$ тј. дужина пута светлосног зрака кроз ваздух при посматрању звезда близу хоризонта је 40 пута већа него у зениту. Следи да ће у фотографском делу спектра апсорпција близу хоризонта да износи $40 \times 0{,}45^m = 18^m$. Џиновски износ! И то још без узимања у обзир рефракције.

8.30. Зато што линије у спектру нису ништа друго него монохроматски ликови улазног прореза спектрографа. Ако је прорез закривљен, и линије ће бити криве. Код спектрографа без улазног прореза (има и таквих, на пр. небуларни спектрограф) облик „линија" је још сложенији и повезан је са обликом проучаваних објеката. Ако се са таквим прибором добија спектар планетарне маглине, уместо линија у њему ће бити низ ликова ове маглине у једној боји - црвени, зелени, плави, ... ***(Погледати приручничке податке страна 163,*** *прим. редактора)*

8.31. Моћи ће ако се њихова звезда налази близу равни еклиптике. Главни утицај на Сунце врши Јупитер. Они обилазе око заједничког центра маса: Јупитер брзином од 13 kms^{-1}, а Сунце, са своје стране, брзином

$$V_{sun} = V_{jup} \times M_{jup}/M_{sun} = 13m/s.$$

Ако латитуда „браће" износи β, пројекција Сунчеве радијалне брзине на њихову визуру ће бити 13 $ms^{-1}\cos\beta$. Дакле, ако је $\beta \geq 40^0$, они неће моћи да примете периодично кретање Сунца.

8.32. Одредићемо дифракциону раздвојну моћ објектива и размер лика у њиховој жижној равни:
а) раздвојна моћ α = 14"/D(cm) = 14"/35 = 0,4". Ово је довољно да се раздвоје компоненте двојне звезде. Размер је μ = 206 265"/F= 206 265"/4m= 0,05"/mkm. (1m = 10^6 mkm – микрометара). Дакле, на једном зрну фотоемулзије које ограничава раздвојну моћ фотоплоче имаћемо лик величине 30 mkm×0,05"/mkm = 1,5". Следи да ће ликови обе компоненте да падну на једно зрно емулзије и неће бити фотографисани одвојено. Такав телескоп не одговара сврси.
б) Раздвојна моћ α = 14"/10(cm) = 1,4". Ово није довољно за раздвајање компонената премда је жижна даљина телескопа, као што је лако да се провери, довољно велика да се звезде представе одвојено на фотоплочи. Дакле, оба телескопа не одговарају за дату сврху.

8.33. Практично целокупна маса нашег планетног система је концентрисана у Јупитеру. Због тога у задацима овог типа може да се разматра двојни систем Сунце – Јупитер чије компоненте обилазе око заједничког центра маса. Растојање Сунца од центра маса је $r_{sun} = r_{jup}M_{jup}/M_{sun}$, где је r_{jup} растојање Јупитера од центра маса које се практично поклапа са полупречником његове путање (5,2 AJ). Тада ће амплитуда угаоног померања Сунца при посматрању са α Кентаура за растојање до те звезде једнако D да буде

$$\alpha = 206265'' \frac{r_{sun}}{D} = \pi\, r_{sun}[AJ] = \pi\, r_{jup}[AJ]\frac{M_{jup}}{M_{sun}}$$

Ако је $M_{sun}/M_{jup} = 1000$, добићемо α = 0,751×5,2/1000 = 0,004". Дакле, астрономи из система α Кентаура неће моћи да сазнају да Сунце има планете.

8.34. Земљина атмосфера прелама светлосне зраке који падају на њу, мења њихов правац и у овоме се и састоји ефект атмосферске рефракције. Неопходно је да се рефракција узима у обзир приликом мерења положаја небеских тела на небу. Пошто рефракцијски угао расте са порастом зенитне даљине тела, деформише се не само правац, него и облик нетачкастих објеката: близу хоризонта Сунчев и Месечев диск изгледају спљоштени дуж вертикала где је нарочито јако спљоштен доњи крај. Рефракција доњих крајева дискова ових небеских тела близу хоризонта је за скоро за 6' већа од рефракције горњих крајева, док је димензија паралелно хоризонту непромењена. Због овога дискови добијају изглед кифле.

Уопште, степен рефракције зависи од таласне дужине светлости: плави зраци се преламају јаче од црвених. Због овога рефракција раздваја монохроматске ликове објеката (као спектроскоп). Са овим је повезан интересантан ефект зеленог зрака за време заласка Сунца. Када црвени Сунчев лик већ зарони под хоризонт, услед рефракције изнад хоризонта се још увек види део модро-

зеленог лика небеског тела. Међутим, небеско-плави зраци се расејавају у атмосфери и не долазе до нас. Остају само зелени. У тренутку пред сам залазак за хоризонт Сунчев крај постаје сјајно зелен.

8. 35. Разуме се не. Када не би било атмосферског разливања ликова звезда и дифракције светлости у објективу телескопа, видели бисмо све звезде одвојено, чак и у средишту најгушћих јата. С обзиром да је просторна концентрација звезда у околини Сунца реда величине 0,1 pc^{-3} (тј. 1 звезда у 10 кубних парсека), а у средишњим деловима збијених јата реда величине 10^5 pc^{-3}, видимо да је просечно растојање између две звезде у јатима свега $(10^5/10^{-1})^{1/3}$ = 100 пута мање него у Сунчевој околини. Дакле, међузвездана растојања се тамо мере не светлосним годинама, него светлосним недељама што је такође чудовишно много.

8.36. Минималне димензије детаља, који се виде кроз телескоп, одређује, по правилу, не моћ увеличавања окулара, него квалитет атмосфере и објектива телескопа. Ако се повећа ова моћ окулара, само ће се смањити поље вида телескопа, смањиће се његова пропусност, али се неће побољшати квалитет лика. У суштини, телескопски окулар и јест микроскоп (или сложена лупа - није ствар у називу) за разматрање лика кога образује објектив у жижној равни. Међутим, задатак окулара није само у томе да увелича лик, него и да спречи губитке светлости и да не самњује видно поље.

8.37. За време посматрања Сунчева пега се, практично, неће померити, док ће се планета за време од неколико минута знатно померити преко Сунчевог диска. Треба да се примети да је на основу спољашњег изгледа тешко да се разликује мања округла пега без полусенке од диска планете. Баш трагајући за планетом која се, према претпоставци, могла да налази унутар Меркурове путање, немачки астроном Хајнрих Швабе (1789-1875) је систематски током 43 године исцртавао положаје пега на Сунчевој површи. Нову планету није открио, али је приметио 11-годишњу периодичност у појављивању пега.

8.38. Пошто експозиција обично траје до појаве слабе позадине неба на фотоплочи, на Месецу ће бити могуће да се експозиција повећа два пута и, у складу с тим, да се региструје два пута више светлости од истих звезда. Друга предност је добар квалитет ликова на Месецу који омогућује да се концентрише светлост звезде у мањи кружић (у границама дифракционе раздвојне моћи и димензија зрна фотоемулзије). Ово повећава контраст лика и дозвољава да се уоче слабе звезде. У целини, може се очекивати да на Месецу исти телескоп постане осетљивији за више од 1^m.

8.39. Пошто поларна оса телескопа мора да буде паралелна Земљиној обртној оси, тј. небеској оси, уопште нема потребе да се врши поправка правца: прецесија не утиче на њихов узајамни положај.

8.40. Да се детаљ угаоних димензија α једнаких добије на снимку, објектив мора да задовољи дифракциони услов:

$\frac{14''}{D(cm)} < \alpha$ У нашем случају је D пречник отвора камере-обскуре. Други услов ограничава дужину камере (тако рећи њену „жижну даљину"). Међутим, димензије лика пеге морају да буду веће од пречника отвора јер ће, у противном, ликови суседних сектора доспети на лик пеге. Ако се α изрази у радијанима, биће

$$\alpha F > D.$$

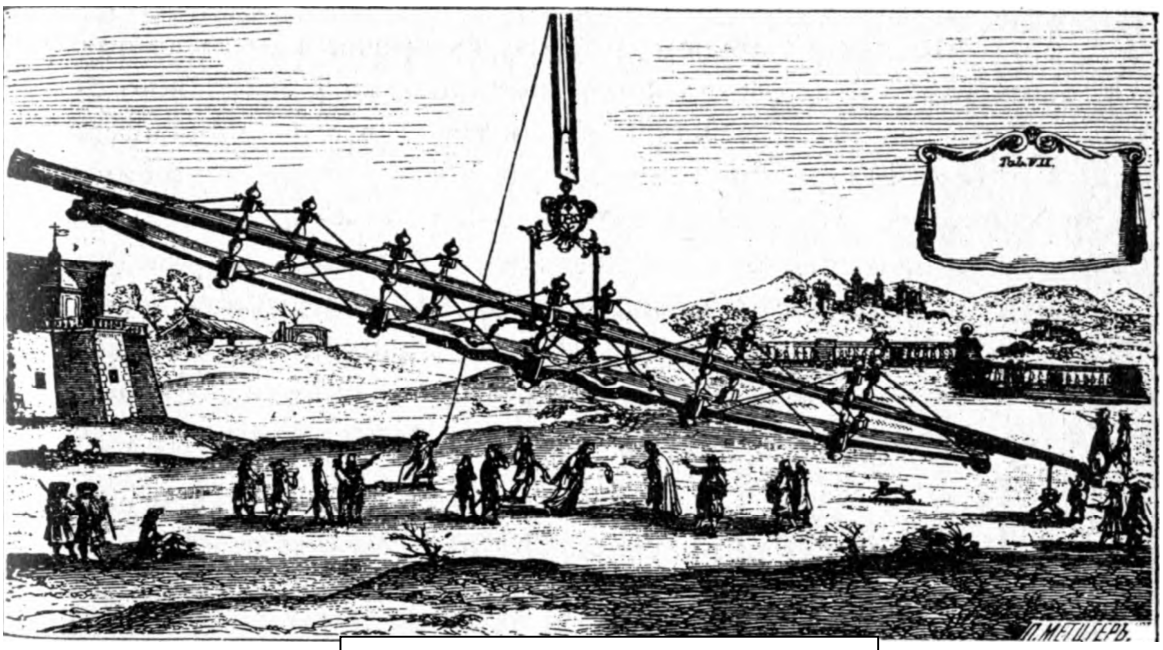
За α = 2' из првог услова се добија D > 1 mm, а из другог F>1,7 m. Камером-обскуром са таквим параметрима, у принципу, се могу фотографисати само врло крупне пеге на Сунцу. Покушајте сами да одредите трајање експозиције.

8.41. У принципу је могуће. Нека су D и F пречник и жижна даљина сабирног сочива. Оно даје у жижној равни реалан лик који може да се разгледа оком без окулара са растојања најбољег вида (s = 20 ÷25 cm). Очигледно је да ће притом угаоно увеличање да буде F/s. За увеличања од 50 пута

потребно је сочиво са F ≈ 12 m. Видно поље таквог телескопа ће бити једнако угаоном пречнику сочива подељеном са увеличањем телескопа, тј.

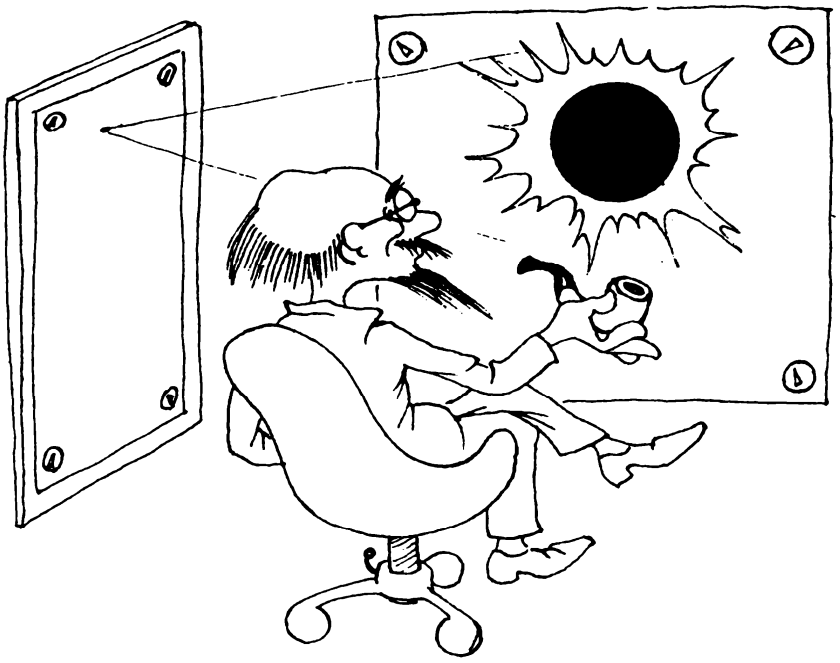
$\alpha = \left(\frac{D}{F}\right) : \left(\frac{F}{s}\right)$ у радијанима. У лучним минутима ово ће да износи $\alpha = 3438' \frac{Ds}{F^2}$

Према услову задатка је α = 10' и зато је неопходно сочиво пречника D =180 cm. Таква сочива не постоје. Ако се ограничимо на сочива чији је пречник $15 \div 20$ cm, видно поље ће да буде око 1'. Ово је у потпуности довољно за проучавање планета и других мањих сјајних објеката, али руковање оваквим телескопом није нимало лако (Ил. 8.3).



Ил. 8.3. Ево, такав је велики телескоп!

8.42. Може са Меркура јер ће угаоне димензије пеге (2,6') да надмаше раздвојну моћ ока. Са Марса не може; мале су угаоне димензије пеге (0,66'). Са Венере такође не може; због њене облачне атмосфере тамо се ништа не види.



Ил. 8.4.

8.43. Могу се предложити бар два начина (оба је испробао аутор овог зборника). Начини се мали отвор на листу хартије оштро зарезаном оловком који се може користити као дијафрагма за визуално посматрање Сунца. Када је пречник отвора једнак 0,3 mm, Сунчев сјај ће бити ослабљен скоро 100 пута.

Други начин је да се начини мало већи отвор, 1-2 mm и да се пројектује Сунчев лик на зид собе по принципу камере-обскуре (Ил. 8.4). Том приликом се могу за посматрање помрачења позвати и други теоретичари: димензије лика у центиметрима ће бити једнаке дужини собе у метрима.

8.44. Разлика од 20^m смањује флукс фотона 10^8 пута. Време експозиције (3600 s) и површина објектива ($\pi D^2/4$ =7854 cm^2) повећавају га 3600 $\times$7854 = 2,8 $\times 10^7$ пута (не узимају се у обзир губици у оптици). Према томе, на плочу доспева 0,28 $\times 10^6$ фотона.

8.45. Усвојићемо за ноћни пречник зенице вредност од 6 mm. Тада њена површина износи $\pi d^2/4$ = 0,28 cm^2 . Дакле, за 0,1 s од звезде 8^m у око доспе

$$N = \frac{10^6\ fot.s^{-1}cm^{-2} \times 0{,}1s \times 0{,}28cm^2}{2{,}512^8} = 18\ fotona.$$

Пошто је ово најмања количина фотона способна да изазове надражај мрежњаче, који се може осетити, квантна ефективност ока износи 1/18 ≈ 6%. Разуме се, ово је веома приближна оцена која је тачна само по реду величине.

8.46. Нека је D пречник објектива, d пречник зенице ока, s пречник излазне зенице телескопа и W угаоно увеличање телескопа. Могућа су два случаја:
а) Увеличање није мање од увеличања „равне зенице": W $\geq$ D/d. Тада телескоп увеличава светлосни флукс кроз зеницу $(D/d)^2$ пута, а површина лика на мрежњачи се повећава W^2 пута. Дакле, осветљеност површи лика ће се променити

$$(D/d)^2/W^2 \leq 1.$$

б) Увеличање је мање од увеличања зенице. Тада у зеницу ока не доспева сва светлост коју је сакупио телескоп, него само $(d/s)^2$ од њене укупне количине. Пошто је s = D/W, промена светлосног флукса кроз зеницу износи $(D/d)^2(dW/D)^2 = W^2$, док је промена осветљености лика на мрежњачи једнака W^2/W^2 =1.

Дакле, доказали смо да приликом посматрања нетачкастог објекта телескопом његов привидни површински сјај не расте, а када се узму у обзир губици светлости у оптици, чак се смањује. Зашто онда, када посматрамо слабе маглине двогледом или телескопом, ми њих видимо знатно боље него голим оком? Зато што, не мењајући или, штавише смањујући, сјај маглине, оптички прибор повећава њене угаоне димензије. Као последица лик се пројектује на периферне секторе мрежњаче који су осетљивији на светлост него њена средишња област (сетите се ефекта гледања са стране).

8.47. Око је знатно паметније од фотоплоче (део је нашег мозга). На неки начин око је као биоскопска камера: оно начини око 10 кадрова у секунди и мозак међу њима бира најбољи. Због тога оно што око види одговара најбољим условима видљивости који могу да наступе не за дуго време у процесу посматрања. Међутим, гледање је субјективно: мозак се меша у процес посматрања и може да „доцрта" које-какве непостојеће детаље. Пример за ово су канали на Марсу. Због тога визуална посматрања планета астрономи узимају са дозом опрезности. Фотографија је, међутим, објективан документ. Последњих година посматрање планета се обавља са електронским пријемницима светлости (ПЗС-матрице – енг. *CCD* — Charge-Coupled Device) и анализа ових посматрања на рачунарима је омогућила да се примакнемо могућностима ока, а да притом сачувамо објективност фотографије.

8.48. Као што видимо, једино суштинско ограничење може да буде пропусна моћ телескопа, неопходна да би се посматрала слаба компонента. Ако се за граничну привидну величину усвоји $m_{lim} = 12{,}5^m$ и знајући да је

$$m_{\lim} = 6^m + 5^m \log\frac{D}{6mm} = 12{,}5^m,$$

налазимо D=12 cm. Дакле, за посматрања је неопходан телескоп чији објектив има пречник већи од 5 инча.

8.49. Оценићемо угао за који се може померити јато за време док се сигнал преноси (Δ t = r/C):

$$\alpha = \Delta t\frac{V}{r} = \frac{V}{C}$$

где је V компонента брзине јата нормална на визуру, а r је растојање до јата. С друге стране, угао

дивергенције визуре се одређује условом дифракције: $\beta = \lambda/D$
Да се јато за време преношења сигнала не би нашло изван граница визуре треба да буде испуњен услов $\beta > \alpha$, одакле је

$$V < \frac{\lambda C}{D} = 200 \text{ kms}^{-1} .$$

У коликој мери је за збијена јата овакво ограничење брзине озбиљно? Да се ово питање реши појединачно за свако јато још увек није могуће: за разлику од радијалне компоненте брзине лако измерљиве на основу доплеровског помака линија у спектру, тангенцијалне компоненте се мере само уз помоћ астрометријских метода и познате су засада само за најближа јата и то са врло малом тачношћу. Због тога наше расуђивање ће ићи овако.

Добијено ограничење брзине се, практично, подудара са вредношћу кружне брзине у диску Млечног пута, а збијена јата се у већини случајева крећу по елиптичним путањама и већи део времена проводе у области апоцентра, са брзином мањом од кружне. Осим тога, тангенцијална компонента брзине је мања од просторне. Због тога са високим степеном вероватноће се може закључити да било које јато задовољава нађени услов и не захтева се слање сигнала под неким углом ка садашњем правцу према јату.

8.50. Пошто тачност мерења за величине A и B износи δ = (A или B) $\times 1\% \approx 1$, таква грешка се одржава у разлици (A-B), али одговарајућа релативна грешка ће већ да буде $\Delta = \frac{\delta}{A-B} = \frac{1}{10} = 1\%.$ Одавде следи да ће тачност израчунате вредности (A-B) бити 10%.

8.51. Тачност мерења таласне дужине износиће, респективно,
1) $\Delta\lambda$ = 0,02 mm $\times$200 Å /mm = 4 Å
2) $\Delta\lambda$ = 0,02 mm $\times$1 Å /mm=0,02 Å
Пошто се радијална брзина одређује према Доплеровој формули:
$\frac{V}{C} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_{0,}}$ узимајући у обзир грешке мерења можемо да је препишемо овако:

$$\frac{V \pm \Delta V}{C} = \frac{\lambda \pm \Delta\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \qquad \text{одакле се добија:} \qquad \frac{\Delta V}{C} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

Ако је λ_0 = 4000 Å, имамо:
1) ΔV = 300 000 kms^{-1} $\times$4 Å /4000 Å = 300 kms^{-1},
2) ΔV = 300 000 kms^{-1} $\times$0,02 Å /4000 Å = 1,5 kms^{-1},

8.52. Овај задатак се може решити само уз неколико упрошћавајућих претпоставки. Прво, сматраћемо да када се повећа експозиција 2,512 пута на фотоплочи ће се регистровати звезде сјаја слабијег за 1^m. Уопште, ово је могуће само онда када се небо још увек не региструје на плочи и ако експозиција и осветљеност могу да замењују места. У стварности за фотоплоче важи Шварцшилдов закон који успоставља везу између осветљености и експозиције ради постизања одређене густине негатива. На пример, да се померимо за 1^m у област слабих звезда треба да се повећа експозиција не 2,512, него око 3 пута. Међутим, ми ћемо следити најједноставнију претпоставку усвојену напред.

Сада је неопходно да се оцени колико пута се повећава број звезда на небу када се снизи граница сјаја за 1^m. Из фотометријског закона обрнутих квадрата добија се да за звезде фиксиране луминозности смањење сјаја од 2,512 пута значи удаљавање од посматрача $2{,}512^{1/2}$ пута. Том приликом запремина простора и број посматраних звезда, ако га оне испуњавају хомогено, се повећава $2{,}512^{3/2} \approx 4$ пута. Ова вредност и представља решење задатка. Истини за вољу, у стварности међузвездана апсорпција нешто мало смањује стварни број звезда које се посматрају на великим растојањима. Сви ови узроци имају за резултат да када се експозиција повећа 2,5 пута, број звезда на плочи се повећа приближно три пута.

8.53. С обзиром на нагиб Месечеве путање према еклиптици ($5{,}3^0$), дневну Месечеву паралаксу (1^0) и његов полупречник (0,25') може да се израчуна ширина траке на небеској сфери у којој се, у принципу, види Месец из различитих тачака на Земљи:

$$L=2\times(5{,}3^0+1^0+0{,}25^0)=13{,}1^0.$$

Површина ове траке која опасује небеску сферу износи $L\times 360^0=4716\square^0$, а површина небеске сфере је $4\pi(57{,}3\ldots)^2=41253\square^0$. Према томе, само 4680/41253=11,4% неба је доступно за метод Месечеве окултације. То је, иначе, врло захвалан метод, и то за астрономију у свим областима спектра – од рендгенског до радио и зато су тих 11% неба проучени далеко више него осталих 89% које Месец не посећује.

8.54. Судећи по великој дебљини звезданих трагова и малим димензијама репа у односу на главу комете размер снимка је довољно велик. Јасно је да за 1 час експозиције трагови звезда у случају непокретне камере би постали знатно дужи. Такође и лик комете изгледа доста оштар, а не разливен услед дневног кретања неба. У чему је ствар?

Разуме се, телескоп је пратио обртање небеске сфере и када би комета остала непокретна у односу на звезде, астрономи се не би мешали у рад телескопа и звезде на снимку би изгледале као тачке. Међутим, комета се у свом орбитном кретању помера у односу на звезде и према томе астроном уз помоћ допунског телескопа-тражиоца пажљиво прати њен положај током експозиције и мало мења кретање телескопа (води га) тако да се лик комете не помера на фотоплочи. Зато се померају звезде.

Оценићемо угао овог померања за време експозиције ($t=1^h$). Према ефемериди Халејеве комете можемо да одредимо да је током децембра 1985. г. она отишла од Марсове путање ка Земљиној. Дневна промена њених екваторских координата је износила:

$$\Delta\alpha=7^m \text{ и } \Delta\delta\approx 0{,}5^0,$$

што даје за дневно кретање $(\Delta\alpha^2+\Delta\delta^2)^{1/2}\approx 2^0$. Дакле, за време експозиције комета се померила у односу на звезде за $2/24^h=5'$. Уосталом, чак и да немамо ефемериде комете при руци, лако се може оценити колико се она померила. Сразмерно развијен реп настаје код комета на растојању од Сунца реда величине 1 АЈ. Такав ред величине ће имати и њено растојање од Земље ($d\approx 1$ АЈ), а за брзину комете се може усвојити $V\approx 50\ \text{kms}^{-1}$. Тада њено померање за време експозиције ће да износи (у лучним секундама)

$$\alpha=206265''\frac{Vt}{d}\approx 250''\approx 4'$$

Као што видимо, резултати се практично не разликују и уверавају нас да је до померања ликова звезда на фотоплочи дошло због вођења, тј. праћења комете, а не услед дневног обртања Земље, као што је сматрао новински извештач.

Међутим, довољно пажљив читалац ће сигурно да постави питање: „Нису само комете него и остали објекти Сунчевог система који се померају на звезданом небу. Зашто, онда, на њиховим фотографијама не видимо трагове звезда?" Ствар је у томе што су планете веома сјајне и имају мале угаоне димензије. Зато њих фотографишу са кратким експозицијама и малим видним пољем. Слабе звезде се на таквим снимцима не појављују, а сјајне скоро никада се ту не налазе. Зато на фотографијама планета ми скоро никада не видимо звезде. Међутим, ако се и догоди да се оне тамо нађу, због кратке експозиције не треба водити телескоп и ликови звезда ће да буду тачкасти. Када се фотографишу астероиди такође се ретко примењује вођење пошто, баш померање астероида у односу на звезде, омогућује да се он открије. Такође, зато што се облик астероида не може видети њихови издужени трагови дају не мање информација него тачкасти ликови. На тај начин, по правилу, само када се фотографишу комете астрономи померају телескоп у односу на звезде док траје експозиција.

8.55. Најпре да одредимо шта се уствари посматрало. Угаоне димензије пеге ћемо наћи на основу њених објављених димензија на растојању Месеца: $\alpha=(20\ \text{km}/384000\text{km})\times 206265=11''$. Чак да је видеокамера имала телеобјектив са видним пољем од 1^0, њена раздвојна моћ при разлагању лика

на 600 редова би износила 6", тј. објект би практично био тачкаст и не може се судити о његовом облику. И више од тога, приликом мерења угаоних димензија лика сасвим је било могуће да се начини грешка која даје вредност два пута већу од стварне. Сада да одредимо угаону брзину:

$$V = 3438' \times \frac{200km/s}{384000km} = 2' s^{-1}.$$

Јасно је да је немогуће постићи кретање око Месеца брзином од 200 kms^{-1}: сувише брзо! Да проверимо неколико хипотеза које су озбиљније од НЛО. На пр., ВЗС, авион, птица и аеростат. Претпоставивши карактеристичне димензије ових објеката (L) и усвојивши вредности које смо нашли за α и V, израчунаћемо њихову линијску брзину (W) и растојање (D):

	ВЗС	Авион	Аеростат	птица
L (m)	3	30	3 ÷ 20	0,5 ÷ 2
D (km)	62	620	62 ÷ 410	10 ÷ 40
W (m/s)	36	360	36 ÷ 240	6 ÷ 24

Дакле, за сателит је сувише ниско, за авион сувише високо. Мањи аеростат (балон-сонда) би могао, вероватно, да се подигне на висину од неколико десетина километара и да лети брзином ураганског ветра. Међутим, ово ипак изгледа мало вероватно. Птица, то је, већ, друга ствар. За птицу средњих димензија са распоном крила од 0,5 m лет на висини од неколико километара, брзином од неколико метара у секунди, је обична ствар. Било који астроном-аматер може да вам исприча немало случајева када је на његове очи птица прелазила преко Месечевог или Сунчевог диска, или чак цело јато птица летачица. Премда аутор ове збирке себе сматра теоретичарем, и њему, не једном, се догађало да посматра нешто слично. Угаоне димензије птица том приликом нису биле веће од 10" ÷ 15". На добром телескопу се оне могу идентификовати без тешкоћа. Видеокамера, међутим, то не може.

8.56. Чак и када се посматра кроз телескоп Орионова маглина има врло низак површински сјај, а људско око је у режиму „ноћног" виђења, тј. светлост се прима преко штапића који нису осетљиви на боје (за јаку светлост раде чепићи, осетљиви на боје). Фотоплоча, која акумулише светлост, способна је да, више или мање верно, пренесе боје лика.

Узрок разнобојности Орионове маглине је у различитим условима побуђивања и јонизације њених различитих делова. У зависности од близине извора јонизације и загревања гаса - масивних врелих звезда - мења се температура гаса и састав његових јона. Сваки атом или јон има своје карактеристичне линије зрачења: црвена линија водоника, зелена линија кисеоника, итд. Због овога у различитим деловима ове маглине преовлађују различите боје.

8.57. Површина објектива је порасла $6 \times (3/2)^2 = 13{,}5$ пута. Дакле, исто толико пута се може скратити експозиција: 20/13,5 = 1,5 минута.

8.58. Флукс оптичког зрачења Сунца знатно надмашује флуксеве свих осталих небеских тела. Због тога, чак и мањи део Сунчеве светлости, који расејава Земљина атмосфера, је довољан да небо буде сјајно и да се на њему не виде друга небеска тела. Само се Месец и Венера могу приметити на дневном небу голим оком, а уз помоћ телескопа могуће је да се региструје још стотинак најсјајнијих звезда. Међутим, да се оне проучавају дању, није могуће; сувише је сјајна позадина.

За разлику од оптичког, Сунчев радио-флукс у близини Земље је у потпуности упоредив са флуксевима који долазе од многих других космичких извора. Осим тога, радио-зрачење се знатно слабије расејава у Земљиној атмосфери него оптичко (ефективност рејлијевског расејања у ваздуху је сразмерна λ^{-4}). Због свега овог дневно „радио-небо" је релативно тамно и није препрека за посматрања у радио-области.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

9. КРЕТАЊЕ КОСМИЧКИХ ТЕЛА

* * * * * □ * * * * *

9.1. Не, неће моћи. Свудаход мора да се креће брзином која није већа од прве космичке. У противном, он ће да се отргне од површи и да изгуби упориште. Наћи ћемо време облетања астероида на ниској путањи са овом граничном брзином:

$T = \frac{2\pi R}{V_I} = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$ Узећемо у обзир да се густина астероида изражава овако: $\rho = 3M/4\pi R^3$. Тада је

$$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$$

Ово је врло важна формула. Она показује да време обиласка по ниској путањи зависи не од димензија тела које привлачи, него само од његове средње густине. Када се траже бројне вредности добро је да се запамти да је за нисколетеће Земљине сателите T=1,5 часова, а густина Земље је 5,5 gcm^{-3}. Тада за планету, чија је густина ρ, добијамо:

$$T = 1{,}5h\sqrt{\frac{5{,}5g/cm^3}{\rho}} = \frac{3{,}5h}{\sqrt{\rho(g/cm^3)}}$$

Знајући густину астероида одредићемо да је $T=3{,}5/\sqrt{2{,}5} = 2{,}2$ часова. Дакле, свудаход не може да обиђе астероид за два часа. За такво време њега не може да облети, чак ни ракета са искљученим моторима. А са укљученим? Видети задатак **9.2.**

Досада смо претпостављали да се астероид не обрће. Међутим, ако се он обрће око осе (већина астероида се обрће и то, довољно брзо, са периодима од неколико часова), космонаути би могли да обиђу астероид за дато време без одвајања од његове површи, али крећући се супротно смеру ротације.

9.2. Могу, али за то треба да се лети по ниској путањи са укљученим моторима саопштавајући космичком броду допунско центрипетално убрзање (види задатак **9.1**). Брод треба да буде својим предњим делом усмерен ка средишту астероида, а мотором од њега.

9.3. Нема такве орбите. Москва се не налази на екватору и, према томе, њено дневно обилажење услед обртања Земље се догађа по малој кружници у односу на средиште планете. Путање сателита увек леже у равнима које пролазе кроз средиште Земље. Само за тачке на екватору геостационарни сателит може стално да се налази у зениту.

9.4. Да би се комета током неког времена налазила на посматрачевом меридијану она треба да се креће у односу на звезде оном угаоном брзином са којом се Земља обрће:

$$\frac{V_k}{R} \approx \frac{2\pi}{24^h}, \qquad (1)$$

где је V_k брзина комете у односу на Земљу, а R њено растојање од Земље. Размотримо два случаја: 1) Комета је сразмерно недалеко од Земље (R<<1 АЈ). Пошто се комете крећу по скоро параболичним путањама, а брзине кружног и параболичног кретања у датој тачки су повезане између себе као прва и друга космичка брзина ($V_{II} = \sqrt{2}\, V_I$), биће

$$\sqrt{2} - 1 \le \frac{V}{V_\oplus} \le \sqrt{2} + 1 \qquad (2)$$

где је $V_\oplus$ = 30 kms^{-1} – Земљина брзина на путањи. Неодређеност вредности за V_k потиче одатле што брзине комете и Земље могу да се сабирају под било којим углом, најзад путање комета имају свакојаке нагибе. Из једначина (1) и (2) ћемо добити R=(0,2 - 1) милиона km. Ово растојање има исти ред величине као и растојање до Месеца.
2) Комета је далеко од Земље (R ≥ 1 AJ). Ако се посматрања обављају ноћу, растојање комете од Сунца ће бити ≈ (1+R) AJ, а њена брзина у односу на Сунце ≈ $\sqrt{2/(1+R)}V_\oplus$. Тада ће једначина (2) добити овакав облик:

$$\sqrt{\frac{2}{1+R}}-1 \le \frac{V_k}{V_\oplus} \le \sqrt{\frac{2}{1+R}}+1 \qquad (2')$$

Лако је да се покаже да једначина (1) и неједнакост (2') за R≥ 1 AJ немају истовремено решење. Дакле, остаје само једно решење, оно нађено за први случај.

9.5. Путања комете је јако издужена и због тога, у афелу се она налази на растојању од око $2a_k$ од Сунца, а планета на растојању a_p (a је велика полуоса путање). Дакле, однос афелских растојања према трећем Кеплеровом закону износи:

$$\frac{2a_k}{a_p} = 2\left(\frac{T_k}{T_p}\right)^{2/3} = 2\left(\frac{76}{165}\right)^{2/3} = 1{,}2.$$

Халејева комета се у афелу удаљава да буде иза Нептунове орбите.

9.6. Применом трећег Кеплеровог закона T^2 (година) = a^3 (AJ) наћи ћемо да је велика полуоса путање комете једнака $\sqrt[3]{4} \approx 1{,}588 AJ$. Тада ће велика оса износити 3,176 AJ или око 480 милиона km. Ово противречи растојању у афелу од 820 милиона km. Закључујемо да такве комете није могло да буде.

9.7. Сматраћемо орбите планета за кружнице. Тада коришћењем III Кеплеровог закона T^2 (година) = a^3 (AJ) и израза за брзину на путањи V = 2πa / T добићемо: V = 2π / $\sqrt{a}$ у астрономским јединицама по години. Да се пређе на физичке јединице брзине треба се сетити колика је брзина Земље на путањи око Сунца (30 kms^{-1}) и тада је V = 30 / $\sqrt{a}$ kms^{-1}. Овде је велика полуоса (a), једнака полупречнику путање, као и раније изражена у астрономским јединицама.

9.8. Ако се брзина налази између прве и друге космичке, лопта мора да се креће по елиптичној путањи око центра маса астероида. Пошто је путања затворена и у једној тачки (тачки удара) додирује површ астероида, она ће неизоставно да пресече ову површ још једном или, барем, да је додирне. Губећи енергију у ударима о површ лопта ће на крају крајева обавезно да се заустави на њој.

9.9. Био би једнак периоду обиласка Меркура око Сунца. Ствар је у томе што је плимско дејство Сунца на Меркур врло велико и оно је већ давно успорило његово сопствено обртање. Када би Меркурова путања била кружница, он би се кретао као Месец око Земље, да све време излаже Сунцу једну своју хемисферу (узгред буди речено, много година су астрономи били убеђени да је баш то и случај). Међутим, Меркурова путања је елипса, приметно различита од кружнице: у перихелу, где се Сунчев плимски утицај најбоље осећа, Меркур има велику угаону брзину на путањи. Баш са овом брзином је синхронизовано његово сопствено обртање. Међутим, средња угаона брзина Меркуровог обилажења је 1,5 пута мања и зато он током једне своје године може да начини 1,5 обрт око своје осе.

9.10. Плимски утицај Харона на Плутон је знатно већи него утицај Месеца на Земљу. Заиста, Харонова маса је 40 пута мања од масе Месеца, док је он 20 пута ближи Плутону него Месец Земљи. Пошто се плимски утицај мења обрнуто сразмерно кубу растојања, закључујемо да је Харонов утицај на Плутон 200 пута јачи него утицај Месеца на Земљу. Због тога је Плутон већ

одавно синхронизовао своје обртање са обилажењем Харона. Међутим, и Земља постепено успорава своје обртање под дејством плимског трења. Доћи ће дан када ће и она гледати на Месец једном својом хемисфером.

9.11. Маса планете се може одредити врло тачно ако она има сателит. Његово растојање од планете (R) и период обиласка (P) омогућују да се маса планете израчуна по трећем Кеплеровом закону:

$$M = \frac{R^3}{GP^2}$$

Венера и Меркур немају сателите. Због тога се оцена њихове масе изводила према њиховом утицају на друге планете или комете и астероиде који су пролазили поред њих. Ово је давало резултате који нису били много тачни. После проласка космичких апарата поред ових планета, а нарочито када је Венера добила вештачке сателите, вредности њихових маса су осетно побољшане. *(Треба запазити да у изразу за трећи Кеплеров закон нема константе $4\pi^2$прим. прев.)*

9.12. Формално за 3,5 година. Међутим, с обзиром да је друга космичка брзина на Сунчевој површи једнака
$\left(2GM_{sun} / R_{sun}\right)^{1/2} = 618 km/s,$ а брзина гранате износи 1,5 kms^{-1}, јасно је да граната уопште неће да напусти Сунце.

9.13. Напоменимо да се тачка путање, најудаљенија од Месечеве површи, назива **апоселен**, а најближа **периселен** (од грчког „Селена" - Месец). Апоселенско растојање од Месечевог средишта је $Q = R_{\subset} + 1007$ km = 2744 km, а периселенско $q = R_{\subset} + 361$ km = 2098 km. Тада ће велика полуоса путање сателита бити a = (Q + q) / 2 = 2421 km. Из трећег Кеплеровог закона се добија

$$\frac{P_{\oplus}}{P_{\subset}} = \left(\frac{a_{\oplus}}{a_{\subset}}\right)^{3/2}\left(\frac{M_{\subset}}{M_{\oplus}}\right)^{1/2},$$

где су $P_{\oplus}$ и $P_{\subset}$ периоди обиласка Земљиног и Месечевог сателита, $M_{\oplus}$ и $M_{\subset}$ масе Земље и Месеца и $a_{\oplus}$ и $a_{\subset}$ велике полуосе путања Земљиног и Месечевог сателита. Сетимо се да на ниској путањи ВЗС висине око 250 km период обиласка износи 1,5 часова. Тада имамо

$$\frac{M_{\subset}}{M_{\oplus}} = \left(\frac{P_{\oplus}}{P_{\subset}}\right)^2\left(\frac{a_{\subset}}{a_{\oplus}}\right)^3 = \left(\frac{1{,}5h}{2^h 58^m}\right)^2\left(\frac{2421}{6621}\right)^3 = \frac{1}{81}.$$

9.14. Сунчев систем обилази око средишта Галаксије брзином од око 250 kms^{-1}, практично по кружној путањи. Вектор брзине лежи у галактичкој равни и усмерен је према тачки са галактичким координатама $l = 90^0$, $b = 0^0$ (сазвежђе Лабуда, недалеко од Денеба). Очигледно, да би ракета са кружне прешла на јако издужену елиптичну (практично праволинијску) путању и почела да пада ка средишту Галаксије, неопходно је да се поништи кружна брзина Сунчевог система, тј. треба саопштити ракети исту такву брзину по интензивности, али у супротном смеру. Овај смер са координатама $l = 27^0$, $b = 0^0$ се налази на јужном небу у средишту сазвежђа Једара.

Међутим, да се лансира ракета брзином од 250 kms^{-1} је невероватно тешко. Због тога, да би се полетело ка средишту Галаксије неопходно је да се примени пертурбациони маневар који је већ више пута био коришћен у Сунчевом систему ради полетања ка далеким планетама. Ствар је у томе да приликом пролетања поред масивног тела у покрету (планете, звезде) по хиперболичној путањи брзина космичког апарата може како да се смањи, тако и да порасте, у зависности од правца релативног кретања. По правилу, ако се апарат и тело крећу једно другом у сусрет, брзина апарата ће да порасте. (Овде се има дубока аналогија са одскакањем еластичне лоптице од масивније лопте која се креће њој у сусрет. У оба случаја на сличан начин дејствују закони одржања енергије и импулса).

Космичким апаратима из серије „Пионир" и „Војаџер" успело је да битно повећају своју брзину пролетањем поред Јупитера. Тачно тако међузвездана летелица може да искористи привлачење звезда поред којих пролази у циљу повећања своје брзине. Уопште, ако се правилно изабере звезда, довољан је један блиски пролаз да летелица добије брзину од око 250 kms^{-1} у

потребном смеру (вид. Межзвездным перелетам помогают ... звезды, Квант, 9, 1991 од аутора збирке). У овом случају почетна брзина ракете, која креће ка средишту Галаксије из Сунчевог система, се смањује до неколико десетина километара у секунди што је неопходно да се савлада Сунчево привлачење.

9.15. Требало је да оба апарата доспеју у близину Јупитера: „Галилео" да би постао сателит те планете и спустио сонду у њену атмосферу, а „Улис" да под дејством Јупитерове привлачне силе изађе из равни еклиптике и усмери своје кретање ка поларним областима на Сунцу. Према томе, да би се лансирали апарати била је неопходно потпуно одређена узајамна диспозиција Земље и Јупитера која се понавља после једног синодичког Јупитеровог периода, једнаког 399 дана или 13 месеци.

9.16. Упоредићемо прву космичку брзину на растојању R од звезде пре експлозије, када је њена маса износила M, са другом космичком брзином на истом растојању од звезде, али после експлозије, када је вредност масе била 0,3M:

$$V_I^2 = \frac{GM}{R}, \qquad W_{II}^2 = \frac{2G(0{,}3M)}{R} = 0{,}6\frac{GM}{R}.$$

Као што видимо, $V_I > W_{II}$. Пошто се одбацивање омотача супернове догађа колосалном брзином, која је неупоредиво већа од брзине кретања тела из планетног система, ова тела ће да осете нешто као тренутно смањење масе звезде. Они објекти који су се кретали по путањама које су блиске кружним ($V \approx V_I$) доспеће на хиперболичне путање ($V > W_{II}$) и напустиће планетни систем.

По аналогији са нашим Сунчевим системом то ће вероватно да буду крупне планете (Види такође задатак **9.31.**)

Интересантно је да се примети да, ако је у случају нормалне звезде, практично, немогуће да се открије планетни систем, када она експлодира као супернова, то се може учинити довољно лако. После експлозије средишњи део звезде се претватра у пулсар који зраче радио-импулсе са веома стабилном фреквенцијом. Ако око пулсара обилазе планете, оне ће да ремете његово равномерно кретање у односу на Сунце и ми ћемо то да приметимо по доплеровском помаку фреквенције зрачења пулсара. Такво трагање за планетама је било предузето код две стотине добро проучених радио-пулсара 1990-1992. и дало је негативан резултат: око њих нема ничега крупнијег од Месеца. Само код једног од њих (PSR 1829 -10) се подозревало постојање тела налик на планету са периодом обиласка од 184,4 дана. Међутим, касније је постало јасно да је ово била грешка која је потицала од неправилног узимања у обзир кретања Земље око Сунца. Тако, одсуство планета у околини пулсара потврђује наш закључак да се после експлозије супернове планетни систем распада.

Међутим, нека тела могу да очувају своју везу са остатком звезде. То су они објекти који су се налазили у области апоцентра својих издужених елиптичних путања (да их назовемо кометама). Према другом Кеплеровом закону њихова брзина се смањује са приближавањем апоцентру и може да буде знатно мања од W_{II} у области апоцентра ако се перицентар путање налази близу звезде. На пр., нека су r_a и r_p апоцентрично и перицентрично растојање, респективно, а V_a и V_p брзине комете у овим тачкама. Тада ће према Кеплеровом закону одржања секторске брзине бити $V_a r_a = V_p r_p$. Међутим, у перицентру јако издужене елиптичне путање тело се креће скоро параболичном брзином и према томе, може се V_p заменити са $\sqrt{2}\, V_I(r_p)$ (овде ознака $V_I(r_p)$ значи „брзина кретања на кружној путањи полупречника r_p") и написати:

$$V_a = \frac{V_p r_p}{r_a} \approx \sqrt{\frac{r_p}{r_p}} V_{II}(r_a),$$

где је V(r) - одговарајућа брзина у тачки r. Међутим, као што смо већ приметили, друге космичке брзине у ма којој тачки пре експлозије (V_{II}) и после ње (W_{II}) су повезане релацијом $W_{II} = \sqrt{0{,}3}\, V_{II}$. Дакле, да комета не изгуби после експлозије везу са остатком звезде ($V_a < W_{II}$), захтева се да буде $r_p < \sqrt{0{,}3}\ r_a$, тј. ексцентричност почетне путање комете,

$e = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p}$ мора да буде e > 0,3. У том случају комете неће да напусте околину остатка звезде која је експлодирала, али ће се облици њихових путања приближити кружницама.

9.17. По услову задатка звездани дан на Земљи ће бити једнак T_{sid} = 36 дана. Користећи формулу за синодички период

$\frac{1}{T_{\sin}} = \frac{1}{T_{sid}} - \frac{1}{365{,}25^d}$, добићемо $T_{\sin}$= 40 дана. Дакле, трајање дана према Сунцу на Земљи ће да порасте 40 пута, а година ће имати свега 9 дана, али 10 месеци.

9.18. Из трећег Кеплеровог закона за период обиласка планете се добија

$P = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$, где је M маса звезде, R полупречник путање планете. Ако је P исто за све планетне системе, биће $M \propto R^3$. У таквом случају:

а) угаоно померање звезде при њеном кретању у односу на центар маса планетног система (Δα) биће пропорционално њеном линеарном помаку, једнаком Rm / M, где је m фиксирана маса планете. Дакле

$$\Delta\alpha \propto \frac{R}{M} \propto M^{-2/3}$$

б) амплитуда промене радијалне брзине звезде је $\Delta V \propto V_o m / M$, где је V_o брзина планете на путањи (овде се користи знак „ ∝ ", а не „=" јер је непознат нагибни угао путање планете према визури). Следи

$$\Delta V \propto \frac{1}{M}\sqrt{\frac{M}{R}} \propto M^{-2/3}.$$

Као што видимо, при смањивању масе звезде расте амплитуда њених угаоних осцилација и амплитуда промена њене радијалне брзине. Према томе, у трагању за планетним системима астрономи дају предност звездама мале масе.

9.19. Доказаћемо да је количина топлоте, коју добија језгро комете од Сунца, пропорционална углу обрта вектора положаја комете. Заиста, флукс топлоте по јединици површине износи

$$F = \frac{L_{sun}}{4\pi R^2},$$

где је R растојање комете од Сунца (дужина вектора положаја). Међутим, из другог Кеплеровог закона је познато да је $R^2 \Delta\alpha \propto \Delta t$, где је Δα мали угао промене правца вектора пложаја за мали временски интервал Δ t. Тада количина топлоте коју добија јединица површине језгра за време Δt износи

$$F\Delta t = \frac{R^2 \Delta\alpha L_{sun}}{4\pi R^2} = \frac{\Delta\alpha L_{sun}}{4\pi}$$

Међутим, пошто су све величине, осим Δα , на десној страни ове једначине константне, она важи не само за мале, него и за произвољне вредности Δα, а међу њима и за $\Delta\alpha = 180^0$. Ово и јест угао за који се мења правац вектора положаја комете приликом кретања дуж било које од две деонице путање.

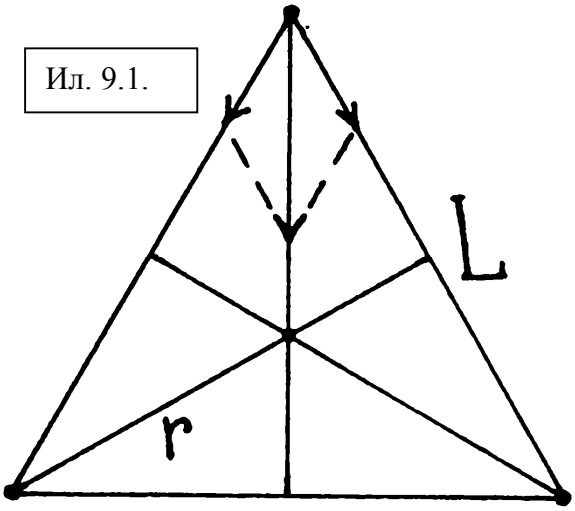
9.20. Нека је M_{sun} садашња маса Сунца, а M_{wd} његова маса када оно постане бели патуљак. Пошто се ради о постепеном процесу, у облику спорог губљења масе у стадијуму црвеног џина, Земљина путања ће остати кружна са садашњим моментом импулса (никакве силе, осим централних, нису деловале на Земљу). Земљина маса је непромењлива и због тога се одржава специфични момент импулса, једнак rV, где је V брзина на путањи, $V = \sqrt{GM/r}$, M маса звезде и r полупречник путање. Из услова

$$1AJ\sqrt{\frac{GM_{sun}}{1AJ}} = r\sqrt{\frac{GM_{wd}}{r}}$$

ћемо наћи полупречник нове Земљине путање: r = 1 AJ(M_{sun} / M_{wd}). Тада ћемо из трећег Кеплеровог закона добити нови период обиласка Земље:

$$P = \left(\frac{r}{1AJ}\right)^{3/2}\left(\frac{M_{wd}}{M_{sun}}\right)^{-1/2} god = \left(\frac{M_{sun}}{M_{wd}}\right)^{2} godina$$

За M_{wd} = 0,6M_{sun} добићемо P = 2,8 садашњих година.



Ил. 9.1.

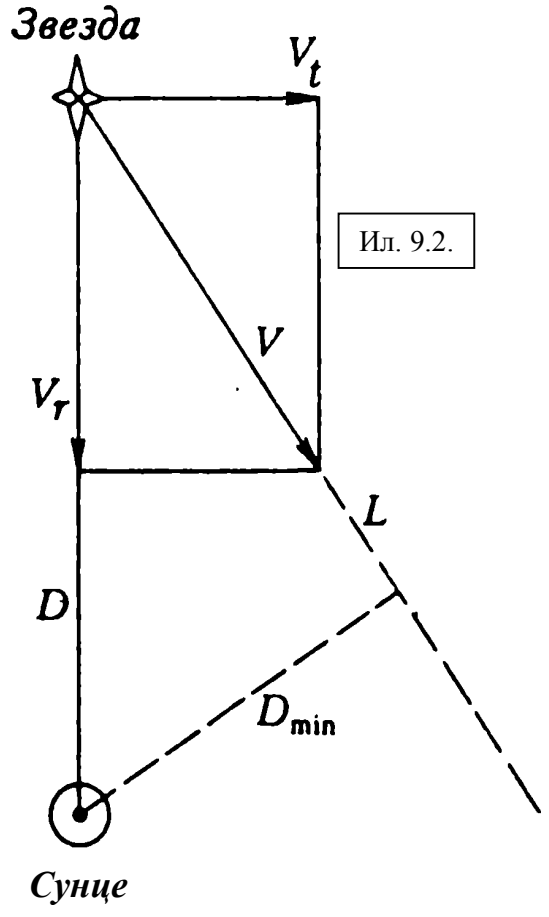
9.21. Растојање од звезде до центра маса (r), који се налази у пресеку симетрала страница троугла, наћи ћемо уз помоћ Питагорине теореме и теореме о пресеку симетрала које се међусобно деле у односу 1:2 (Ил. 9.1): $r = L/\sqrt{3}$. Када саберемо силе које делују на звезде по правилу паралелограма, наћи ћемо убрзање звезде ка центру маса: $a = \sqrt{3}Gm/L^2$, где је m маса звезде. Ово убрзање игра улогу центрипеталног (V^2 / r) и због тога је брзина обилажења $V\sqrt{Gm/L}$. Пошто је период обиласка P=2π r / V, следи да је $(P/2\pi)^2=L^3$ / (3Gm), одакле је

$$m = \frac{4\pi^2 L}{3GP^2}$$

9.22. Сопствено кретање звезде (μ) у лучним секундама по години, коришћењем паралаксе (π) изражене у лучним секундама, се лако претвара у тангенцијалну брзину звезде у километрима у секунди (проверите сами!):

$V_t = 4{,}74\frac{\mu}{\pi} \approx 15{,}8 km/s$ Тада је просторна брзина звезде $V = (V_t^2 + V_r^2)^{1/2} = 30 km/s$

Пошто је садашње растојање до звезде D = 1 / π = 5,1 pc, из сличности троуглова (Ил. 9.2) за минимално растојање D_{min} се налази:



Ил. 9.2.

$$D_{min} = \frac{DV_t}{V} = \frac{V_t}{\pi V} = 2{,}7\,pc$$

Пређени пут до достизања најмање удаљености се одређује на сличан начин:

$$L = \frac{DV_r}{V} = \frac{V_r}{\pi V},$$

па следи да ће се она догодити кроз

$\Delta t = \frac{L}{V} = \frac{V_r}{\pi V^2} = 150000 god$ Осветљеност коју звезда даје на Земљи ће се променити $(D/D_{min})^2$ пута и, услед тога, ће њена звездана величина да буде m_{max} = 0,89 - 5log (5,1 / 2,7) = - 0,49.

9.23. Неки одлучујући доказ не постоји. Кретање Сунца у Галаксији проистиче из читаве слике њене грађе и кретања звезда и гаса у њој у односу на Сунце. Нарочито су убедљива радио-посматрања кретања гаса која доказују Сунчево учешће у ротацији диска, аналогно ономе, што се види у другим галаксијама.

9.24. Сматраћемо да се сви астероиди крећу по кружној путањи на растојању r = 3 AJ од Сунца. Тада њихова брзина износи

$$V_a = \sqrt{\frac{GM_{sun}}{r}} = \frac{30km/s}{\sqrt{r(AJ)}} = 17km/s$$

Космички брод се креће практично по радијалној путањи ка Јупитеру и заједно са њим има нулту брзину. У том тренутку његова специфична (по јединици масе брода) потенцијална енергија је $U_1 = - GM_{sun} / r_{jup}$ где је r_{jup}, $r_{jup} = 5{,}2$ AJ, полупречник Јупитерове путање. У астероидном појасу потенцијална енергија брода је
$U_2 = - GM_{sun} / r$, а специфична кинетичка енергија при брзини V
је $E=V^2 / 2$. Очигледно је да је $E+U_2 = U_1$, одакле имамо

$$V = \sqrt{2GM_{sun}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_{jup}}\right)} = 16km/s.$$

Пошто су ове брзине у тренутку судара међусобно нормалне, релативна брзина судара је

$$V_{rel} = \sqrt{V^2 + V_a^2} = 23km/s.$$

9.25. Трајање „галактичке године" износи

$$P_G = \frac{2\pi R_0}{V_0} = 250 \times 10^6\, godina$$

Пошто је квадрат кружне брзине једнак $V_0^2 = GM_G / R_0$, маса износи

$$M_G = \frac{R_0 V_0^2}{G} = 2{,}8 \times 10^{41} kg = 1{,}4 \times 10^{11} M_{sun}.$$

Брзина одласка „у бесконачност" са галактоцентричне путање Сунца је
$V_\infty = \sqrt{2}\, V_0 = 354$ kms^{-1}. Међутим, пошто ракета, која се креће заједно са Сунчевим системом, има брзину V_0, њој треба допунски саопштити брзину једнаку

$$V_\infty - V_0 = 104 \text{ kms}^{-1}.$$

9.26. Да ракета пређе на елиптичну путању у лету према Меркуру њена брзина на Земљиној путањи треба да буде мања од кружне. Према томе, ракету треба лансирати у смеру супротном од смера кретања Земље око Сунца. Пошто се смерови обртања и обилажења око Сунца за Земљу поклапају, у случају лансирања за време обданице почетна брзина ракете се сабира са брзином Земљиног обртања. Ово је погодно. Разлика почетних брзина за случајеве лансирања за време обданице и ноћу може да достигне 1 kms^{-1} (пошто је брзина Земљиног обртања на екватору 0,5 kms^{-1}). Доста лако се доказује да лансирање треба обавити у првој половини обданице. Учините ово сами.

9.27. Падање на Сунце дуж полупречника са растојања $r_\oplus$ се може представити као кретање дуж крајње спљоштене елипсе са великом полуосом једнаком $a = r_\oplus / 2$. Тада време падања, једнако половини периода обиласка P за ову путању, према трећем Кеплеровом закону износи

$$t = \frac{P}{2} = \pi\sqrt{\frac{a^3}{GM_{sun}}} = \frac{\pi}{2^{3/2}}\sqrt{\frac{r_\oplus^3}{GM_{sun}}} = P_\oplus \cdot 2^{-5/2}, \quad \text{где је} \qquad P_\oplus = 2\pi\sqrt{\frac{r_\oplus^3}{GM_{sun}}} = 1 \cdot god$$

Следи да је t= 1 година $\times 2^{-5/2}$ = 65 дана.

9.28. Нека је полупречник кружнице једнак R. Сваку од две крајње звезде привлаче остале према средишту кружнице и њено убрзање је

$$a = \frac{GM}{R^2} + \frac{GM}{(2R)^2} = \frac{5GM}{4R^2}.$$

Изједначићемо га са центрипеталним убрзањем (V^2 / R) и наћи ћемо брзину на путањи:

$V = \sqrt{\frac{5GM}{4R}}$, одакле ћемо без тешкоћа одредити период: $P = 2\pi \frac{R}{V} = 4\pi \sqrt{\frac{R^3}{5GM}}$.

9.29. Најједноставније решење је да почетна брзина буде једнака брзини Земљиног кретања на путањи око Сунца (30 kms^{-1}) и то у супротном смеру. За ово у близини Земље, узимајући у обзир њено привлачење, неопходно је да ракета развије брзину од $(29{,}8^2 + 11{,}2^2)^{1/2}$ =31,8 $kms^{-1} \approx 32$ kms^{-1}. Међутим, разумније решење је да се за промену брзине ракете искористи привлачење неке планете тако што ће се у њеној близини обавити пертурбацијско маневрисање. На пример, ако се ракета пошаље према Јупитеру брзином од око 16 kms^{-1}, може се тако прорачунати њено кретање да ће она после блиског пролаза поред џиновске планете да промени путању и падне на Сунце.

9.30. Дакле, може ли планета да има сателит који је обилази тако да 14 његових синодичких периода чини 9 периода на орбити саме планете? Нека су масе сателита (M_s), планете (M_p) и звезде (M_{zv}) повезане једноставном релацијом : $M_{zv} >> M_p >> M_s$. Нека су r_s и r_p полупречници путања сателита и планете. Тада период обиласка сателита износи

$$P_s = 2\pi \sqrt{\frac{r_s^3}{GM_p}}, \quad \text{а период обиласка планете} \quad P_p = 2\pi \sqrt{\frac{r_p^3}{GM_{zv}}},$$

Синодички период сателита (P_{si}) ћемо наћи из услова

$$\frac{1}{P_{si}} = \frac{1}{P_s} \pm \frac{1}{P_p},$$

где доњи знак одговара обилажењу планете и сателита у истом смеру, а горњи знак у супротном. Према услову задатка је $14P_{si} = 9P_p$, одакле је $P_s = 9Pp / (14 \mp 9)$. Према томе, налазимо:

$$r_s = r_p \left[\frac{M_p}{M_{zv}\left(\frac{14}{9} \mp 1\right)^2} \right]^{1/3}$$

Да ли је могућа таква релација између величина r_s и r_p? Као што је познато, полупречници путања сателита планета су ограничени пертурбацијским утицајем Сунца на њих. Они, у принципу, не могу бити већи него што је растојање планети најближих тачака либрације L_1 и L_2 , а које износи $r_L = r_p \left(\frac{M_p}{3M_{zv}} \right)^{1/3}$. Одмах се види да за сателит који има ретроградно кретање овакве путање нема ($r_s > r_L$). Међутим,и за сателите који обилазе у директном смеру, који се поклапа са смером обилажења планете, добијамо $r_s = 0{,}76\ r_L$. Таква стабилна путања такође не постоји. Сателит би могао да се налази у тачкама либрације ($r_s = r_L$), али тада би се његов сидерички период поклопио са периодом обиласка планете. У супротном случају да би се сателит стабилно кретао по путањи са произвољним периодом потребно је да полупречник његове путање буде 2-3 пута мањи од растојања до тачака либрације. Овај услов није испуњен у нашем случају. Дакле, сателит, описан у роману, не може да постоји.

9.31. Очигледно, место гравитацијског средишта би заузео Јупитер, а брзине планета би остале као и раније. Дакле, треба одредити да ли Јупитер може да задржи планете. Претпоставимо најповољније околности: у тренутку нестајања Сунца све планете су се налазиле на једној страни у односу на њега, дуж истог хелиоцентричног правца. Тада ће њихове брзине у односу на Јупитер да износе $\Delta V = |V_p - V_{jup}|$ где је V_p садашња брзина на путањи било које од планета, а V_{jup} је брзина Јупитера. Растојања планета од Јупитера у том тренутку ће бити $\Delta R = |R_p - R_{jup}|$ R_p садашњи полупречник путање планете, а R_{jup} полупречник Јупитерове путање.Услов да планета остане на путањи биће неједнакост

$$\Delta V < V_{II} = \sqrt{\frac{2GM_{jup}}{\Delta R}}$$

где је $M_{jup} = 10^{-3} M_{sun}$, маса Јупитера (тј. релативна брзина планете не сме да буде већа од друге космичке брзине у гравитационом пољу Јупитера). После елементарних трансформација овај услов се може преписати овако:

$$\Delta V < \frac{1{,}3 km/s}{\sqrt{\Delta R(AJ)}}.$$

Овај услов није испуњен ни за једну планету што се може видети из доле приложене таблице:

	ΔR [AJ]	ΔV [km/s]	V_{II} [km/s]
Сатурн	4,3	3,5	0,63
Уран	14	6,3	0,35
Нептун	25	7,7	0,26
Плутон	34	8,4	0,22
Марс	3,7	11	0,68
Земља	4,2	17	0,63
Венера	4,5	22	0,61
Меркур	4,8	35	0,59

Уосталом, ово није чудно: када би за било коју планету било $\Delta V < V_{II}$, Јупитеров утицај на њу био би тако велик да планета не би могла да се стабилно креће на својој путањи око Сунца. Дакле, када би Сунце изненада нестало, наш планетни систем би морао да се распадне.
Наравно, Сунцу не прети изненадно нестајање иако његова маса може током времена знатно да се смањи (види задатак **9.20**). Међутим, масивније звезде могу да експлодирају као супернове и да им се тада тренутно смањи маса неколико пута. Том приликом систем састављен од лаких планета, које су окружавале звезду пре експлозије, се распада (види задатак **9.16**). Међутим, као што показује овај задатак, чак и присуство једног џиновског тела, попут Јупитера, у планетном систему не може да спречи распад тог система.

9.32. Ако се пуцњем саопшти апарату довољно велика брзина таква да би се он, после изласка из Земљине атмосфере, кретао брзином већом од друге космичке, тада се правилним избором правца пуцња постиже кретање апарата по кеплеровској путањи и он ће моћи да доспе до Месеца, Марса, Сунца. Међутим, неће да постане Земљин вештачки сателит. У том случају крећући се по елипси око Земље на крају првог обрта апарат мора да прође кроз почетну тачку што ће га неизоставно довести до судара са Земљом или, бар, са њеном атмосфером.

Због овога једноставно „из топа" не може се лансирати ВЗС. Међутим, идеја убрзавача („топа") на Земљи у циљу лансирања ВЗС није одбачена. Размислите под којим условима се она може остварити.

9.33. Из топа. У случају пуцња из идеалног топа сва утрошена енергија се саопштава апарату: она је једнака његовој кинетичкој енергији $mv^2 / 2$. У случају лансирања идеалне ракете, када важи формула Циолковског:

$$v = v_r \ln\frac{m_r}{m},$$ велики део енергије добија гориво: $\approx m_r v_r^2 / 2$.

9.34. Ако је ексцентричност хиперболе само мало већа од један, а то је обично случај код „хиперболичних" комета, тада са временом путања комета може да постане затворена - елиптична. Не треба заборавити да у Сунчевом систему сва маса није садржана у средишњем телу. У близини Сунца комета, практично, трпи само његово привлачење (утицај планета се у знатном степену међусобно компензује), док иза границе Плутонове путање за комету је цео Сунчев систем као једно тело са укупном масом. Због тога далеко од Сунца њена путања може да постане јако издужена елипса. Ако комета доживи близак пролаз са неком од планета, њена путања може да се промени на најнепредвидљивији начин.

9.35. Ако се небеско тело обрће тако да на екватору његова брзина превазилази прву космичку, тело ће да се распадне. Нека су ове брзине једнаке. Тада користећи решење задатка **9.1.** имамо:

$$T = \frac{3{,}5h}{\sqrt{\rho}}$$

где је T - период обртања планете, а ρ њена густина у g / cm^3. За T = 1 минут добићемо

$\rho = 4{,}4 \times 10^4$ g/cm^3. Ово је минимална густина коју мора да има планета Фењерчић да се не би распала и одбацила самог са његовим фењером. Ово је врло густа планета. По свој прилици, ово је охлађени бели патуљак ($\rho \propto 10^6$ g/cm^3).

9.36. Нека је растојање ове тачке од Земље једнако r, а од Месеца (60 – r). Тада по закону опште гравитације (у јединицама Земљине масе и растојања од Земље до Месеца):

$$\frac{1}{(60-r)^2} = \frac{81}{r^2},$$

одакле ћемо решавањем квадратне једначине наћи два решења: $r_1 = 54$ и $r_2 = 67{,}5$.
Јасно да се r_1 односи на тачку која лежи између Земље и Месеца, а r_2 на тачку која се налази иза Месеца. Формално у овој тачки су привлачне силе Земље и Месеца једнаке, али имају исти правац и смер и не уравнотежују се међусобно.

У првој тачки космички брод би могао за тренутак да осети одсуство убрзања, али већ у следећем тренутку због кретања Месеца брод ће напустити тачку. Да тело дуго времена сачува непокретност у обртном систему Земља-Месец укупно привлачење ових планета треба да саопшти телу центрипетално убрзање које је довољно за обртање са истом таквом угаоном брзином као код система Земља-Месец. Тачке које задовољавају овакав услов постоје. Има их пет и оне се зову **тачке либрације**. Покушајте да их пронађете.

9.37. Садашњи момент импулса Сунца је $J_{sun} = 6\times10^{48}$ gcm^{2}s^{-1}. Момент импулса планетног система је $J_p = 3{,}13\times10^{50}$ gcm^{2}s^{-1}. Сада се Сунце обрће брзином од $V_{sun} = 2$ kms^{-1} на свом екватору. Пошто момент импулса тела износи

$$J = kMRV,$$

где је M маса, R полупречник, V брзина на екватору и k коефицијент који зависи од расподеле масе у телу у односу на његов полупречник, имаћемо да је $J \propto V$ ако се не промени геометрија тела. Претпоставићемо да се она, практично, не мења (ово ће бити доказано приликом решавања задатка **9.38**) и тада би брзина Сунчеве ротације, као резултат тога што Сунчев систем њему предаје целокупан обртни момент, износила

$$V = 2km/s\,\frac{J_{sun} + J_p}{J_{sun}} = 106km/s.$$

Интересантно је да се многе звезде сличне Сунцу обрћу брзином тог реда величине. Вероватно да ово говори да су те звезде лишене планетних система. Сунце је, међутим, у време образовања планета предало њима скоро цео свој момент.

Примедба: задатак се може решити приближно, без израчунавања и тражења вредности J_{sun} и J_p у приручницима. Практично целокупан момент нашег планетног система сконцентрисан је у кретању планета-џинова око Сунца. Пошто је Јупитер два пута масивнији од свих осталих планета узетих заједно, али и ближи Сунцу неколико пута од њих, може се прихватити да њему припада половина момента импулса планетног система. Сада се треба сетити износа четири општепознатих величина:
а) маса Јупитера $M_{jup} \approx 10^{-3}\, M_{sun}$,
б) полупречник Јупитерове путање $r_{jup} = 5{,}2$ AJ,
в) брзина Земље на путањи око Сунца $V_\oplus = 30$ kms^{-1},
г) привидни полупречник Сунца на Земљи $\alpha_{sun} = 0{,}25^0$.
Користећи зависност брзине на путањи од полупречника путање

$$V_I = \sqrt{\frac{GM}{r}} \propto r^{-1/2},$$

налазимо брзину Јупитеровог кретања око Сунца: $V_{jup} = 30$ kms^{-1} $r_{jup}^{-1/2}$. Дакле, његов момент износи $J_{jup} = M_{jup}V_{jup}r_{jup} = 0{,}07\, M_{sun}$ [kms^{-1}AJ]. Сматрајући да је почетни момент Сунца једнак нули написаћемо за његов резултујући момент, претпостављајући да се маса Сунца налази у просеку на растојању једнаком $R_{sun}/2$ од осе ротације:

$2J_{jup} = \frac{1}{2}M_{sun}VR_{sun}$, одавде, када се Сунчев полупречник изрази у астрономским јединицама:

$$R_{sun}(AJ) = \frac{\alpha_{\oplus}}{57{,}3^0} = 64 km/s.$$

Као што видимо, овакво грубо решење се од тачног разликује не више него за 50% и дозвољава да се тачно оцени ред величине.

9.38. За течно тело, слабо спљоштено услед обртања, наћи ћемо везу између брзине обртања на екватору (V) и степена спљоштености

$$\varepsilon \equiv \frac{a-b}{a}$$

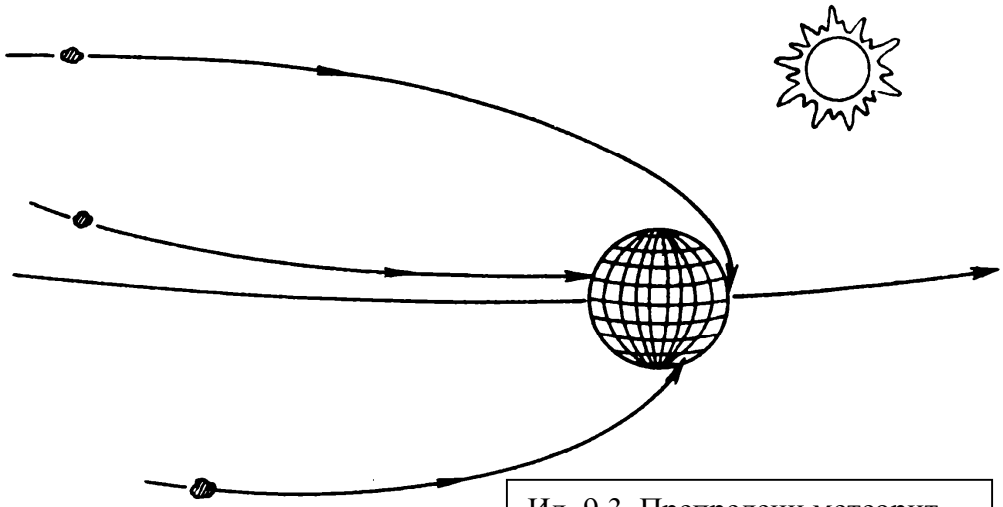
где су a и b екваторски и поларни полупречник тела. Пошто се површ течног тела поклапа са површи константног потенцијала у координатном систему везаном за ово тело (када не би било тако, почело би премештање материје и мењање облика тела док се не достигне дато стање), сматраћемо да је потенцијал на полу

$$U_b = \frac{GM}{b} \qquad \text{једнак оном на екватору} \qquad U_a = \frac{GM}{a} + \frac{\omega^2 a^2}{2}$$

где је ω угаона брзина обртања, а $\omega^2 a^2 / 2$ је потенцијал центрифугалне силе. Тада се из услова $Ua = U_b$ лако добија:

$$\varepsilon = \frac{\omega^2 a^3}{2GM} = \left(\frac{V}{V_{II}}\right)^2,$$

где је V_{II} друга космичка брзина на површи тела. За Сунце је V_{II} = 618 kms^{-1} и V=106 kms^{-1} (види задатак **9.37**). Следи да је $\varepsilon = (106 / 618)^2 = 0{,}03$. Ова спљоштеност није велика и због тога се претпоставка о слабој спљоштености тела може сматрати испуњеном.



Ил. 9.3. Препредени метеорит.

9.39. Да, посматрало би се. У зависности од параметра судара (P) метеорит који сустиже Земљу, може да уђе у њену атмосферу изнад било које тачке на површи (Ил. 9.3).

9.40. Размотримо три случаја:

а) сателит се налази на геостационарној путањи и његов период је

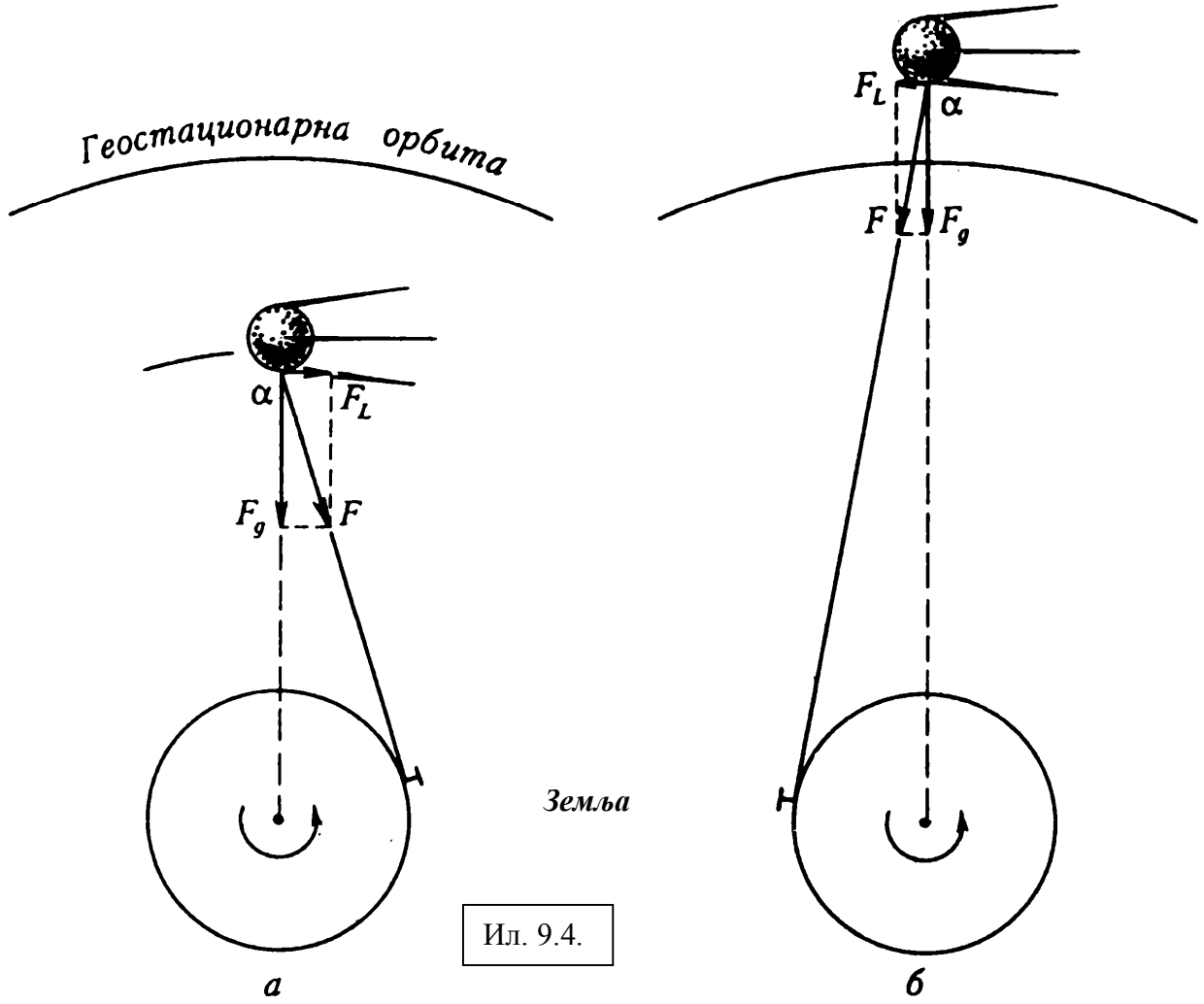
$$P_g = 2\pi\sqrt{\frac{r_g^3}{GM_{\oplus}}} = 24^h$$

а полупречник

$$r_g = \sqrt[3]{GM_{\oplus}\left(\frac{12^h}{\pi}\right)^2}$$

У овом случају он непокретно виси изнад једне тачке на екватору и, разуме се, остаће у том положају, чак и да је привезан за Земљу ужетом.

б) путања сателита је испод геостационарне. На таквој путањи ВЗС престиже обртање Земље. Према томе, он ће да намотава уже на Земљу и када се оно затегне, Земља ће преко њега да привлачи сателит (на Ил. 9.4 сила затезања ужета је означена са F). Том приликом његова брзина расте (закон одржања момента импулса) и намотавање ужета ће да се убрза. Међутим, уже не само привлачи сателит ка Земљи (компонента силе F_g), него му и одузима момент импулса (за кретање на путањи - компонента F_L). Зато ће сателит стално да се приближава Земљи док не падне на њу.



Ил. 9.4.

в) Путања сателита је изнад геостационарне - ово је најинтересантнији случај. Сателит има мању угаону брзину од Земље. Због тога ће уже почети да се намотава на планету и да привлачи сателит наниже. Пошто је полупречник планете велик ($r_o > r_g$) и, према томе, дневна паралакса мала (угао α на Ил. 9.4), у првој апроксимацији се може сматрати да се сила затезања ужета аритметички сабира са силом Земљиног привлачења, а специфични момент импулса ($L_o = r_oV_o$) се неко време одржава. Кружна брзина на овој путањи износи

$$V_0 = \sqrt{\frac{GM_\oplus}{r_0}}, \qquad \text{и због тога је момент импулса сателита} \qquad L_0 = \sqrt{GM_\oplus r_0} \propto r_0^{1/2}$$

тј. већи је него на геостационарној путањи. Према томе, сателит, везан ужетом за Земљу, ће да нађе себи нову путању (r_m) која се налази на већој висини од r_g, али има исто период од 24^h . На овој путањи његово кретање ће се за неко време стабилизовати јер ће намотавање ужета да престане.

Одредићемо полупречник ове (минималне) путање:

i) из закона одржања момента импулса имамо: $L_o = r_mV_m$,

ii) из одређивања периода на путањи: $24^h = 2\pi p_m / V_m$

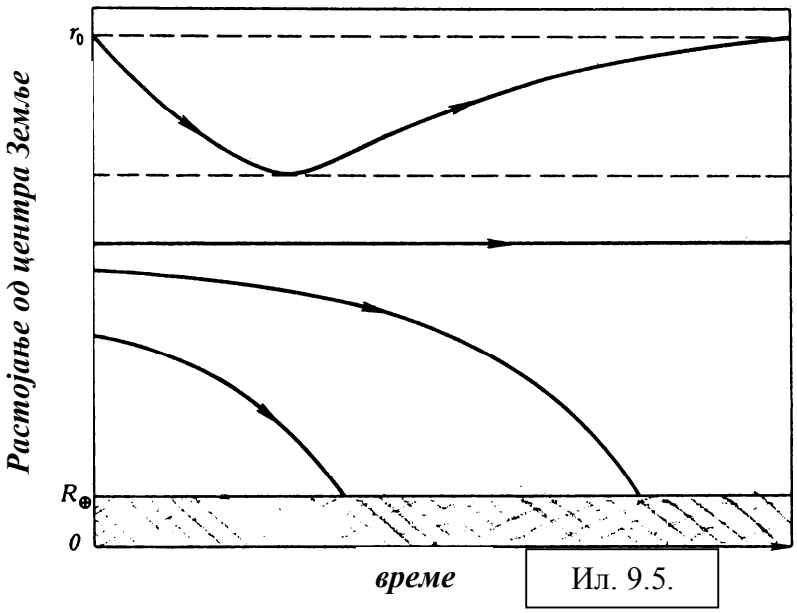
решавајући овај систем једначина налазимо

$$r_m = \sqrt{\frac{12^h L_0}{\pi}} \qquad \text{и} \qquad V_m = \sqrt{\frac{\pi L_0}{12^h}}.$$

Није тешко наћи и компоненту силе затезања ужета усмерену ка средишту Земље ($F_g \approx F$). Заједно са силом Земљине теже (F_G) она игра улогу центрипеталне силе. За сателит масе M је

$$\frac{MV_m^2}{r_m} = F_G + F_g = \frac{GM_\oplus M}{r_m^2} + F_g \qquad \text{одакле је} \qquad F_g = \frac{M}{r_m^2}\left(\sqrt{\frac{\pi L_0^3}{12^h}} - GM_\oplus\right).$$

Сада ћемо да се сетимо да постоји још и мања сила F_L која вуче сателит напред и стално повећава његов момент импулса. Дакле, величина L_o мало расте. А пошто је $r_m \propto L_o^{1/2}$, сателит који се брзо спустио до путање r_m почеће затим помало да се подиже док не достигне своју претходну путању . Међутим, сада ће се он по њој кретати великом брзином и имаће велики момент импулса.



Ил. 9.5.

Графици промене висине лета сателита су шематски приказани на Ил. 9.5. Између осталог, случај „в", који је овде размотрен, се користи у пројекту „Космички лифт". Када би заиста пошло за руком да се провуче уже од сателита на високој путањи до Земље, било би могуће, са малим утрошком енергије (а можда уопште и без икаквог утрошка) и без прљања атмосфере, да се по њему шаље терет у космос. Размислите; како се може реализовати овај пројект и шта у њему служи као извор енергије?

Сва наша расуђивања су се тицала сателита који Земљу обилази у смеру њеног дневног обртања. Када би кретање сателита било у супротном смеру, за произвољно r_o намотавање ужета на Земљу ће неминовно да доведе до брзог пада сателита.

9.41. По закону о одржању енергије брзина материјалне тачке при уласку у Земљину атмосферу (V) је повезана са брзином далеко од Земље (V_∞) следећом релацијом:

$$V^2 = V_{II}^2 + V_\infty^2,$$

где је $V_{II} = 11{,}2\ \text{kms}^{-1}$, друга космичка брзина (дефинисана за полупречник Земље). Вредност V_∞ у близини Земљине путање може да буде у распону од $0\ \text{kms}^{-1}$ (случај метеорита који једва сустиже Земљу) до $72\ \text{kms}^{-1}$ (метеорит који лети дуж параболичне путање у сусрет нашој планети). Дакле, граничне вредности износе $V_{min} = 11{,}2\ \text{kms}^{-1}$ и $V_{max} = 73\ \text{kms}^{-1}$.

Под претпоставком да је време распада у атмосфери (тј. трајање бљеска) исто за различита тела и да се трансформација њихове кинетичке енергије у светлост догађа са истом ефективношћу можемо да одредимо разлику звезданих величина метеора:

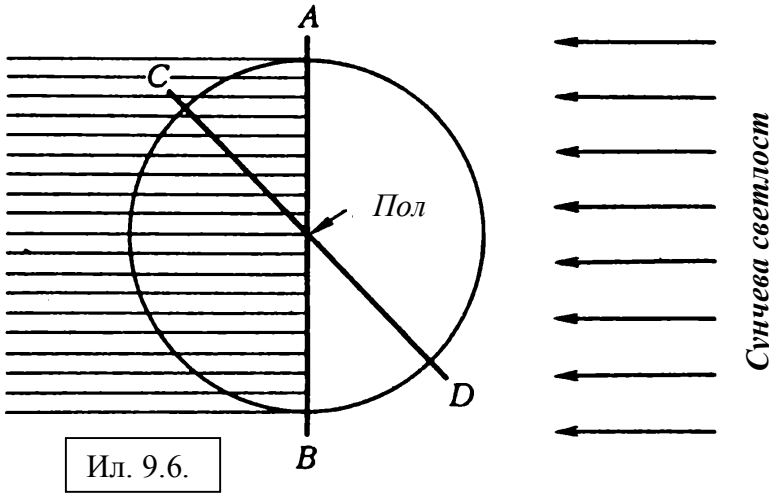
$$\Delta m = 2{,}5\log\left(\frac{V_{\max}}{V_{\min}}\right)^2 = 4{,}1.$$

У стварности распад тела које лети брзо догађа се брже и на вишој температури. Због овога стварна разлика у сјају неколико пута превазилази нашу оцену од 4^m .

9.42. Једну Земљину хемисферу Сунце увек осветљава (Ил. 9.6) и због тога, бар једна половина путање CD је обавезно осветљена. Ако се поларна путања AB налази у равни која је нормална на правац ка Сунцу (што може да буде у дане равнодневица), оно ће је осветљавати у потуности.

9.43. Израчунаћемо растојање преко паралаксе: 1 / 0,038 = 26,3 pc. Затим претварамо сопствено кретање у тангенцијалну брзину. За годину дана звезда прелази 0,13" $\times$26,3 pc =3,4 AJ = $5{,}1\times10^8$km. У години има 3,2 $\times10^7$ s. Дакле, тангенцијална брзина је 51 / 3,2 = 16 kms^{-1}. Тада укупна брзина звезде износи

$V = (9^2 + 16^2)^{1/2} = 18{,}4\ kms^{-1}$.



Ил. 9.6.

9.44. Када се једанпут баци, за почетну брзину лопте добија се 1 cms^{-1} .
Међутим, кроз две секунде лопта вам се враћа и додаје јој се још око 1 cms^{-1}.
Ако је опет баците, брзина ће већ бити 3 cms^{-1}. Сматрајући удар лопте о зид апсолутно еластичним, ваше кретање се може представити у првој апроксимацији као равномерно убрзано са убрзањем једнаким 1 cms^{-2}.

Тада ће време, током кога се пређе растојање S =10 m, износити

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2\times10m^2}{1cm/s}} = 45s.$$

У стварности ово време ће бити мало дуже јер се приликом сваког следећег бацања пут лоптице повећава, а предати импулс смањује.

9.45. У сагласности са трећим Кеплеровим законом период и полупречник кружне путање су повезани зависношћу: $P \propto R^{3/2}$. Следи: $P = 23^h56^m04^s \times 2^{3/2} = 67^h41^m49^s$. Сада је лако да се нађе период сателита у односу на непокретну тачку на Земљиној површи:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{23^h56^m04^s} - \frac{1}{67^h41^m49^s} = \frac{1}{37^h01^m29^s}$$

Дакле, $T=37^h01^m29^s$.

9.46. Написаћемо једначину за центрипетално убрзање код кружног кретања:

$$a = \frac{V^2}{R} = \frac{GM}{L^2},$$

где је V кружна брзина, R полупречник кружнице, а M и L маса и растојање до тела које привлачи. Тада је

$$V^2 = \frac{GMR}{L^2}.$$

У двојном систему са компонентама једнаке масе звезде обилазе око центра масе који се налази тачно на средини између њих. Дакле, биће L = 2R и $V^2 = GM_{sun} / 1$ AJ. Међутим, брзина Земље на путањи одређује се истим таквим изразом и износи око 30 kms^{-1}. Према томе, максимална разлика радијалних брзина звезда биће једнака (30 + 30) = 60 kms^{-1} за посматрача који се налази у равни путање двојне ($i = 90^0$); 0 kms^{-1} за $i = 0^0$ и $60\cos45^0 = 42$ kms^{-1} за $i =45^0$.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

10. КОСМИЧКЕ ЕКСПЕДИЦИЈЕ И ПРИРОДА ПЛАНЕТА

* * * * * □ * * * * *

10.1. Пошто Сунце обилази око средишта Галаксије брзином од око 250 kms^{-1}, резултујућа брзина брода биће скоро иста и са истим смером као за Сунце. Другим речима, путања космичког брода се неће битно разликовати од галактоцентричне путање Сунчевог система и брод никада неће доспети у средиште Галаксије.

10.2. За сателите који се налазе на кружним путањама велике висине (на пр. геостационарним) погодније је да се преводе на хиперболичне путање, па одатле на хелиоцентричне путање јер тада сателиту треба саопштити додатну брзину ($\sqrt{2}$ - 1)V_{krug} , док је за кочење и повратак на Земљу неопходно да се његова брзина V_{krug} смањи до нуле. Код сателита на ниским или веома издуженим путањама, са малом перигејском висином (мање од 500 km), погодније је да се они закоче и „оборе" на Земљу коришћењем отпора атмосфере. У ту сврху се ВЗС могу снабдети великом врећом на надувавање од танког филма која снажно повећава аеродинамички отпор сателита. Могући су и други начини. Међутим, експлозија сателита, који је на путањи, се не препоручује: парчад која остају том приликом ће само да повећају опасност од судара.

Да би се простор око Земље очистио од сателита који су без контроле и другог отпада предлажу се два начина (вид. Проблема „космического мусора" од J. A. Мозжорина и С. В. Чекалина у књизи „Космос и экология", М. Знание, 1991, стр. 16-17):
а) Могу се лансирати велике лопте од пене ради упијања кинетичке енергије честица отпада после чега ће те честице да губе висину и улазе у густе слојеве атмосфере. Међутим, при таквом дејству без избора настаје опасност да се оштете и сателити који функционишу.
б) Кретање на путањи око Земље доста крупних честица које се контролише радио-локацијом, а њихов положај је познат, се може кочити помоћу ласерског зрака или снопа неутралних честица (слични уређаји се развијају за противракетну одбрану).

10.3. Размотрићемо физику скока с мотком. На почетку скакач у залету достиже брзину V стичући при том кинетичку енергију $mV^2 / 2$. Затим се он ослања мотком о зид испод летве и врши притисак на слободни крај мотке. Кинетичка енергија скакача скоро у потпуности прелази у енергију деформације мотке. Када се исправи, мотка враћа скакачу енергију, али за то време човек промени место у односу на учвршћени крај мотке и креће се, не више, у хоризонталном, него у вертикалном правцу. На тај начин мотка служи само за промену правца кретања спортисте. Ако се сматра, да добра мотка не упија енергију, тада у тренутку када сва кинетичка енергија залета прелази у потенцијалну енергију подизања (mgh), центар масе скакача се подиже на висину $h=V^2 / 2g$.

Узећемо у обзир, такође, да се на почетку скока центар масе налази на нивоу појаса спортисте (≈ 1 m), а када се пребацује преко летве, пролази скоро тачно на њеном нивоу. Тада је

$$h = \frac{V^2}{2g} + 1m$$

Знајући резултате тркача на кратке стазе налазимо да најбољи спортисти трче брзином од 11-12 ms^{-1}. Зато што је нешто теже да се трчи са мотком у рукама, усвојићемо за брзину залета вредност V=10 ms^{-1}. Тада на Земљи (g=9,8 ms^{-2}) добијамо h=6,1 m што је заиста близу светског рекорда. Следи да је наша формула исправна.

Усвојивши да је на Месецу убрзање силе теже шест пута мање него на Земљи и са истом брзином у залету добићемо h=31,6 m. Уопштено говорећи брзина залета на Месецу се може мало

разликовати од оне на Земљи. Њена тачна вредност зависи од усвојених претпоставки (присуство или одсуство скафандра, густине атмосфере, својстава тла, итд). Међутим, једноставна физичка анализа показује да је без узимања у обзир отпора атмосфере максимална брзина тркача једнака граничној брзини са којом он може да премешта стопала у односу на своје тело. Ту брзину одређује само ,,конструкција" човека. Према томе, у затвореном простору на Месецу човек (без скафандра) треба да трчи истом брзином као на Земљи.

10.4. Из формуле за центрипетално убрзање ($a = v^2 / r$) наћи ћемо вредност $v = \sqrt{ar}$. Тада за $a = g$ добијамо $v = \sqrt{ar} = 5{,}4\ ms^{-1}$. Ово је нормална брзина трчања за тренираног човека. Оријентација станице у датом случају није ни од каквог значаја.

10.5. Растојање до звезде у парсецима је реципрочна вредност паралаксе: $r = 1 / \pi = 1 / 0{,}76'' = 1{,}32$ pc. По дефиницији у једном парсеку има исто онолико астрономских јединица колико и лучних секунди у радијану - 206 265. Међутим, Земља, крећући се истом брзином као космички брод, прећи ће 2π AJ за годину дана. Следи да је трајање лета космичког брода $t = 1{,}32 \times 206\,265 / 2\pi \approx 43$ хиљаде година. Као што видите, вешто коришћење астрономских јединица за мерење омогућује да се скрате рачуни.
Примедба: нажалост, у астрономији је прихваћено да се годишња паралакса означава словом π (од грчког παράλλαξη - отклон) које се својим изгледом ничим не разликује од математичке константе $\pi = 3{,}14....$ Наравно, између њих постоји одређено сродство: и једно и друго се рачунају као однос лука кружнице према њеном полупречнику. Истини за вољу, код броја π као лук се користи половина кружнице, а код паралаксе - само њен мизерни део. Обично се у астрономским текстовима ове величине не налазе заједно, али у овом задатку се то ипак десило и то може да доведе до неспоразума. Да се избегне слична неједнозначност у литератури на енглеском језику све чешће се за паралаксу користи слово p (од енгл. parallax). Међутим, ми верујемо да је наш читалац одмах схватио где је астрономско π, а где је математичко. У вези са овим тешко је да се не сетимо приче о ,,π за гренландског кита". (**примедба** редактора – видети страну 163)

10.6. Као што је показано у решењу задатка **9.1,** трајање обрта на ниској путањи је

$$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}} = \frac{3{,}5h}{\sqrt{\rho\left(g\ /\ cm^3\right)}} \qquad \text{Тада је} \qquad \rho = \left(\frac{3{,}5^h}{T}\right)^2 g\ /\ cm^3.$$

На пр., из чињенице да ВЗС на ниској путањи обиђе за 1,5 час следи да је Земљина средња густина $\rho = (3{,}5 / 1{,}5)^2 = 5{,}5\ g/cm^3$.

10.7. Што је сателит ближи Јупитеру, тим је већа његова тектонска активност чији су узроци плимско дејство и магнетно поље џиновске планете. Због овога код унутрашњих сателита површ се активно прерађује и стари кратери на њој исчезавају.

10.8. Меркур нема атмосферу и због тога се тамо не региструје појава метеора који настају сагоревањем чврстих космичких честица у атмосфери. При површи Меркура метеороиди имају брзину не мању од 4,3 kms^{-1} (друга космичка брзина на површи планете). Због овога је њихова кинетичка енергија толико велика да приликом удара о чврсту површ метеороид мора да испари. На планетама сличним Земљи кретање метеороида се постепено успорава, а они се хладе због аблације. Само захваљујући овом ми понекад откривамо метеорите на Земљи.

10.9. Земља, Ио, Венера (посредно), Тритон (суви вулкани).

10.10. У бестежинском стању доток крви у главу се повећава и организам космонаута се навикава на ово па укључује одређене компензационе механизме. По повратку на Земљу они, још неко време, настављају да делују и космонаути су приморани да спавају са главом ,,на доле" да обезбеде доток крви у њу ,,као за време бестежинског стања".

10.11. Астронаути су удисали чист кисеоник и због тога су притисак и густина атмосфере унутар станице били три пута мањи него на Земљи. Прорачунат за услове густог ваздуха на Земљи пикадо са стабилизационим перима није могао да се оријентише и долетао је до мете преврћући се.

10.12. У Јупитеровој атмосфери нема слободног кисеоника које је неопходан за сагоревање метана.

10.13. У Марсовој атмосфери која се састоји скоро од чистог угљен-диоксида, неће да горе ни керозин ни дрво. Само термит може да огреје космонауте јер се све компоненте неопходне за горење садрже у њему.

10.14. Заиста, Венерина атмосфера веома јако расејава светлост и због тога је немогуће да се јасно виде небеска тела са површи ове планете. Међутим, расејана светлост делимично доспева до површи и, стога, је за време обданице на Венери довољно светло, као на Земљи када је тмурно време. Ноћу је тамо тамно.

10.15. а) Само захваљујући изношењу прибора ван атмосфере могле су да настану такве области астрономије као што су рендгенска, далека инфрацрвена, гама, ултраљубичаста и радио-астрономија на врло великим таласним дужинама.
б) Непосредно проучавање космичких честица, Сунчевог ветра, микрометеоритске прашине могуће је само у космосу.
в) Настала је могућност да се непосредно проучавају површи и атмосфере планета, између осталог и недоступне области Земљине атмосфере које се налазе на висинама изнад 40 km.
г) Са појавом у орбити Хабловог телескопа погодностима ванатмосферских посматрања почела је да се користи и оптичка астрономија и тиме је скоро за ред величине повећала своју раздвојну моћ.
д) Лет апарата „Улис" према поларним областима на Сунцу ће да дозволи да се принципијелно проуче раније недоступне области наше звезде.
е) Изношење радио-телескопа ван Земље ће повећати основу интерферометара за много редова величине што ће да омогући непосредно мерење растојања до било каквих галактичких радио-извора и, чак, суседних галаксија, а такође да се проучи структура језгара квазара.

10.16. Нека су V и ρ запремина и средња густина људског тела, а ρ_v густина воде. Тада је тежина човека у води по Архимедовом закону једнака $P = gV(\rho - \rho_v)$, где је g убрзање при слободном падању. Према томе, за остале исте околности лакше је да се плива на Месецу где је g шест пута мање него на Земљи. Међутим, с обзиром да су вредности ρ и ρ_v међусобно веома блиске, не мање важна околност је конкретна густина воде. Тако је знатно лакше да се плива на Земљи у Мртвом мору него на Месецу у дестилованој води.

10.17. У условима бестежинског стања свећа ће се брзо угасити јер нема конвекције ваздуха која доводи кисеоник до пламена.

10.18. Пилот мора да обави поправку своје путање тако да нова орбита пресече полазну и он би приспео у тачку пресека истовремено када и сателит који лети испред њега. Могуће су две основне варијанте:
а) пресечна тачка се поклапа са тачком поправке. Претпоставља се да сателит који сустиже прелази на елиптичну путању која има додир са полазном кружном путањом у тачки поправке. Претпоставимо да је пилот одлучио да се упусти у класичну потеру: он саопштава импулс за поправку који повећава брзину сателита у смеру кретања. Тада он прелази на елиптичну путању која обухвата полазну кружну и има велики период (пошто је њена велика полуоса већа од полупречника кружне путање). На таквој путањи он ће још јаче да заостане од апарата који лети испред њега. Шта треба да учини искусан пилот? Очигледно, он мора мало да закочи лет ВЗС и да га преведе на елиптичну путању која у апогеју има додир са полазном кружном путањом. Пошто је велика полуоса нове путање мања од полупречника полазне, биће онда краћи и одговарајући

период обиласка. Ако се правилно изабере елиптична путања, сателити ће се, после једног обиласка, срести у додирној тачки. Ова варијанта је добра јер, ако нема никакве журбе, а треба штедети гориво, може се саопштити произвољно мали импулс за поправку путање и сусрет ће се, свеједно, догодити, али не после једног обиласка, него после њих неколико.
б) Пресечна тачка се не подудара са тачком поправке. Пилот убрзава кретање сателита, али не у смеру кретања, него баш према Земљи. Тада ће апарат да пређе на елиптичну (или параболичну) путању чији се перигеј налази унутар кружне путање. Пошто ће пут до друге пресечне тачке дуж нове путање да буде краћи него у случају кружне, а брзина већа, постоји шанса да га сустигне. Међутим, овај начин захтева већу потрошњу горива и није увек погодан (покушајте самостално да анализирате његове особине). Међутим, ако растојање између два апарата није велико, а имају се залихе горива, и овај начин ће бити погодан.

Минималан број поправки за приближавање сателита је један. Међутим, да би после блиског пролаза сателити имали једнаке брзине потребна је и друга поправка.

10.19. Упоредимо период обиласка станице око Марса са периодом обиласка Месеца око Земље. Према трећем Кеплеровом закону је

$$P^2 = \frac{a^3}{M},$$

где је P период обиласка у Месечевим (сидеричким) месецима, M маса у Земљиним масама и a велика полуоса путање у полупречницима Месечеве путање. Усвојивши за масу Марса $M_m = 0{,}107\ M_\oplus$, одредићемо a:

$$a = 384{,}4 \times 10^3 km \times \left[0{,}107\left(\frac{12^d}{27{,}3^d}\right)^2\right]^{1/3} = 105{,}6 \times 10^3 km.$$

С обзиром да растојање перицентра путање износи 5 хиљада km, а полупречник Марса је 3,4 хиљ. km, за растојање станице до Марсове површи у апоцентру добијамо: 105,5 – 5 - 3,4 ≈ 97 хиљ. km.

10.20. Из услова задатка није јасно да ли је вучна сила мотора ракете једнака њеној почетној или текућој тежини. Због тога ће обе варијанте бити размотрене. Одмах пошто мотори почну да раде маса ракете, а заједно са њом и њена тежина, почињу да се смањују на рачун избацивања сагорелог горива. Зато ће вучна сила мотора почети, најпре мало, а затим све више и више, да надмашује тежину ракету и она ће полетети. У другом случају се претпоставља да су вучна сила и тежина стално једнаке. Међутим, и тада је лет могућ ако се ракета лансира хоризонтално док не достигне прву космичку брзину.

10.21. Атмосферски притисак на Марсовој површи износи свега 6 mbar што је 160 пута мање него на Земљи. На тако ниском притиску вода може да постоји само у чврстом и гасовитом стању, тј. течне воде не може да буде.

10.22. За време трајања лета космичког брода Земља се померила за угао од $360^0 \times 1{,}5^h / 24^h = 22{,}5^0$. Према томе, космички брод се спустио на географској ширини Бајконура и то за $22{,}5^o$ западно од њега.

10.23. За ту сврху најбоље је да се посматра излаз или залаз звезда за хоризонт те планете: временски размак између два узастопна залаза неке звезде је баш период обиласка космичког брода.

10.24. Пошто ослабљена Сунчева светлост доспева до Венерине површи, њени становници би могли да измере трајање Сунчевог дана. Користећи Фукоово клатно или жироскоп може се измерити угаона брзина обртања планете, тј. трајање звезданог дана. Ови подаци су довољни да се израчуна трајање године.

10.25. Венера нема магнетно поље. Звезде на небу се не виде. Сунчева светлост се расејава веома јако и зато је немогуће да се одреди правац ка Сунцу по сјају неба. Међутим, то се може урадити по поларизацији расејане светлости: тако се оријентишу неке птице летачице када се Сунце не види због облака. Можда, има још начина. Који су то начини?

10.26. Нека су V_p^I и V_p^{II} прва и друга космичка брзина у перигеју, респективно, V_a^I и V_a^{II} исто то за апогеј, V_p и V_a брзина космичког брода у перигеју и апогеју, респективно, при кретању по елиптичној путањи, r_p и r_a растојање од средишта Земље у перигеју и апогеју, респективно, док је е ексцентриочност путање. Тада, из дефиниције ексцентричности, имамо:

$$\frac{r_a}{r_p} = \frac{1+e}{1-e}\text{, из другог Кеплеровог закона: } V_p r_p = V_a r_a$$

и из закона о одржању енергије:

$$e = 1 - \left(\frac{V_a}{V_a^I}\right)^2 = \left(\frac{V_p}{V_p^I}\right)^2 - 1 \qquad \text{или} \qquad e = 1 - 2\left(\frac{V_a}{V_a^{II}}\right)^2 = 2\left(\frac{V_p}{V_p^{II}}\right)^2 - 1$$

Одавде је

$$V_a = V_a^{II}\sqrt{\frac{1-e}{2}} \qquad \text{и} \qquad V_p = V_p^{II}\sqrt{\frac{1+e}{2}}$$

Одредићемо специфични импулс који треба да се саопшти броду да би достигао другу космичку брзину у перигеју и апогеју:

$$\Delta V_a = V_a^{II} - V_a = V_a\left(\sqrt{\frac{2}{1-e}} - 1\right); \qquad \Delta V_p = V_p^{II} - V_p = V_p\left(\sqrt{\frac{2}{1+e}} - 1\right)$$

Из последњих двеју једначина није тешко да се добија нова једначина:
$\Delta V_p = A\,\Delta V_a$, где је

$$A = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}\left(\frac{\sqrt{2}-\sqrt{1+e}}{\sqrt{2}-\sqrt{1-e}}\right)$$

Лако је да се докаже да ће за $0 < e < 1$ бити $A < 1$. Следи

$$\Delta V_p < \Delta V_a .$$

Дакле, доказали смо да убрзавање међупланетног брода у области перигеја прелазне путање захтева мање утрошке горива него иста ствар у области апогеја. Ово се може разумети на темељу општих концепата у физици: када се убрзавање врши у перигеју, радно тело избачено из мотора (сагорело гориво) је ближе Земљи, дакле има мању енергију него када се убрзава у апогеју. Ова разлика енергије и јест узрок због кога се за полазак са међу-путање даје предност перигеју.

10.27. Нека Земља има константну густину ρ. Тада је гравитационо убрзање које делује на ракету унутар Земље на растојању r од њеног средишта једнако

$$a(r) = \frac{GM_\oplus r}{R_\oplus^3},$$

тј. оно се мења по Хуковом закону, као код опруге. Аналогно, као што се то ради у настави физике у школама за опругу, налазимо рад ове силе по јединици масе ракете:

$$W(r) = \frac{GM_\oplus r^2}{2R_\oplus^3}.$$

Тада ће специфична кинетичка енергија ракете која слободно пада у средишту Земље да има вредност

$$\frac{V_c^2}{2} = W(R_\oplus) = \frac{GM_\oplus}{2R_\oplus} \qquad \text{а брзина} \qquad V_c = \sqrt{\frac{GM_\oplus}{R_\oplus}} \equiv V_1 = 8km/s.$$

Нека, приликом пролетања кроз средиште Земље, ракета укључи мотор и промени своју брзину за износ ΔV. Тада, када излети на другој страни тунела, она ће имати брзину

$$V = \sqrt{(V_c + \Delta V)^2 - V_c^2}, \qquad \text{одакле је} \qquad \Delta V = \sqrt{V^2 + V_c^2} - V_c.$$

Да се лансира међупланетна летелица неопходна је брзина $V = V_{II} = 11{,}2\ kms^{-1}$. Дакле, довољно је $\Delta V = 5{,}8\ kms^{-1}$ за лансирање међупланетне летелице на овај начин. Економику горива ћемо оценити користећи формулу Циолковског: $\Delta V = V_r \ln \frac{M_1}{M_2}$,

где је ΔV промена брзине ракете, V_r брзина истицања гаса, а M_1 и M_2 почетна и крајња маса ракете, респективно. За $\Delta V = 0{,}5\ V_{II}$ добијамо економику почетне тежине ракете једнаку $e^2 \approx 7$ пута. Није лоше!

Узрок добитка у енергији је овде исти као и у задатку **10.26**: гасови избачени у средишту Земље имају знатно мању енергију него изнад њене површи. Да се искористи тунел други пут требало би изнети ове гасове на Земљину површ, дакле потрошити део добијене енергије. Узгред буди речено, нисмо узели у обзир отпор ваздуха кретању ракете кроз тунел. Покушајте да оцените притисак и густину ваздуха на средини тунела. Када то учините, схватићете да је пре лансирања ракете из тунела неопходно да се испумпа сав гас. Облик тунела зависи од географске ширине места где би се он бушио јер тело које слободно пада има отклон од вертикале на исток услед Кориолисовог убрзања. Између Земљиних полова тунел ће бити праволинијски. На екватору он ће бити представљен као половина лука издужене елипсе (сетите се да се ракета унутар хомогене Земље креће по Хуковом закону). У стварности, Земља није сасвим хомогена, њена густина се повећава према средишту. То ће још више да повећа добитак у енергији приликом лансирања ракете кроз тунел и учиниће да екваторски тунел не буде сасвим елиптичан.

10.28. Да би се достигла брзина $V=11\ kms^{-1}$ неопходна за полазак на Месец, крећући се са убрзањем а, треба прећи пут

$$s = \frac{V^2}{2a} = \frac{V^2}{20g} = 605km.$$

Тунел такве дубине (ваљда топ такве дужине – прим. редактора) немогуће је саградити. Тежина човека у тренутку пуцња би се повећала 11 пута. Међутим, прибори на сателиту могу да издрже убрзања до 10^4 g. Том приликом дужина топа се скраћује до 1 km што је техничкии у потпуности остварљиво.

10.29. Не, пошто је брзина истицања гасова из њих битно мања од друге космичке брзине на Земљиној површи: ови гасови неће да напусте Земљу и неће јој саопштити кретање.

10.30. Што је већа температура гаса, то је већа брзина топлотног кретања атома или молекула. Ова брзина се практично поклапа са брзином звука у гасу и са брзином истицања гаса из ракетног мотора (V_g). Вредност величине V_g је најважнији индикатор ефективности ракете јер је импулс, који потиче од гасова истеклих из ракете, пропорционалан производу V_g и логаритма масе горива. Заиста, ако је M „сува маса ракете", а M_g маса горива, брзина ракете по формули Циолковског износи

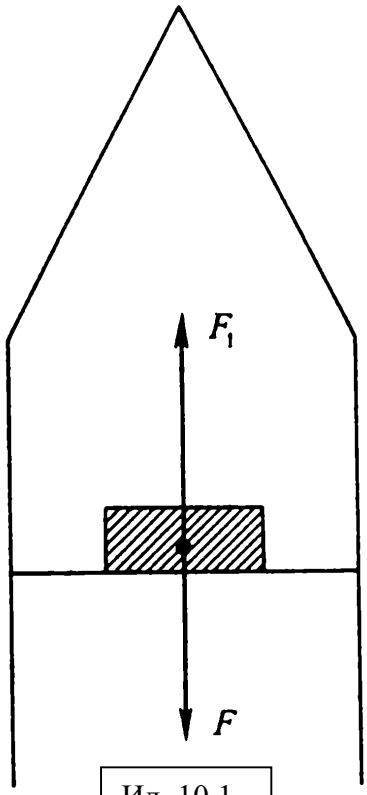
$$V = V_g \ln \frac{M + M_g}{M} \approx V_g \ln \frac{M_g}{M}$$

јер је обично $M_g >> M$. Према томе, ако се температура сагоревања горива удвостручује, брзина истицања се повећава 1,4 пута и маса горива може да се смањи $e^{1,4} = 4$ пута.

10.31. За електролизу воде на водоник и кисеоник треба потрошити не мање енергије него што је њена количина издвојена приликом сагоревања добијене „праскаве смесе". Према томе, дати процес има смисла само за акумулацију енергије. На пр., ако космички апарат непрекидно добија енергију од Сунчевих батерија мање снаге, а ракетни мотор се укључује периодично после великих временских интервала, овај процес може да буде погодан: боље је да се има основна залиха горива у облику воде, него да се одвојено чувају кисеоник и водоник у криогеним резервоарима.

10.32. За период осциловања клатна у вакууму важи $P \propto \sqrt{L/a}$, где је L његова дужина, а **a** убрзање силе теже. Међутим, за остале непромењене услове клатно у средини са отпором ће да осцилује са већим периодом. Дакле, најбржи часовник биће онај на Земљи, а најспорији - на Месецу, смештен у ваздушној средини.

10.33. За космонауте опасан је не оптички бљесак, него космичке честице (протони) које долазе после њега. Оне стижу до Земље са мањим закашњењем и њихов флукс, постепено се смањујући, сасвим опадне после само неколико часова. Према томе, благовремена вест о почетку бљеска даје могућност космонаутима да се заклоне апаратом са дебелим зидом на спуштање и да се не излажу зрачењу. Сами космонаути обично не надгледају Сунчеву површ: они за то немају ни времена ни одговарајућих инструмената. Такође је важно да службе на Земљи могу, не само да региструју оптички бљесак, него и да га предвиде на основу конфигурације Сунчевог магнетног поља.



Ил. 10.1.

10.34. Нека је F сила којом Земља привлачи тело (Ил. 10.1). Тежина, то је сила са којом тело притиска на подлогу. Са истом толиком силом, по интензивности, подлога врши притисак на тело (трећи Њутнов закон). Означићемо ову силу са F_1. Заједно са ракетом тело се креће нагоре са убрзањем g и, према томе, збир F_2 свих сила које дејствују на њега једнак је mg (други Њутнов закон). За позитиван смер изабрали смо смер кретања ракете, тј. нагоре. Пошто је $F_2 = F + F_1$, добићемо

$$F_1 = F_2 - F ,$$

где је $F_2 = mg$ и $F = - mg$. Одавде је $F_1 = 2mg$. На тај начин, на Земљиној површи тежина тела је
једнака 2mg. Са удаљавањем од Земље привлачна сила F се смањује, приближавајући се нули
(Њутнов закон гравитације). У граничном случају за $F = 0$ и $F_1 = F_2$ тежина тела ће бити једнака
mg. Дакле, тежина тела опада од 2mg на Земљиној површи до mg у бесконачности.

10.35. Лишена Сунчеве светлости Земљина површ ће се хладити на рачун инфрацрвеног зрачења. Услед тога ће знатно да опадне температура површи. Такви услови настају ноћу у сувом пустињском или крају на високим планинама где је атмосфера лишена водене паре која задржава инфрацрвено зрачење. Ујутру се тамо температура спушта за неколико десетина степени.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

11. АСТРОФИЗИКА

* * * * * □ * * * * *

11.1. Сунчева корона је веома разређена и не може знатно да загреје густу материју језгра комете. Тачно тако, не загревају се ВЗС који се крећу у Земљиној термосфери где се температура мери хиљадама степени.

11.2. Привлачење од стране Месеца је шест пута мање од Земљиног и због тога су атоми и молекули гасова, од којих се састоји атмосфера, могли током дугог трајања еволуције да напусте Месец, али не могу да се отргну од Земље.

11.3. Најопрезнија процена димензија (L) објекта који зрачи добија се ако се пође од тога да L не може да буде веће од растојања које светлост пређе за време трајања импулса (P = 0,002 s), јер би се, у противном, импулси који излазе из различитих тачака објекта наслагали један на другог. Тада је L ≤ CP = 600 km. Међутим, ми тачно знамо да су пулсари компактне звезде које се обрћу. За један обрт звезда шаље један импулс. Дакле, да брзина површи не буде већа од брзине светлости, мора бити задовољена неједнакост

$$\frac{2\pi R}{P} \leq C$$

где је R полупречник звезде. Тада је R ≤ 100 km. Тако мале могу бити само неутронске звезде, средишњи делови масивних звезда који су се сажели услед катастрофе - експлозије супернове.

11.4. Очигледно је да је промена фреквенције приспећа импулса од свих пулсара са истим периодом - годину дана - повезана са кретањем Земље по орбити и Доплеровим ефектом који настаје услед тога. Ако се растојање између извора и посматрача мења брзином V, а фреквенција одашиљања импулса од стране извора је ν_0 , промена ове фреквенције за посматрача износи

$$\Delta\nu \equiv \nu - \nu_0 = -\nu_0 \frac{V}{C},$$

где је C брзина светлости којом се простиру радио – импулси. Појава знака „минус" у формули се лако објашњава, на пр., ако се извор удаљава од посматрача, растојање до њега расте и његова брзина ће бити позитивна, али фреквенција приспећа импулса се тада смањује и следи да је негативна. Важно је да се примети да брзина V није укупна брзина извора у односу на посматрача, него само она њена компонента чији је правац права која их спаја. Обично се она назива радијална компонента брзине или радијална брзина и у својој ознаци има индекс “r”. Доплеровска промена фреквенције, на тај начин, износи

$$\Delta\nu = -\nu_0 \frac{V_r}{C}.$$

Пошто су период и фреквенција импулса повезани инверзном зависношћу (P = 1 / ν), биће

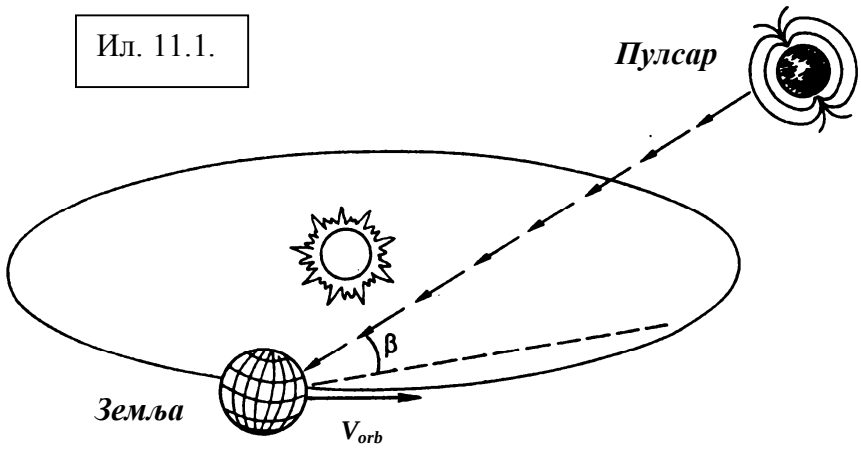
$$\frac{\Delta P}{P_0} = -\frac{\Delta\nu}{\nu_0}.$$

Знак „минус" је овде такође лако разумљив: ако се извор приближава посматрачу, фреквенција приспећа импулса расте, а интервал између њих, насупрот, се смањује. Дакле, промена интервала између импулса је

$$\Delta P = P_0 \frac{V_r}{C}$$

Наравно, Земља се заједно са Сунчевим системом креће неком брзином у односу на било који пулсар. Међутим, ово галактичко кретање се мења врло полако - милионима година - и можемо да га не узимамо у обзир, претпостављајући да је фреквенција импулса, промењена услед овог кретања, исто што и основна фреквенција пулсара (ν_0). Реално, уочене промене са периодом од годину дана се догађају због обилазног кретања Земље брзином $V_{orb} = 30\ kms^{-1}$. Вектор ове брзине се налази у равни еклиптике. Ако је латитуда пулсара β, брзина Сунца у односу на њега се мења током године за $\pm V_{orb} \cos\beta$ (Ил. 11.1). Дакле, варијације периода ће бити $\Delta P = \pm P_0 V_{orb} \cos\beta / C = \pm 10^{-4} P_0 \cos\beta$. Пошто се маглина Краб налази у зодијачком сазвежђу Бика, може да се претпостави да је $\cos\beta \approx 1$. Тада је $\Delta P = \pm 3{,}3 \times 10^{-6}$ s. Минимални период ће да буде онда када се Земља креће у правцу пулсара. Ово се догађа четврте године после пролаза Сунца дуж еклиптике заједно са пулсаром; а пошто се Сунце у источном делу Бика налази средином децембра, тражени месец је март.

Ил. 11.1.



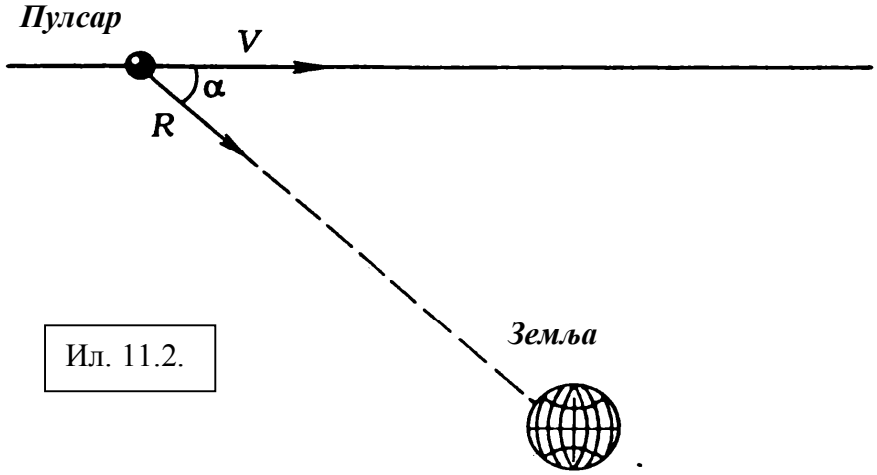
Узгред буди речено, да доплеровски помак фреквенције због кретања Земље не би сметао да се истражују стварне промене периода пулсара, обично се одмах после посматрања врши поправка измереног периода тако што се одузима од њега ΔP и на тај начин период своди на фиктивног посматрача који се налази у центру масе Сунчевог система.

11.5. Решавајући задатак **11.4.** доказали смо да се промена периода примљених импулса услед кретања пулсара описује Доплеровом формулом

$$\Delta P = P_0 \frac{V_r}{C}$$

где је P_0 период између импулса који се зраче, C је брзина светлости, V_r је компонента брзине пулсара дуж визуре (тј. радијална брзина).

Ако вектор брзине пулсара **V** заклапа угао α са јединичним вектором R усмереним од пулсара ка посматрачу (Ил. 11.2), тада је



Ил. 11.2.

$$\Delta P = -P_0 \frac{|V| \cos\alpha}{C}$$

Ако се пулсар креће равномерно праволинијски, интензивност његове брзине | V | се не мења, а угао α стално расте у границама од 0^0 до 180^0. Дакле, cosα ће стално да се смањује, док ће интервал између два импулса $P = P_0 + \Delta P$ стално да расте. У суштини, ово и јест чувени Доплеров ефект који се састоји у томе што се тон сирене локомотиве стално снижава када се она удаљава од посматрача.

11.6. Узимајући у обзир да плимски утицај планете изазива на Сунцу две дијаметрално супротне „грбе" може се закључити да се максимална висина плиме и осеке догађа онда када се обе планете и Сунце налазе на једној правој (тада се „грбе" једна на другу надовезују). Период (T) између ових тренутака је време између опозиције и конјункције Венере и Јупитера. Наћи ћемо га коришћењем једначине синодичког кретања:

$$\frac{1}{2T} = \frac{1}{T_{ven}} - \frac{1}{T_{jup}},$$

где је T_{ven} период обиласка Венере (0,62 године), а T_{jup} исто за Јупитер (11,86 година). Тада је T = 0,33 Земљиних година или 4 Земљина месеца. Јасно је да 11-годишњи и (фундаменталнији) 22 – годишњи циклус Сунчеве активности не могу да се објасне плимским утицајем планета на Сунце.

11.7. Као и у задатку **11.3** можемо да тврдимо да када би димензије области из које долази зрачење биле веће од њене светлосне дужине, једнаке $L = C\Delta t$, зрачење, које потиче од различитих делова те области, не би могло синхроно (тј. унутар временског интервала не већег од Δt) да стигне до посматрача. Према условима задатка је $\Delta t = 5^{min}$, дакле $L \leq 0{,}6$ AJ.

11.8. Густина међузвездане средине је врло мала и због тога се њени атоми ретко међусобно сударају и имају довољно времена између судара да израче вишак енергије и пређу у основно стање у коме се електрон налази на енергетски најнижој путањи. Према томе, међузвездане апсорпционе линије у спектрима звезда се образују при прелазима електрона са најнижег нивоа на оне више. Код већине атома, најраспрострањенијих у природи, (H,He,C,N,O) ови прелази поседују велику енергију и због тога апсорпционе линије се налазе у далекој ултраљубичастој области спектра која је доступна само за космичке телескопе.

У звезданим атмосферама густина је велика и атоми се, услед честих судара, стално налазе у побуђеном стању. Због овога они апсорбују светлост при прелазима електрона са другог, трећег нивоа, на неки виши. Енергија ових прелаза није велика и апсорпционе линије се налазе у видљивој области спектра.

11.9. Пре свега - према спектру. Чак и ако је врела звезда поцрвенела због међузвездане апсорпције светлости, која је нарочито јака у плавој области спектра, то није утицало на присуство линија са великом енергијом побуђивања у њеном спектру, а којих не може бити код неке хладне звезде.

Међутим, врло често могу да се одреде, и без спектралних истраживања, стварна боја и температура звезде. У ту сврху је неопходно да се измери њен сјај за неколико различитих дијапазона спектра, на пр. са широкопојасним филтрима U, B и V (респективно, ултраљубичаста, плава и визуална област спектра) и да се грубо одреди његов облик према разлици сјаја у суседним дијапазонима: (U – B) и (B – V). Ове разлике у астрономији се зову боје. Установљује се да промена температуре звезда (на пр. дуж главног низа) и промена степена међузвездане апсорпције различито утичу на релацију за боје звезда. Због овога, у већини случајева три мерења сјаја кроз филтре U, B и V су довољна да се одреди, како степен међузвездане апсорпције, тако и стварна температура звезде.

11.10. Емисионе линије настају онда када се врео гас види на позадини хладније површи. На пр., ако звезда има растегнуту полупрозрачну атмосферу, тада већи део атмосфере видимо на позадини хладног космичког простора. Растегнуте атмосфере обично настају услед инверзије температуре, када престаје монотоно опадање температуре са удаљавањем од средишта и почиње њено рашћење.

Примери нестационарних звезда са таквом грађом су оне које су збациле омотач: нове или планетарне маглине. Стационарније звезде са емисионим линијама у спектрима су Волф-Рајеове звезде, као и оне типова Of -, Be - и Ae - звезде и P Лабуда и неке друге вреле звезде које интензивно губе материју и због тога су окружене довољно густим врелим гасом.

Наше Сунце такође има инверзију температуре у атмосфери јер је хромосфера, а поготову корона, врелија од фотосфере која је ближа средишту Сунца од њих. Међутим, дебљина

хромосфре је толико мала, а корона до те мере разређена, да се емисиони спектар Сунца може посматрати само за време помрачења када се фотосфера уопште не види.

11.11. Сваки елемент има мноштво хладних спектралних линија. Ако се неке од њих поклапају са линијама других елемената (а то се догађа не тако ретко), морају се потражити у спектру друге линије овог елемента.

11.12. Ако брзина сусрета надмашује критичну (другу космичку) брзину, како на површима нормалних звезда (500 - 650 kms^{-1}), тако и за галаксију као целину (300 - 600 kms^{-1}), може да се сматра да судар галаксија једноставно протиче као пролажење једне галаксије кроз другу без суштинског утицаја ефекта гравитационог фокусирања. За мању брзину сусрета узајамно привлачење звезда би могло да доведе до њиховог приближавања што би повећало вероватноћу судара. Вероватноћа судара за једну звезду која пролази кроз галаксију једнака је односу укупне површине попречног пресека звезда (S_*) и површине попречног пресека галаксије (S_G). Ако је r полупречник типичне звезде, а N број звезда у галаксији, биће $S_* = \pi r^2 N$. За дисколику галаксију полупречника R и дебљине H попречни пресек зависи од оријентације: ако је диск постављен пљоштимице, тада је $S_G = \pi R^2$, а ако стоји са стране, онда је $S_G = 2RH$. Укупан број судара (k) приликом пролаза једне галаксије кроз другу, биће једнак производу вероватноће судара за једну звезду и броја звезда у галаксији које учествују у судару, тј. пролазе кроз другу галаксију (N_*):

$$k = N_* \frac{S_*}{S_G}$$

Размотрићемо три случаја:
1) „обе пљоштимице": $N_* = N$

$$k_1 = \frac{NN\pi r^2}{\pi R^2} = N^2\left(\frac{r}{R}^2\right).$$

2) обе „са стране": $N_* = N$

$$k_2 = \frac{NN\pi r^2}{2RH} = N^2\left(\frac{\pi R}{2H}\right)\left(\frac{r}{R}\right)^2.$$

3) „са стране у диск": $N_* \approx 2RHN / (\pi R^2)$ - ово је број звезда у галаксији која стоји пљоштимице, а које пролазе кроз другу галаксију која стоји са стране. Тада је

$$k_3 = \left(\frac{2RHN}{\pi R^2}\right)\left(\frac{N\pi r^2}{2RH}\right) = N^2\left(\frac{r}{R}\right)^2.$$

Пошто је код дисколиких галаксија $R \approx 10H$, биће

$$k_1 = k_3 = \frac{2h}{\pi R} k_2 \approx \frac{1}{16} k$$

За галаксије сличне нашој имамо $N \approx 2\times10^{11}$, $R \approx 15$ kpc, $r \approx r_{sun} = 7 \times 10^8$ m.

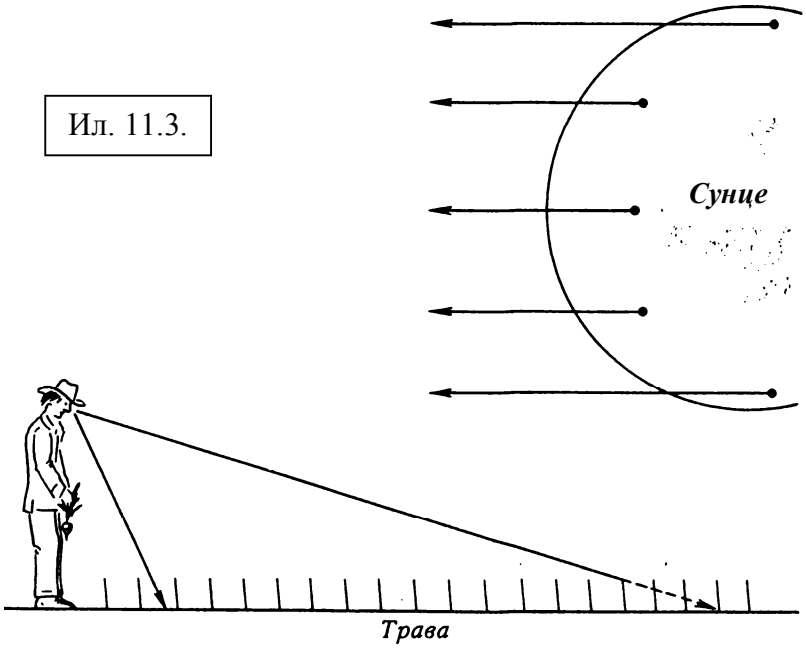
Дакле, $k_1 = k_3 = 0{,}1$, а $k_2 = 1{,}6$. Другим речима, приликом сусрета галаксија „пљоштимице" или „са стране у диск" судари звезда су мало вероватни, а приликом сусрета обе „са стране" могућа су 1-2 судара. На тај начин приликом пролаза галаксија једне кроз другу звезде се практично не сударају и, према томе, једна другу не „растачу". Међутим, наравно, међузвездани гас једне галаксије трпи јак судар са гасом друге.

11.13. Ово запажање је у потпуности тачно и има једноставно геометријско тумачење (Ил. 11.3). Травчице расту углавном вертикално и због тога је површина њиховог видљивог попречног пресека пропорционална sinα, где је α угао између визуре и вертикале. С друге стране је пут зрачења у слоју траве обрнуто пропорционалан cos α. Дакле, вероватноћа догађаја да ће на путу зрака светлости да се нађе травчица, а не гола земља, пропорционална је tg α. Ето, зашто гледајући себи под ноге ми видимо кроз траву голу земљу, а када гледамо у суседово земљиште наш поглед клизи под мањим углом према Земљиној површи, наилази на више травчица и не

досеже до голе земље. Ако ви и ваш сусед немате травњак испред куће, моћи ћете да проверите овај ефект гледајући под разним угловима длаке обичне четкице за зубе.

Аналоган ефект на Сунцу доводи до потамњења Сунчевог диска према крају. Када гледамо у средиште Сунчевог диска, видимо зраке који излазе из дубоких и довољно врелих слојева фотосфере. Када наш поглед иде ка крају Сунца, ови зраци неће стићи јер не могу да се пробију кроз велику дебљину хладније материје која апсорбује светлост. Због овога на крају ми видимо више, а то значи и хладније и тамније, слојеве фотосфере.

Ил. 11.3.



Апсорпциону моћ материје у датом правцу астрономи називају оптичка дубина. Очигледно, пролазећи нормално на површ светлост савладава мању оптичку дубину него у било ком другом правцу. Према томе, када поглед иде у средиште Сунчевог диска, ми видимо светлост која долази са веће дубине него онда када гледамо ка крају диска.

Враћајући се „на Земљу" може да се каже (астрономским терминима) да је за посматрача оптичка дубина траве на суседовом земљишту већа него на сопственом. Због тога је она и „зеленија".

11.14. Зашто честице прстена морају да се сударају? Када би се оне кретале у једној равни по кружним путањама, њихове путање се не би пресецале. Међутим, под дејством различитих поремећаја (пре свега, то су Сатурнови сателити) путање честица прстена су међусобно под малим угловима. Због овога током једног периода обиласка (P) свака честица два пута пресеца дебљину прстена (H) са средњом брзином у односу на друге честице V=2H / P. Према услову задатка H ≤ 3 km. Период обиласка ћемо одредити из III Кеплеровог закона:

$$P = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM_{sat}}},$$

где је R средњи полупречник прстена, а M_{sat} је маса Сатурна. Полупречници главних Сатурнових прстенова (A, B и C) износе од 1,3 R_{sat} до 2,3 R_{sat} , где је R_{sat} екваторски полупречник саме планете. За нашу оцену је довољно да се усвоји R ≈ 2 R_{sat} и да се сетимо да период обиласка ВЗС на ниској путањи износи

$$P_{VZS} = 2\pi\sqrt{\frac{R_{\oplus}^3}{GM_{\oplus}}} = 1{,}5h$$

Обративши пажњу да је величина у загради обрнуто пропорционална средњој густини планете добићемо за Сатурнов прстен

$$P = P_{vzs}\left(\frac{\rho_{\oplus}}{\rho_{sat}}\right)^{1/2}\left(\frac{R}{R_{sat}}\right)^{3/2}$$

где је $\rho_{\oplus}$ = 5,5 gcm^{-3} Земљина густина, а ρ_{sat} = 0,7 gcm^{-3} Сатурнова густина. Коначно је P=1,5 часова$\times\sqrt{5{,}5/0{,}7}\ \times 2^{3/2}$ = 12 часова. Следи да је брзина сударања честица

$$V \le 2\,\frac{3km}{12h} = 0{,}5km\,/\,h = 14cm\,/\,s.$$

Може се претпоставити да удари са тако малом брзином не доводе до суштинског разарања чврстих честица прстена.

О учестаности судара се може судити према апсорпцији светлости: јер она слаби отприлике два пута, дакле сваки други фотон, пошто пресече прстен, сретне на путу честицу. Очигледно је да ће се и честице међусобно сударати исто толико често: једанпут за два пресецања прстена, тј. за један период обиласка.

11.15. Ово се може урадити довољно убедљиво, чак и без телескопа. Чињеница да звезде трепере, а планете не, указује на прилично велике угаоне димензије планета. Без обзира на ово, сјај планета је често слабији од сјаја звезда (упоредите Сатурн и Вегу). Тако може бити само у случају када јединица површине планете зрачи знатно мање светлости него јединица површине звезде. За тела која светле сопственом светлошћу ово је могуће само ако се температуре на површима разликују. Међутим, тада би се разликовао и спектрални састав зрачења, а планете имају приближно исту светлост као и звезде (упоредите Сатурн и Вегу или Марс и Антарес). Дакле, планете светле одбијеном светлошћу. Још један аргумент у прилог томе је зависност сјаја планета од фазног угла „Сунце-планета-Земља".

11.16. Ако је пре експлозије звезда имала луминозност L_1 и привидну величину m_1, а после L_2 и m_2, респективно, веза између њих је следећа:

$$\log \frac{L_2}{L_1} = 0{,}4(m_1 - m_2) = 0{,}4(21 - 2) = 7{,}6.$$

Следи да се луминозност звезде повећала $10^{7,6} \approx 4 \times 10^7$ пута. Према Доплеровом принципу омотач звезде се ширио брзином

$$V = C\,\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3 \times 10^5 km / s\,\frac{4{,}1nm}{486{,}1nm} = 2{,}5 \times 10^3 km / s.$$

11.17. Само историјска: спољашњи изглед неких планетарних маглина подсећа на дискове планета. Осим тога, округла маглина са сјајном звездом у средини наводила је неке астрономе из времена породице Хершел на помисао да је то планетни систем (planetary nebula) који се образује у сагласности са Кант-Лапласовом хипотезом.

11.18. Полупречник путање се повећава. Ствар је у томе што код астероида који се обрће, а осветљава га Сунце, максимална температура на површи се јавља у области терминатора приликом преласка од светлости ка сенци („вечерња" област), а минимална, такође на терминатору, али када се прелази из сенке у светлост („јутарња" област). За дати смер обртања хладна област ће бити према кретању астероида, а врела позади. Настаје ефект фотонске ракете: топлотно зрачење астероида је углавном усмерено назад, а његова реакција која убрзава астероид, напред.

.

11.19. Унутар белих патуљака нема водоника; они се претежно састоје од хелијума и тежих елемената. Температура од 40 милиона К није довољна за термонуклеарно сагоревање хелијума.

11.20. Очигледно, њих има око $10^8 / 50 = 2$ милиона.

11.21. Из другог Њутновог закона видимо да је сила

$$F = ma = m\,\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta(mV)}{\Delta t},$$

тј. једнака је промени импулса тела (mV) у јединици времена (ако је маса тела константна). Сматраћемо да се протони Сунчевог ветра лепе за Месец предајући му свој импулс, али, практично, не мењајући његову масу. Нека је V брзина ветра, а n концентрација честица. Тада у јединици времена на јединицу површине попречног пресека Месечевог диска падне nV честица које предају импулс у износу од m_pVnV. Проистиче да је импулс који прима у јединици времена цео Месец, а чији је полупречник $R_\subset$ = 1737 km, једнак
$F = \pi R_\subset^2 n m_p V^2 = 1{,}4 \times 10^4$ N =14 kN . (*грешка у оригиналу - пише 1,4 тоне. прим.прев.*)

11.22. Пошто је хемијски састав звезда исте старости практично исти, следи да и удео

радиоактивних елемената у њима треба да буде једнак. Тада би снага зрачења звезде (луминозност) била пропорционална њеној маси и, заиста, за звезде Сунчевог типа луминозност је пропорционална четвртом степену масе!

11.23. Спектрална класификација звезда се врши према спољашњем изгледу спектра. Присуство истих спектралних линија значи да у атмосферама звезда има подједнако побуђених или јонизованих хемијских елемената. Међутим, један патуљак има знатну гушћу атмосферу него џин. У густом гасу се чешће догађа рекомбинација електрона и јона (јер се они чешће сударају један са другим). Према томе, да би се одржало слично стање јонизације патуљак треба да има већу температуру.

Пример: Сунце, патуљак спектралне класе G2, има температуру од 5780 K, а звезда π Цефеја, џин спектралне класе G2, свега 5300 K.

11.24. Сагласно Доплеровом принципу радијална брзина галаксије је $V=C\,\Delta\lambda / \lambda_0$. Сматрајући да ова брзина у потпуности потиче од космолошког ширења васионе, одредићемо растојање до галаксије користећи Хаблов закон ($V=H_0D$):

$$D = \frac{V}{H_0} = \frac{C\Delta\lambda}{H_0\lambda_0},$$

где је C брзина светлости, а H_0 Хаблова константа за коју усвајамо вредност од 100 km (s Mpc)$^{-1}$. Ако се угаоне димензије галаксије изразе у радијанима (d = 3'/3438' = 8,7 $\times 10^{-4}$ rad), њен стварни полупречник ће бити

$$R = \frac{dD}{2} = \frac{d\Delta\lambda C}{2\lambda_0 H_0}.$$

Брзину кретања звезда у галаксији ћемо такође одредити из Доплеровог принципа: ширење спектралних линија у галаксијама потиче од тога што се део звезда креће ка нама, а део од нас. Због овога карактеристична брзина звзеда ће бити $v = C\sigma / 2\lambda_0$. Очигледно, ово није ништа друго до брзина обртања звезда око средишта галаксије, а која је блиска кружној брзини: $v^2 \approx GM / R$, где је M маса галаксије. Тада је

$$M = \frac{v^2 R}{G} = \frac{d\Delta\lambda\sigma^2 C^3}{8\lambda_0^3 H_0 G} = 2{,}4 \times 10^9 M_{sun}$$

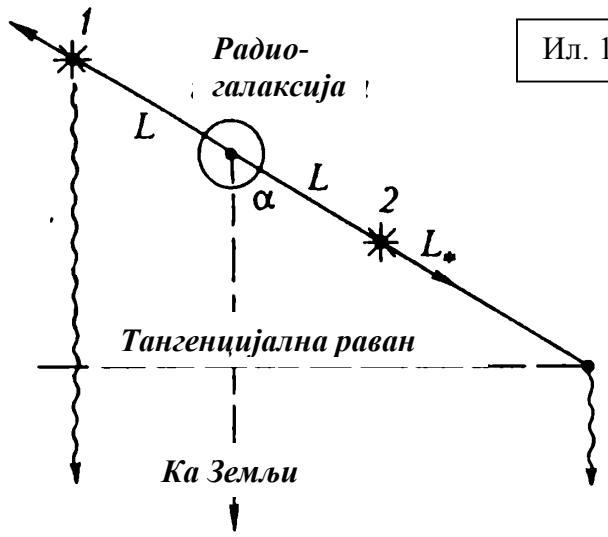
Ако се сада полупречник галаксије и брзина кретања звезда у њој израчунају на основи датих података, добићемо R=1,2 kpc и v = 93 kms^{-1}. На тај начин имамо пред собом малу, али довољно густу, елиптичну галаксију која личи на сателит Андромедине маглине - галаксију Месије 32.

11.25. Формално гледано, није тешко да се реши овај задатак. Температура нормалне фотосфере је 5800 K, а пеге, у просеку, око 4500 K. Луминозност је по Штефан-Болцмановом закону пропорционална четвртом степену температуре на површи и због тога је болометријски сјај пеге $(58/45)^4$ = 2,8 пута мањи од сјаја фотосфере. Дакле, половина Сунчеве површи покривена пегама ће да има луминозност $L = (0{,}5 / 2{,}8)L_{sun} = 0{,}2L_{sun}$, а целокупно Сунце 0,7 L_{sun}.

Међутим, дубља анализа задатка указује на неку неједнозначност услова. На пример, шта је то „Сунчева пега"? Пега има сенку са температуром за 2-2,5 хиљада K мањом од температуре фотосфере и полусенку која је од фотосфере хладнија само за неколико стотина Келвинових степени. Следи да је болометријски сјај сенке 10 пута мањи од сјаја фотосфере, а полусенке свега за 25%. Према томе, решење задатка веома зависи од усвојеног односа површине за сенку и полусенку пеге.

Међутим, још је сложеније да се узме у обзир следећа околност. Ако се разматра не само сама пега, него и територија фотосфере која је окружује, налазимо да се укупан флукс енергије са ове територије приликом појаве пеге практично не мења. Не налазећи излаз кроз пегу, енергија се устремљује споља кроз суседне делове фотосфере. Обично су пеге окружене широким пољима буктиња. Температура буктиња је за 200-300 K већа од температуре фотосфере, али својом површином оне далеко превазилазе пеге и битно компензују смањење луминозности Сунца проузроковано пегама.

Дати задатак ни на који начин није апстрактна астрофизичка вежба. Премда се никада не догађа да половина површи нашег Сунца буде прекривена пегама, постоје звезде са јачим магнетним пољем које доводи до образовања ципновских пега које покривају велики део површи звезде. Према томе, тачно решење овог задатка је у потпуности актуелан и довољно сложен научни проблем.



Ил. 11.4.

11.26. Нека су се извори удаљили од језгра галаксије на растојање L (Ил. 11.4). Нађимо време потребно да сигнал од извора (1), који се удаљава, доспе у тангенцијалну раван у којој се креће извор (2) који нам се приближава:

$$\Delta t = \frac{2L\cos\alpha}{C - V\cos\alpha},$$

где је α засада произвољни угао између правца разлетања извора и визуре. Очигледно, за ово време ће извор (2) да пређе растојање VΔt и већ да се удаљи од језгра галаксије на растојање $L_* = L + V\Delta t$. Дакле, посматрани однос угаоних растојања извора од средишта галаксије једнак је

$$\frac{L_*}{L} = 1 + \frac{2\cos\alpha}{\frac{C}{V} - \cos\alpha}$$

За V / C = 2 / 3 и $\alpha = 60^0$ добићемо $L_* / L = 2$.

11.27. Са порастом масе звезде повећава се температура гаса у њеној средишњој области и због овога брзо расте интензивност термонуклеарних реакција. Код звезда, где маса није сувише велика (до 30 M_{sun}), зависност луминозности од масе је веома јака: $L \propto M^{\gamma}$, где је $3 \le \gamma \le 5$. Залихе нуклеарног горива су, очигледно, пропорционалне маси звезде. Према томе, време живота је $t \propto M / L \propto M^{1-\gamma}$. Претпоставивши да је у просеку γ = 4 добијамо $t \propto M^{-3}$. Ако време живота за Сунце треба да буде реда величине 10^{10} година, тада ће за звезду двоструко веће масе оно бити реда величине 10^9 година.

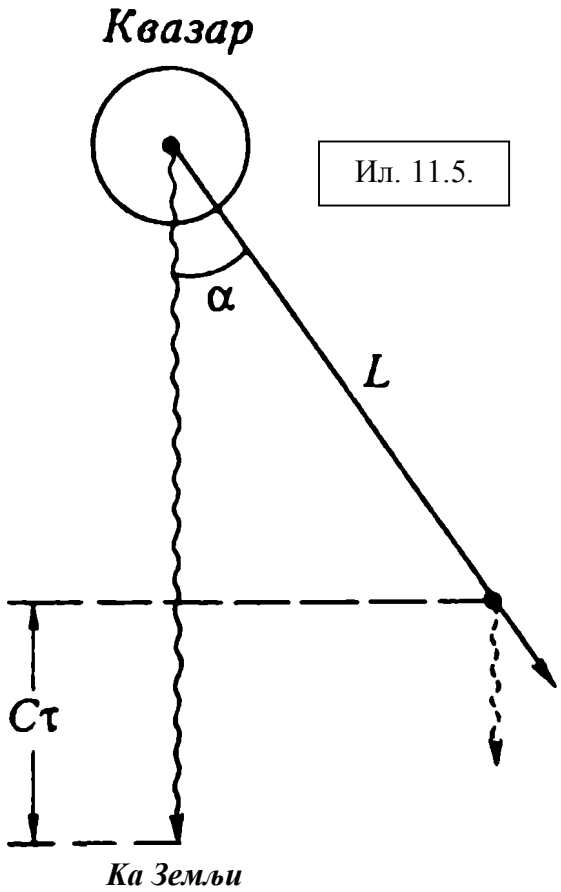
Међутим, код веома масивних звезда луминозност се не повећава тако интензивно. Њихова је луминозност већ толико велика да притисак зрачења постаје упоредив са гасним и игра све већу улогу у равнотежи звезде. Према томе, притисак гаса (а такође и температура) са порастом масе се већ не повећава тако брзо, а и интензивност термонуклеарних реакција се такође мења незнатно. За веома масивне звезде важи релација $L \propto M$ и зато њихово време живота не зависи од масе и износи неких 3 – 5 милиона година.

11.28. Нека је V брзина извора, а C брзина светлости. За време t извор се удаљио од језгра квазара за растојање L=Vt, а у пројекцији на небеску сферу за растојање σ = Lsin α (Ил. 11.5). За то исто време сигнал, који је послао извор у тренутку „старта" из језгра, прешао је растојање Ct. У пројекцији на визуру растојање између њега и извора износи (Ct-L cos α). На Земљи ми ћемо најпре да видимо извор у језгру, а после временског размака τ = (Ct - L cos α) / C видећемо га на растојању L од језгра. Међутим, пошто су нама познати само растојање до квазара (на основу црвеног помака) и угаоно померање радио-извора, може се одредити само пројекција дужи L на небеску сферу, тј. вредност σ.
Израчуната на основу ових података брзина извора ће бити

$$W = \frac{\sigma}{\tau} = C\,\frac{\sin\alpha}{\frac{C}{V} - \cos\alpha}$$

Ако се радио-извор избацује брзином блиском брзини светлости, биће V ≈ C и

$$W = C\,\frac{\sin\alpha}{1 - \cos\alpha}\,.$$



Ил. 11.5.

За α = 30^0 добићемо W = 3,7 C. Дакле, вредност брзине радио-извора, коју смо овде добили, биће четири пута већа од брзине светлости! Овај парадокс је добро познат радио-астрономима: они су већ одавно открили „суперсветлосне" радио-изворе. За произвољно α имамо:

α [^{0}]	10	20	30	40	50	60	70	80	90
W/C	11,4	5,7	3,7	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0

11.29. За болометријски (тј. укупан, по свим дијапазонима електромагнетног зрачења) флукс према Штефан-Болцмановом закону добићемо однос сјаја:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 = \left(\frac{58}{45}\right)^4 = 2{,}8.$$

Међутим, у оптичком дијапазону овај однос је знатно већи. Ствар је у томе да се са променом температуре суштински мења расподела енергије у спектру загрејаног тела. Код апсолутно црног тела она се потчињава Виновом закону: максимум зрачења се догађа на таласној дужини

$$\lambda_{\max} = \frac{3mmK}{T(K)}.$$

За средњу температуру пеге T = 4500 K максимум мора да буде на λ_{max} = 6700 Å, а то је црвена боја на коју је око слабо осетљиво. У стварности средишњи део пеге - сенка - има температуру од око 3500 K и зато је за њу λ_{max} = 8600 Å. Ова боја уопште није доступна за око, док видљиве зраке сенка пеге скоро не зрачи. Зато нам она изгледа тако тамна.

С друге стране, за температуру фотосфере T = 5800 K максимум зрачења се догађа на λ_{max} = 5200 Å. Баш, у тој области спектра је око најосетљивије (разуме се, ово није случајно!). Због тога је контраст у сјају између пеге и фотосфере тако велик.

11.30. У унутрашњим областима Сунца, где је висока температура, енергија се преноси зрачењем пошто је густина зрачења тамо висока, а врела материја веома прозрачна. У спољашњим областима материја постаје мање прозрачна и зрачењу је све „теже" да се пробије кроз њу - на сцену ступа конвекција. Провођење топлоте практично не игра никакву улогу. Међутим, ако се има у виду не само пренос енергије у фотосферу, него уопште њено одвођење од језгра, не треба заборавити флукс неутрина који из језгра односи знатан део енергије и не предаје је другим деловима звезде. Има и других егзотичних начина за пренос енергије: на пр. из Сунчеве конвективне зоне у његову хромосферу и корону се преноси део енергије кроз фотосферу у облику звучних и магнетно-звучних осцилација.

11.31. Честица ће се кретати праволинијски, тј. неће се осетити утицај звезде ако су две силе које дејствују на њу - гравитација и притисак светлости - међусобно уравнотежене. И једна и друга зависе од растојања на исти начин: обрнуто пропорционално квадрату растојања (Њутнов закон гравитације и фотометријски закон за зрачење). Даље се расуђује овако: сила гравитације је

пропорционална маси тела, тј. кубу његове димензије, а сила притиска светлости је пропорционална површини попречног пресека тела, тј. квадрату димензије. Дакле, однос ових сила се мења пропорционално димензији тела. Ако је полупречник честице прашине 6×10^{10} пута мањи од полупречника Земље, две поменуте силе ће бити међусобно уравнотежене. Дакле, полупречник честице прашине је $R = R_{\oplus} / 6 \times 10^{10} \approx 10^{-5}$ cm. Ово су типичне димензије честице међузвездане прашине. Можда, ово није тако једноставно: крупније честице прашине падају на звезде, а ситније се „издувавају" уз помоћ притиска светлости у Галаксији. Уосталом, ово питање није тако једноставно као што изгледа.

Овај задатак се може решити и детаљније. Сила гравитације, која делује на лоптасту честицу, је

$$F_g = \frac{GMM_{sun}}{r^2} = \frac{4\pi G R^3 \rho M_{sun}}{3r^3},$$

где су M, R и ρ маса, полупречник и густина честице, респективно, а r је њено растојање од Сунца. Сила притиска светлости која делује на ову честицу је одређена збирним импулсом апсорпције фотона у јединици времена. Фотон енергије E има импулс E/C и због тога, притисак светлости на честицу је

$$F_\gamma = k\pi R^2 \frac{L_{sun}}{4\pi r^2 C},$$

где је k коефицијент, по реду величине једнак један и који зависи од моћи тела да апсорбује, рефлектује и емитује електромагнетне осцилације. За апсолутно црну лоптицу, чија је температура површи иста у свим тачкама, имамо k = 1. За огледалску лоптицу такође је k = 1 (покушајте ово да докажете!). За порозну белу лоптицу, која скоро сву светлост рефлектује назад према Сунцу, је $k \approx 2$. Ово се лако може схватити: фотон не предаје свој импулс једноставно, него му мења смер и стога, лоптица добија двоструки импулс фотона.

Наћи ћемо однос силе гравитације према сили радијације:

$$\frac{F_g}{F_\gamma} = \frac{16\pi C \rho G M_{sun} R}{3kL_{sun}} \propto R.$$

Као што видимо, он је заиста пропорционалан димензијама тела. Заменићемо бројну вредност и усвојити ради одређености k = 1 па ћемо добити

$$\frac{F_g}{F_\gamma} = 10^5 R(cm)$$

Дакле, ове силе су једнаке за честице чији је полупречник $R=10^{-5}$ cm.

11.32. Према Штефан-Болцмановом закону луминозност звезде полупречника R и температуре на површи T износи

$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 = L_{sun}\left(\frac{R}{R_{sun}}\right)^2\left(\frac{T}{T_{sun}}\right)^4$. Одавде налазимо полупречник белог патуљка:

$R = R_{sun}\left(\frac{T_{sun}}{T}\right)^2\left(\frac{L}{L_{sun}}\right)^{1/2} = 8\times10^{-3} R_{sun}$. Густина белог патуљка ће да буде

$$\rho = \rho_{sun}\left(\frac{R_{sun}}{R}\right)^3 = 2\times10^6 \rho_{sun} \approx 3\times10^6 g/cm^3.$$

11.33. Према Штефан-Болцмановом закону да би имало исту температуру тело мора да апсорбује (а значи и да зрачи) исту количину енергије. На Земљиној путањи планета апсорбује снагу

$$\Phi_1 = L_{sun}\frac{S(1-A)}{4\pi r_\oplus^2},$$

где је S површина попречног пресека планете, A њен албедо и $r_\oplus$ растојање Земље од Сунца. На Марсовој путањи апсолутно црна планета апсорбује

$$\Phi_2 = L_{sun}\frac{S}{4\pi r_M^2},$$

где је $r_M \approx 1{,}5\ r_\oplus$ Изједначавањем снага $\Phi_1 = \Phi_2$ добићемо $(1\text{-}A) = (r_\oplus / r_M)^2 = 0{,}44$, одакле је $A = 0{,}56$.

11.34. Према Штефан-Болцмановом закону луминозност је дата као

$$L \propto R^2 T^4 ,$$

где су R и T полупречник и температура површи звезде. Одавде је $R \propto T^{-2} L^{1/2}$.
Тада за Сунце за епоху црвеног џина добијамо:

$$R = R_{sun}\left(\frac{T_{sun}}{T}\right)^2 \times \left(\frac{L}{L_{sun}}\right)^{1/2} = R_{sun} \times 2^2 \times 400^{1/2} = 80 R_{sun} = 0{,}37 AJ$$

Ово је само мало мање од средњег полупречника Меркурове путање (0,387 AJ), али је веће него што је растојање између Меркура и Сунчевог средишта у перихелу његове путање (0,31 AJ). Према томе, Меркур ће бити прогутан!

11.35. Ако звездани космички брод лети брзином која је блиска брзини светлости, Доплеров ефект и ефект аберације светлости ће се добро примећивати „од ока". Први ће да доведе до тога да ће звезде којима се летелица приближава да „поплаве" и постану сјајније, а у обрнутом случају ће да поцрвене и ослабе. Други ефект ће да помери све звезде унапред према смеру кретања. Према томе, у смеру летења на небу ће се видети много сјајних плавих звезда, а у супротном неколико слабих црвених.

11.36. Претпоставимо да је капљица на собној температури ($T = 20\ ^0C$), а полупречник r. Спољашњи притисак на капљицу у вакууму је једнак нули, дакле притисак унутар капљице (P) ће бити одређен само силом површинског напона $\zeta = 0{,}07$ N/m:

$$P = \frac{2\zeta}{r} = \frac{1{,}4 \times 10^{-4}\, atm}{r(cm)} .$$

Притисак засићене паре на температури од $20\ ^0C$ износи 10^{-2} atm. Одавде је критична димензија капљице $r_c = 0{,}14$ mm. Ако је за нашу капљицу $r < r_c$, њен унутрашњи притисак спречава кључање воде. Ако је $r > r_c$, онда приликом доспевања капљице у вакуум вода унутар ње ће да прокључа и разруши саму капљицу. Јасно је да се свака крупна капљица моментално распада на облачић ситних капљица чији су пречници мањи од 0,3 mm.

Шта ће да буде са њима после? Свака од њих ће да почне да испарава са површи и брзо ће да мрзне. Топлота за образовање водене паре је врло велика (539 $calg^{-1}$) и због тога, да се капљица охлади за неколико десетина степени (тј. да се извуче из сваког грама неколико десетина калорија), довољно је да испари свега неколико процената њене масе. Дакле, изгубивши нешто од своје масе свака капљица ће да се претвори у комадић леда. Ако се експеримент са капљицом обављао даље од Сунца или у сенци, на овом ће се све и завршити: велика капљица ће нагло да узаври и претвориће се у облачић магле који се шири и који брзо постаје рој најситнијих честица града.

Међутим, ако Сунчеви зраци загревају честице града, свака од њих ће се понашати као мала комета. Пошто је притисак на њиховим површима мањи него у тројној тачки на фазном дијаграму за воду ($T_0 = 0\ ^0C$, $P_0 = 0{,}006$ atm), онда приликом загревања течна вода се неће образовати, а почеће сублимација комадића леда, тј. да прелази из чврстог у гасовито стање. Баш тако се понашају ледена језгра комета.

Када се сва вода претвори у пару, под дејством Сунчевог ултраљубичастог зрачења њени молекули ће почети да се распадају (дисоцијација) да би затим губили електроне (догодиће се њихова јонизација). Облак плазме, то је завршна етапа еволуције капљице. Можда и није? Размислите шта ће даље да се догоди?

11.37. Сетимо се задатка **11.2**. У њему је било постављено аналогно питање, али у односу на Земљу и Месец. Код ова два тела се јако разликују вредности друге космичке брзине на њиховим површима ($V_{II} = 11{,}2\ kms^{-1}$ за Земљу и $= 2{,}38\ kms^{-1}$ за Месец). Због овога Земља задржава уза се скоро све гасове (осим водоника), а Месец их не задржава.

У случају Титана и Меркура узрок је нешто другачији. Премда се сама небеска тела незнатно разликују, при чему Меркур „јаче" задржава гасове при својој површи (V_{II} = 2,7 kms^{-1} за Титан и 4,3 kms^{-1} за Меркур), брзина кретања гасова је код њих битно различита. Као што је познато, енергија кретања молекула је пропорционална температури гаса па за брзину молекула важи $V \propto \sqrt{T}$. Пошто температура на Меркуровој површи износи око 800 K, а на Титановој око 100 K, однос брзина молекула је скоро три. Осим тога, близина Меркура Сунцу доводи до интензивне дисоцијације молекула на атоме који се, с обзиром да имају мању масу, крећу брже од тешких молекула. Према томе, при Меркуровој површи практично није преостало ништа од лаке материје (иако астрономи још увек нису престали да траже тамо трагове атмосфере), док је Титан код себе задржао скоро све гасове осим најлакших - водоника и хелијума.

Тачни прорачуни показују да гас после неколико милијарди година одлази из атмосфере планете ако је термичка брзина његових молекула

$$V \geq 0{,}2\ V_{II}\ .$$

Да би се израчунала брзина молекула потребно је да се зна апсолутна температура гаса (T), његова молекулска тежина (μ) и универзална гасна константа (R_{gas}):

$$V = \sqrt{\frac{3R_{gas}}{\mu}}$$

Сада, можете сами да израчунате који гасови могу дуго да се задрже у атмосфери било које планете, а који су за време еволуције Сунчевог система морали да испаре.

11.38. Језгро хелијума се састоји од две врсте честица - протона и неутрона. Међутим, лаки изотоп водоника ^1H, од којег се углавном састоје звезде, садржи само протоне. Због овога, ниједан ланац термонуклеарних реакција у звездама не пролази без главне реакције:

$$p \Rightarrow n + e^+ + \nu,$$

тј. реакције претварања протона (p) у неутрон (n) са издвајањем позитрона (e^+) и неутрина (ν). Таква реакција не може да се догоди непосредно јер је маса протона мања од масе неутрона. Међутим, она може да се догоди код узајамног дејства честица које се брзо крећу. На пр., у недрима Сунца она има облик:

$$p + p \Rightarrow d + e^+ + \nu\ ,$$

где је d деутерон, језгро тешког изотопа водоника - деутеријума (такође се означава ^2H или D). У реакцији претварања протона у неутрон учествује најслабија од нуклеарних сила - тзв. *слабо узајамно дејство*. Зато за ову реакцију нема много погодних услова, претварање се догађа врло ретко и учестаност свих даљих реакција у звезди се смањује. Према томе, ако се због нечега температура у недрима звезде мало повећа, тада пре него што термонуклеарне реакције одреагују на ово великим ослобађањем енергије, звезда ће стићи да се рашири и охлади.

У водоничној бомби догађају се реакције само са учешћем тешког изотопа водоника - деутеријума и супертешког - трицијума (његово језгро - тритон, се означава са ^3H или T или t). Ови изотопи осим протона садрже и неутроне (d = p + n; t = p + 2n). Реакције са њима се догађају без учешћа слабог узајамног дејства и зато - врло активно. На пример:

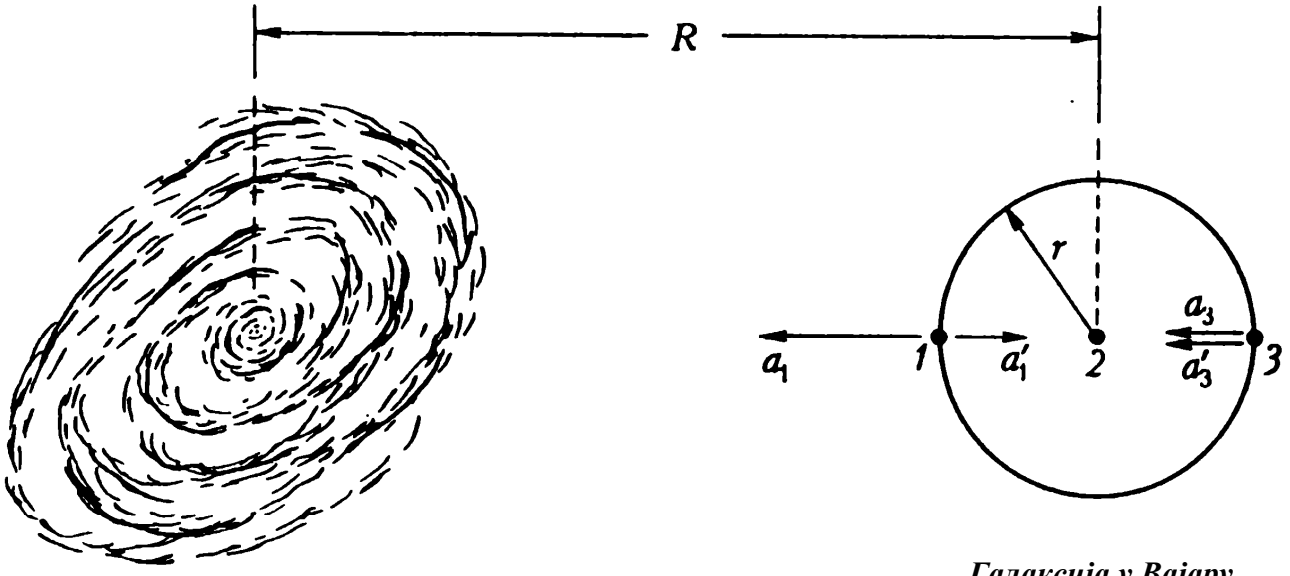
$$d + d \Rightarrow {}^4He + \gamma,$$

$$d + t \Rightarrow {}^4He + n,$$

где је γ гама-квант. Да би се реакција догодила неопходно је само да се честице добро приближе и да буде савладано њихово електростатичко одбијање. У ту сврху тешки водоник се загрева и у њему експлодира мала атомска бомба. После овога термонуклеарна реакција се догађа тако брзо да врела материја не стигне да се рашири и охлади.

Дакле, основна разлика између звезде и водоничне бомбе је у томе какви изотопи водоника учествују у њиховим термонуклеарним реакцијама. У природи се деутеријум среће у врло малим количинама и у недрима звезда он је „сагорео" још у данима ране младости звезде на релативно ниској температури без стварања знатног ефекта. Тритон је у општем случају нестабилан: он се распада са периодом полураспада од 12,4 године. Због тога њега у природи уопште нема.

11.39. На (Ил. 11.6) галаксија у Вајару је представљена у облику лопте. Када би сви њени делови имали једнако убрзање ка средишту Млечног пута, не би било никаквог плимског ефекта. Међутим, тачка 1 је ближа Млечном путу и, према томе, има веће убрзање (a_1) ка њему него тачка 3 (убрзање a_3). Због овога тачке 1 и 3 теже међусобном удаљавању. У овоме се и састоји плимски ефект који би растурио малу галаксију у сазвежђу Вајара када не би било сопственог привлачења



Млечни пут

Ил. 11.6.

Галаксија у Вајару

ка средишту (тачка 2) које тежи да задржи тачке 1 и 3 тако што им саопштава убрзања a_1' и a_3'.

Израчунаћемо укупна убрзања у тачкама 1 и 3 која потичу како од привлачења Млечног пута, тако и од привлачења саме галаксије у сазвежђу Вајара:

$$\left(a_1 - a_1'\right) = \frac{GM}{(R-r)^2} - \frac{Gm}{r^2}, \text{(тачка 1)} \qquad \left(a_3 + a_3'\right) = \frac{GM}{(R+r)^2} + \frac{Gm}{r^2}. \text{(тачка 3)}$$

Ако је (a_1 - a_1') < (a_3 + a_3'), звезде у тачкама 1 и 3 се приближавају, а ако је (a_1 - a_1') > (a_3 + a_3'), звезде се међусобно удаљавају и галаксија се распада. Дакле, максималне димензије галаксије, која је још увек стабилна за рушилачки плимски ефект, могу да се нађу из једначине

$$\frac{M}{(R+r)^2} + \frac{m}{r^2} = \frac{M}{(R-r)^2} - \frac{m}{r^2}.$$

После идентичких трансформација је

$$r^3 = R^3\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)\frac{m}{2M}.$$

С обзиром да је r<<R усвојићемо $1-(r/R)^2 \approx 1$. Тада је

$$r = R\left(\frac{m}{2M}\right)^{1/3}.$$

Заменом бројних вредности добићемо r = 2,3 kpc.

11.40. Оптичким интерферометром; приликом окултације звезде од стране Месеца; према трајању помрачења код двојних звезда; према релацији између луминозности и температуре.

11.41. Израчунаћемо растојања у перихелу и афелу, респективно:

$$R_p = a(1 - e) = 1{,}5 \text{ AJ}$$
$$R_a = a(1 + e) = 18{,}5 \text{ AJ}.$$

По Штефан-Болцмановом закону брзина хлађења површи је пропорционална T^4, а флукс енергије зрачења је $\propto$ (1 - A) / R^2. Дакле, имамо T = (300 K)$(1 - A)^{1/4}$ $R^{-1/2}$. У перихелу је T = 240 K, а у афелу T = 68 K.

11.42. Због Доплеровог ефекта линије су померене ка плавом за $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{C}$, а због гравитационог црвеног помака на површи звезде је $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{GM}{RC^2}$
Рачуни показују да се оба ефекта тачно поништавају и нема помака линија у спектру.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

12. АСТРОНОМСКА ВИКТОРИНА

* * * * * □ * * * * *

12.1. На Антарктику се виде.

12.2. Месец се није променио, али је његов сјај два пута ослабио.

12.3. Никада. Он ће прећи на нову путању која се мало разликује од путање станице и кроз 1,5 часова ће опет бити близу ње.

12.4. Могуће је ако се живи на Меркуру: јер његов период обиласка износи око три Земљина месеца па у једној Земљиној години тамо можемо четири пута да дочекамо нову Меркурову годину.

Код овог шаљивог задатка могуће су варијанте: живећи на спољашњим планетама можете у једној њиховој години да прославите више Земљиних новогодишњих празника.

12.5. Одговор ,,10 pc" није тачан. Велика полуоса Марсове путање износи 1,5 AJ. Дакле, растојање до звезде је 15 pc.

12.6. Ако је брзина дата у односу на Сунце (тачније, у односу на барицентар Сунчевог система), значи да је звезда двојна и, према томе, мења своју брзину. Ако је радијална брзина дата у односу на Земљу, може да се претпостави да је то одраз Земљиног обилажења око Сунца. Међутим, његов максимални допринос за годину дана може да буде 30 + 30= 60 km^{-1}. Звезда је, пак, променила брзину за 100 - 20=80 kms^{-1}. Дакле, она је у било ком од ова два случаја двојна.

12.7. По промени сјаја астероида који настаје услед њиховог обртања.

12.8. Кроз два месеца. Тачно решење види код задатка **9.27.**

12.9. а) за седам минута; б) за 1,5 час.

12.10. Реда величине 1 □ / s^2. Ово убрзање је изазвано привлачењем Сунца ка средишњем делу Галаксије и управљено је ка њеном средишту.

12.11. Кроз крајичак Вашег носа сваке секунде пролети неколико десетина милијарди неутрина. Заиста, битна реакција претварања водоника у хелијум има облик:

$$4\ {}^{1}H \Rightarrow {}^{4}He + 2e^{+} + 2\nu + 26{,}2\ MeV\ .$$

Пошто је 26,2 MeV= 4,2 $\times 10^{-12}$ J, лако је да се нађе број неутрина који настају у Сунчевим недрима сваке секунде:

$$\Omega_{\nu} = \frac{2L_{sun}}{4{,}2 \times 10^{-12} J} = 2 \times 10^{38} \nu\ /\ s$$

Њихов флукс у близини Земље, на растојању $r_{\oplus}$ = 1 AJ, ће износити

$$F_\nu = \frac{\Omega_\nu}{4\pi r_\oplus^2} = 7 \times 10^{10} \nu \ /\left(cm^2 s\right)$$

Сада, у зависности од димензија крајичка Вашег носа, можете сами да израчунате флукс неутрина кроз њега. Сада сте могли да осетите колико је то неухватљива честица!
Интересантно је да, осим Сунчевих неутрина, кроз тај исти крајичак носа пролазе космолошки неутрини, остаци великог праска који су настали давно када је Васиона била веома густа и врела. Они пролазе у количини ≈ 10^{12} ν / (cm^2s). Међутим, космолошки неутрино је много хладнији од Сунчевог и зато наш нос, као и неутрински телескопи, још и више га не региструје.ž

12.12. Реда величине 1 g . Погледајте реакцију синтезе хелијума написану у решењу претходног задатка: у овој реакцији рађају се позитрони (e^+) брзином $\Omega_{e+} = 2 \times 10^{38}$ e^+ / s. Позитрон живи до сусрета са електроном. Класични полупречник за електрон износи $r_0 = 2{,}8 \times 10^{-13}$ cm, а површина попречног пресека $\sigma = \pi r_0^2$. Међутим, пресек анихилације електрона са позитроном зависи још од њихове узајамне брзине (V): што је мања брзина, тим је већа вероватноћа да се међусобно „примете" у тренутку блиског пролаза. Због тога је укупан пресек

$$\sigma_a = \sigma_0 \frac{C}{V}$$

Сада, знајући концентрацију електрона у средишту Сунца:

$$n_e \approx \frac{\rho}{m_p} \approx \frac{100 g \ / \ cm^3}{1{,}7 \times 10^{-24} g} \approx 6 \times 10^{25} e \ / \ cm^3$$

лако је да се нађе време живота позитрона до његове анихилације:

$$\tau = \left(n_e \sigma_a V\right)^{-1} = \left(n_e \pi r_0^2 C\right)^{-1} \approx 2{,}3 \times 10^{-12} s.$$

Дакле, у Сунчевом средишњем делу истовремено ће да живе
$N_{e+} = \tau \times \Omega_{e+} \approx 10^{27}$ e^+ . Њихова укупна маса ће бити $M = m_e N_{e+} \approx 1$ g.

12.13. Нормална стона лампа снаге 60W производи осветљеност од око 100 lx на растојању од 1 m. Сунце, када нема облака, осветљава Земљу интензивношћу од 10^5 lx. Дакле, треба да се удаљимо од Сунца $\sqrt{10^3}$ пута, тј. на растојање од 32 AJ да би оно осветљавало површ планете исто онако као што стона лампа осветљава књигу. Дакле, у области око Нептунове путање се лако може радити у условима природног осветљења.

12.14. Светлост пуног месеца је за 14^m слабија од Сунчеве светлости (m_{sun} = - $26{,}7^m$; m_{mes} = $-12{,}7^m$). Међутим, огледало 10 – метарског телескопа има исто толико пута већу површину од типичне лупе пречника 2 cm:

$$\left(\frac{10m}{2cm}\right)^2 = 3 \times 10^5 \approx 14^m.$$

Дакле, оно ће сакупити исто толико светлости од Месеца колико сакупи лупа од Сунца. Осим тога, можемо да се сетимо да видљива светлост чини мање од 10% укупног зрачења Месеца тако да ћемо у инфрацрвеном дијапазону добити увеличање од десет пута. Међутим, у жижи џиновског огледала Месечев лик ни из далека неће бити тачкаст - за жижну даљину огледала од око 20 m пречник лика ће бити око 20 cm. Расподељена по таквој површини Месечева светлост неће да изазове никакав термички ефект. Дакле, за време месечине не може се запалити ватра, чак и уз помоћ џиновске „лупе".

Овде смо наишли на посебан случај једне веома опште теореме о томе да никакав оптички систем не може да створи лик врелији од површи извора зрачења. Чак, у специјално направљеним оптичким уређајима - Сунчевим пећима - температура у жижи никада не премашује 3000 K. Користећи такав уређај за Месечеву светлост једва да ћемо осетити топлоту јер температура дневне Месечеве површи није већа од 400 K.

12.15. Да, верујем јер 40 стопа, то је мало више него 12 m, а таква промена нивоа воде за време плиме и осеке се догађа у неким затонима. На отвореном мору амплитуда плиме је свега 50 cm, а близу обале у неким уским затонима може да достигне и 15 m.

12.16. Ако је у тренутку испловљавања јахте часовник био подешен на средње Сунчево време, сада ће он да ,,иде напред" у поређењу са месним Сунчевим временом 6 часова, а по зимском указном времену 6 часова, тј. 4 часа по летњем. Дакле, јахта је од Санкт-Петербурга отишла на запад за $60^0 \div 90^0$. С обзиром да географска дужина града износи око 30^0 источно од Гринича, закључујемо да је географска дужина јахте $30^0 \div 60^0$ западно од Гринича. Дакле, јахта је у Атлантику.

12.17. Разуме се, Врунгел је сматрао да петлићи кукуричу у одређено време по Гриничу и обављају на тај начин улогу хронометра. Само, да ли су се петлићи могли да досете о овом?

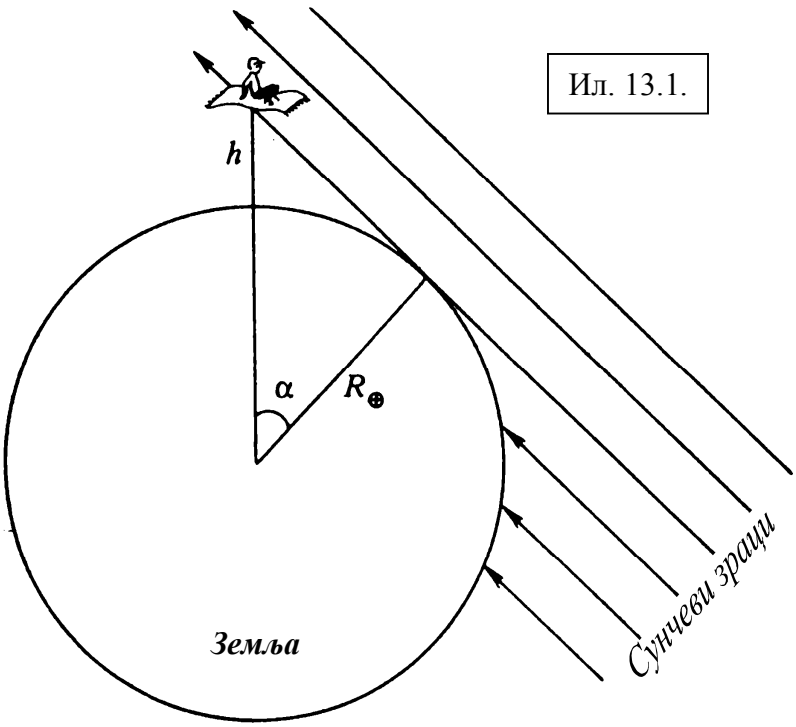
♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

13. ЗАДАЦИ СТАРЦА ХОТАБИЧА

* * * * * □ * * * * *

13.1. У начелу, ручни сунчани часовник се може направити. Међутим, да се по њему тачно одреди време, неопходно је да се он постави хоризонтално и оријентише по странама света. За ово часовник треба да има либелу (или висак) и магнетни компас. У време султана радило се без компаса тако што се правац „север-југ" одређивао по звездама и Сунцу. Међутим, за ово су била потребна вишедневна посматрања после којих се часовник причвршћивао на земљи или зиду зграде и више га нису дирали. Када се у Европи пре осам векова појавио магнетни компас (за који Хотабич није могао да зна јер је провео неколико миленијума у посуди), почео је да се израђује портабилни сунчани часовник. Такав часовник може да се види, на пример, у Ермитажу. Истини за вољу, то није био ручни часовник, него џепни, али у неким случајевима могао је да стане у кутијицу која није била већа од оне за шибице.

13.2. Вољка је пожелео поморски бинокулар, сасвим не због тога, што је хтео да постане морнар. Бинокулар је њему био потребан за астрономска посматрања. Бинокулар за поморце се разликује од свих осталих тиме што има највећи пречник објектива, а то омогућује да се виде слабе звезде. Осим тога, овакви бинокулари се специјално израђују за ноћна посматрања јер је ноћ најопасније време за управљање бродом. Због своје велике светлосне моћи, која омогућује да се посматрају маглине слабе светлости, бинокулари за поморце су омиљени међу свим љубитељима астрономије.



Ил. 13.1.

13.3. Нека Земљин $R_\oplus$ полупречник износи 6371 km, h је висина лета за летећи ћилим, α угао између праваца према хоризонту са Земљине површи и са летећег ћилима (Ил. 13.1). Тада, у правоуглом троуглу хипотенузе $c = (R_\oplus + h)$ и катете $R_\oplus$ друга катета је једнака

$$b = \sqrt{(R_\oplus + h)^2 - R_\oplus^2} = \sqrt{2R_\oplus h + h^2}$$

Ако је $h \ll R_\oplus$, угао α је мали и, изражен у радијанима, износи

$$\alpha \approx \sin\alpha = \frac{b}{c} \approx \sqrt{\frac{2h}{R_\oplus}}.$$

Ако се сада замени бројна вредност за $R_\oplus$ и α се изрази у степенима (1 радијан = 57,3 ...), добићемо веома једноставну и употребљиву формулу:

$$\alpha \approx 1^0\sqrt{h(km)},$$

где је h (km) , оно исто h изражено у километрима. Пошто 600 - 700 лаката износи 300 - 350 m, за путнике ће хоризонт да буде за $0{,}6^0$ ниже него за посматрача на Земљи; Сунчев привидни пречник износи $0{,}5^0$. Дакле, оно би могло да буде видљиво на висини на којој се налази летећи ћилим под условом да је тек зашло на Земљи. Хотабич је правилно одредио висину лета.

13.4. Користећи формулу из задатка **13.3**, одредићемо разлику у положају хоризонта за посматраче који се налазе на висинама h_1 и h_2 (изражене су у километрима):

$$\alpha_1 - \alpha_2 = 1^0\left(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2}\right)$$

Ако је $h_2 = 600 \div 700$ лаката и $h_1 = h_2 + 500$ лаката, биће $\alpha_1 - \alpha_2 \approx 0{,}2$. Чак и када се узме у обзир да вертикална димензија Сунчевог диска близу хоризонта износи $0{,}4^0$ јер је умањена за 6' услед атмосферске рефракције, јасно је да је висина од 500 лаката недовољна да се учини видљивим Сунчев диск који зашао за хоризонт. У стварности за ово се треба попети на 1300 лаката. Дакле, Вољка је погрешио и није достојан звања ,,највећег тиквана на свету".

Растојање до хоризонта, то је дужина катете из задатка **13.3.** За мале висине је:

$$b \approx \sqrt{2R_\oplus h} = 113km\sqrt{h(km)}.$$

На висини једног просечног човека на равној површи (степа, море) хоризонт се налази на растојању од 5 km, а за висину од 1000 лаката он је удаљен 80 km!

13.5. Очигледно, сматрајући да има дужи корак од Вољкиног (премда су у стварности они били једнаки) Омар Јусуф је искористио пропорцију

$$\frac{V}{11} = \frac{1200}{1400}$$

и излетео брзином $V=9{,}4\ kms^{-1}$. Том приликом специфична (по јединици масе) кинетичка енергија је износила $V^2 / 2$. Ако је кретање било радијално и престало је на растојању R_m од Земљиног средишта, потенцијална енергија ће се повећати за

$$\Delta E = GM_\oplus\left(\frac{1}{R_\oplus} - \frac{1}{R_m}\right) \qquad \text{Тада ћемо из једнакости} \qquad \Delta E = \frac{V^2}{2}$$

да добијемо

$$R_m = \left(\frac{1}{R_\oplus} - \frac{V^2}{2GM_\oplus}\right)^{-1} = 21{,}5 \times 10^3 km$$

тј. 15 хиљада километара од Земљине површи.

Ако је чаробњак изашао на кружну путању, његова укупна енергија ће се састојати не само од потенцијалне ($-GM_\oplus/R_c$), него и од кинетичке $V_I(R_c)^2 / 2$ где је $V_I(R_c) = \sqrt{GM_\oplus / R_c}$, кружна брзина на путањи полупречника R_c. Тада је

$$\frac{V^2}{2} = \frac{V_I^2}{2} + GM_\oplus\left(\frac{1}{R_\oplus} - \frac{1}{R_c}\right), \qquad \text{одакле је} \qquad R_c = \frac{R_m}{2} = 11000km$$

или 4,4 хиљада километара од Земљине површи.

13.6. Када саберемо по правилу паралелограма две прве космичке брзине (V_I) које стоје под правим углом једна према другој, добићемо другу космичку брзину ($V_{II} = \sqrt{2}\ V_I$) под углом од 45^0 према вертикали. Као резултат тога Хотабич је прешао на параболичну путању која ће, ако не додирује Земљину површ, да га одведе далеко од наше планете у космос. Да се догоди сусрет са Земљом треба почетна кружна путања да буде довољно ниска. Наћи ћемо њену максималну висину.

Нека је R_0 полупречник почетне путање, $M_\oplus$ маса Земље и G константа гравитације. Као резултат маневра Хотабичев специфични момент импулса, једнак $L=V_IR_0$, се није променио, а енергија (кинетичка + потенцијална) је стекла вредност $E = V_{II}^2 / 2 - GM_\oplus / R_0 = 0$. Тада у перигеју параболичне путање на најкраћем растојању од Земље R_p из закона о одржању енергије ћемо добити:

$$\frac{V_{II}^2}{2} - \frac{GM_\oplus}{R_p} = 0 \qquad (1)$$

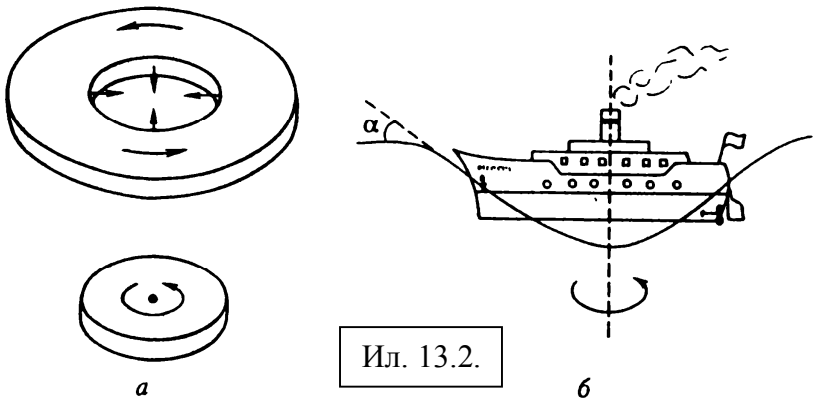
а из закона о одржању момента импулса:

$$V_p R_p = V_I R_0 . \qquad (2)$$

Налазећи из једначине (2) $V_p = V_I R_0 / R_p$ и замењујући га у једначину (1) видећемо да је $R_0 = 2R_p$. С обзиром да ради спуштања Хотабич мора да уђе у густе слојеве атмосфере, тј. да се приближи Земљиној површи не више од 100 km, може да се усвоји критична вредност $R_p = R_\oplus + 100$. Максимална висина почетне кружне орбите са које је Хотабич могао на тај начин да се спусти на Земљу износи $H_m = R_0 - R_\oplus = 2R_p - R_\oplus = R_\oplus + 200 = 6571$ km.

Према решењу задатка **13.5** видимо да је висина путање Омара Јусуфа могла да буде од 4,4 до 15 хиљада километара и према овоме не може се дати једнозначан одговор да ли ће се са оваквим маневром Хотабич вратити на Земљу.

13.7. Када је пешчани спруд нестао, вода је кренула са свих страна према средишту оног места где се он налазио. С обзиром да су имали момент импулса повезан са Земљиним дневним обртањем и смањивали своје растојање до локалне осе обртања слојеви воде су повећавали своју угаону брзину обрнуто сразмерно растојању од осе обртања. У референтном систему везаном са Земљом у обртању овај ефект носи назив **Кориолисово убрзање** (Ил. 13.2 а).



Ил. 13.2.

Нека се „Ладога" дужине L нашла захваћена слојевима воде који су наишли са периферије спруда (Ил. 13.2 б) чији је пречник био D. Тада ће брод заједно са водом да се обрће са периодом P, $P=P_0L / D$, где је $P_0 = 24$ часа, период Земљиног дневног обртања. Водена површ у левку ће да стекне облик купе са нагибом према хоризонту $\alpha \approx a/g$ где је g, $g=9{,}8\ ms^{-2}$, убрзање при слободном падању и a, $a=v^2 / r$, центрифугално убрзање.

С обзиром да је $v = 2\pi r / P$ и $r = L / 2$ наћи ћемо

$$\alpha = \frac{2(\pi D)^2}{LgP_0^2} .$$

Том приликом ће разлика у нивоима воде између крајева пароброда и његове средине да буде једнака

$$h \approx \frac{\alpha L}{2} = \frac{(\pi D)^2}{gP_0^2}$$

(пошто је угао α мали и изражен у радијанима, заменили смо tgα вредношћу самог угла). Интересантно је да дубина водене јаме испод дна пароброда не зависи од његове дужине. За вредност пречника пешчаног спруда D = 10 km добићемо $h \approx 1$ cm што, очигледно, није опасно за брод. Осим тога и период обртања брода дужине 70 m износиће 10 минута, што неће да изазове озбиљне центрифугалне напоне. Међутим, ако је D = 200 km, већ је $h \approx 5$ m и P = 30 s што може да има најозбиљније последице: дно брода ће да изгуби упориште па ће да се угне, а центрифугална сила ће да постане довољно велика.

У области око екватора кретање воде дуж Земљине површи не мења њено растојање од осе обртања и због овога се слични ефекти неће приметити.

13.8. Све је овде у односу таласне дужине осциловања која се предаје (електромагнетно или звучно, без разлике) и димензија уређаја који одаје ово осциловање. Таласна дужина светлости је десетинама хиљада пута мања од пречника огледалског рефлектора фењерчића и зато он одбија зраке светлости по законима геометријске оптике и не „савија се" иза краја рефлектора. Међутим,

таласна дужина звукова нашег говора се може упоредити, или је чак већа од димензија нашег говорног апарата. Због овога дифракција звучних таласа нам не даје могућност да их усмеримо на једну страну. Узгред речено, мегафон који се налази поред уста неколико пута повећава димензије емитера звучних таласа и самим тим смањује утицај дифракције. Чак Хотабич, без обзира на своје чаробњачке способности, није занемарио овај ефект: када се обратио Вољки, он „се приљубио к зиду и пун елана почео да мрмља приневши длан устима као да је цевчица", тј. начинивши од њега мали мегафон.

13.9. Површ покривена уљем не кваси се од воде јер вода и уље имају различите коефицијенте површинског напона: за воду је напон већи и зато се она скупља у капљице и котрља се по зауљеној површи надоле.

Какве везе има ово са астрономијом? Најнепосредније. У бестежинском стању ефекти површинског напона играју велику улогу. Са њима су добро упознати космонаути који воле демонстрацију џиновских капи воде како пливају по космичкој станици. Међутим, у бестежинском стању само што течност дође у додир са наквашеном површи, она се распростре на све стране и доспева на најнедоступнија места.

Понекад, привремено, и чврста тела постају течна, на пр. брдска материја приликом удара метеорита. Њени комадићи, избачени услед експлозије у атмосферу или у космос, брзо се охладе, али и то кратко време је довољно да их силе површинског напона обликују па да изгледају као сфероиди или капљице. Тако су настали тектити. Неки од њих, може бити, савладали су пут од Месеца до Земље и чак, од Марса до Земље. А како се манифестују површинске силе у космосу? То је наше последње питање.

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

ПРИРУЧНИЧКИ ПОДАЦИ

Користимо следеће ознаке:

$\equiv$ идентички једнако, $\propto$ пропорционално, $\approx$ приближно једнако, << много мање, >> много веће,
$\div$ од …до, $\leq$ мање или једнако, $\geq$ веће или једнако,
$\pi \approx 3{,}14$ однос дужине кружнице и њеног пречника, $e \approx 2{,}72$ основа природних логаритама,
$\square^0$ или „кв.степен" - квадратни степен,
$\square'$ или „кв.мин" - квадратни лучни минут,
$\square''$ или "кв.сек" - квадратна лучна секунда,
1 rad (радијан) $\approx 57{,}3^0 \approx 3438' \approx 206265''$; то је централни угао у кругу за кога је дужина лука једнака полупречнику тог круга.

ВЗС - вештачки Земљин сателит
φ - географска ширина места посматрања,
λ - географска дужина места посматрања,
α - ректасцензија,
δ - деклинација.
Када се напише „R(cm)", то значи да је величина изражена у центиметрима.

Могуће је да нису сви читаоци упознати са разломљеним и негативним изложиоцима:
$a^{1/2}$ означава $\sqrt{a}$, а у општем случају $a^{1/n}$ значи $\sqrt[n]{a}$; a^{-1} значи $\frac{1}{a}$, а у општем случају a^{-n} значи $\frac{1}{a^n}$.
У решавању задатака неки пут се користе приближне једнакости:
а) за мале углове (α <<1 rad) је $\sin\alpha \approx \alpha$ (rad), $\operatorname{tg}\alpha \approx \alpha$ (rad).
б) из Њутнове биномне формуле за α << 1 се лако добија:
$(1+\alpha)^n \approx 1 + n\alpha$.

Астрономске величине

Парсек 1 pc = $3{,}086 \times 10^{16}$ m
Растојање од Сунца до средишта Галаксије $R_0 \approx 8{,}5$ kpc
Полупречник галактичког диска $R_G \approx 20$ kpc
Дебљина галактичког диска $H_G \approx 1$ kpc
Брзина Сунчевог кретања око средишта Галаксије $V_0 \approx 220$ kms^{-1}
Тропска година $1^a = 3{,}16 \times 10^7$ секунди
Средње растојање до Сунца (астрономска јединица) 1 AJ = 150×10^6 km

Физичке константе

Брзина светлости C = 300 000 kms^{-1}
Константа гравитације G=$6{,}67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}
Маса протона $m_p = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg
Штефан-Болцманова константа $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}
Универзална гасна константа $R_{gas} = 8{,}3$ J (Kmol)$^{-1}$

Подаци о Земљи

Средњи полупречник $R_{\oplus}$ = 6371,032 km
Екваторски полупречник $R_{\oplus e}$ = 6378,160 km
Поларни полупречник $R_{\oplus p}$ = 6356,777 km
Маса $M_{\oplus} = 5{,}978 \times 10^{24}$ kg
Средња густина $\rho_{\oplus} = 5{,}52$ gcm^{-3}
Средња брзина на путањи око Сунца 29,765 $kms^{-1} \approx 100\,000$ kmh^{-1}
Критична брзина на површи 11,2 kms^{-1}

Подаци о Сунцу

Маса 1 $M_{sun} = 1{,}9904 \times 10^{30}$ kg
Полупречник $R_{sun} = 7 \times 10^{8}$ m
Критична брзина на површи 618 kms^{-1}
Линијска брзина обртања на екватору 2,03 kms^{-1}
Убрзање силе гравитације на површи $g_{sun} = 273{,}8$ ms^{-2}
Луминозност $L_{sun} = 3{,}88 \times 10^{33}$ $ergs^{-1} = 3{,}88 \times 10^{26}$ W [1J = 10^{7} erg]
Привидна звездана величина у зениту за филтер V: - $26{,}6^{m}$
Привидна болометријска звездана величина $-26{,}9^{m}$

Подаци о Месецу

Средње растојање Месеца од Земљиног средишта је 384 400 km; због ексцентричности путање оно се мења од 356 до 407 хиљада km. (*податак за перигеј вероватно погрешан*! - 365 *прим.прев*)
Сидерички месец (звездани период обиласка) 27,32 дана.
Синодички (Сунчев) месец 29,53 дана.
Нагиб путањске равни према равни еклиптике (у просеку) је $5^{0}09'$, осцилује од $4^{0}58'$ до $5^{0}20'$ приближно за пола године.
Чворови путање се померају по еклиптици тако што начине један обрт за 6793 дана= 18 година 7 месеци, тј. месечно померање износи $1{,}5^{0}$.
Перигеј путање, крећући се на исток, начини обрт за 9 година.
Обртна оса има нагиб према путањској равни (у просеку) од $83^{0}20'$ и мења се у границама од $83^{0}10'$ до $83^{0}31'$.
Раван еклиптике лежи између равни Месечевог екватора и равни Месечеве путање и све се оне секу дуж исте праве (Касинијев закон, 1721. година).
На тај начин раван Месечевог екватора заклапа са равни Месечеве путање угао од $6^{0}30'$, а са равни еклиптике од $1^{0}30'$.
Услед равномерног обртања Месеца и неравномерног кретања по елиптичној путањи постоји либрација (љуљање) по лонгитуди са периодом од једног аномалистичког месеца и амплитудом од $\pm 7^{0}54'$.
Услед нагиба обртне осе према путањској равни догађа се либрација по латитуди $\pm 6^{0}50'$ са периодом једнаким једном драконистичком месецу. Када се посматра из разних тачака на Земљи настаје паралактичка (дневна) либрација од око $\pm 1^{0}$.
Привидна визуална звездана величина за време пуног месеца је - $12{,}7^{m}$
Визуални албедо 6%
Сферни албедо 7%
Осветљеност од пуног месеца у зениту на Земљи на површи нормалној на правац зрачења које пада: 0,25 lux
Полупречник 1738 km
Маса $7{,}34 \times 10^{22}$ kg (1 / 81 Земљине масе)
Средња густина 3,35 gcm^{-3}
Убрзање силе теже 1,63 m^{-2} ($\approx$ 1 / 6 Земљиног)

Параболична брзина на површи 2,38 kms^{-1}
Средња брзина на путањи 1,023 kms^{-1}
Температура на осунчаној страни + 130 ^0C
Температура на ноћној страни Месеца -160 ^0C

Време и календар

Ознаке

1^a - 1 Земљина тропска година,
1^d - 1 Земљин дан по Сунцу (Сунчев дан),
1^h - 1 час,
1^m - 1 минут,
1^s - 1 секунда .

Сунчев и звездани дан: тропска година садржи 365,2422 средња дана по Сунцу и 366,2422 звезданих дана. Следи,

24^h ср. времена по Сунцу = $24^h03^m56^s$,555 звезданог времена,

24^h звезданог времена = $23^h56^m04^s$,091 ср. времена по Сунцу. .

Приближно се може сматрати да је звездани дан краћи од средњег (или, обрнуто, средњи дужи од звезданог) за 4^m , а један звездани час је краћи од средњег (или средњи дужи од звезданог) за 10^s .

Указно време (декретно)

Ради бољег коришћења дневне светлости током летњих месеци у многим земљама на основу посебног указа (декрета) владе часовници, који показују зонско време, се померају за један час унапред. Ово се ради само за летњи период, а може и за стално. На летње време сваке године прелазе европске земље (изузетак је Исланд), САД, Канада, укупно више од 50 држава. Од 16. јуна 1930. године на територији СССР часовници су стално померени за један час унапред у односу на зонско време - ово време се назива указно. Осим тога, почев од 1981. године на територији СССР користи се летње време и додаје се још један час у односу на зонско време. Обично се прелаз на летње време обавља када је последња недеља у марту, а прелаз на зимско, када је последња недеља у септембру. (*примедба прев. : Сада је последња недеља у октобру.*)

Међутим, у периоду од 1982. до 1986. године решењем владе СССР указно време је укинуто у 30 области и аутономним републикама Руске Федерације, а и у балтичким републикама. Године 1990. одлуком локалних власти оно је укинуто у Украјини, Молдавији, Грузији и Азербејџану. У пролеће 1991. године влада СССР је била приморана да укине указно време на читавој територији земље. Укидање је било симултано са преласком на летње време. Због тога, марта 1991. приликом прелаза на летње време часовници нису били померани и прелаз је учињен на светско летње време. У јесен су додали један час и извршење прелаз на зимско светско време (тј. зонско). Међутим, ово је довело до знатних економских губитака и 23. октобра 1991. године Врховни совјет РСФСР је донео одлуку о повратку на старо ,,указно" време на територији Руске Федерације. Ово је остварено 19. јануара 1992. године тако што су сви часовници у Руској Федерацији преведени један час унапред. Ово није било урађено само у Астраханској, Волгоградској, Самарској, Саратовској и Кировској области, као и Ујдмуртској републици.

Основне фотометријске формуле

1) Основни фотометријски закон или Закон реципрочних квадрата:

Осветљеност површи (E), тј. светлосни флукс кроз јединицу површине те површи, мења се обрнуто пропорционално квадрату растојања (r) од тачкастог или сферно симетричног извора светлости:

$$E = \frac{A}{r^2},$$

где је A константа за дати извор светлости.

2) Одређивање звездане величине (Погсонова формула):

$$\log \frac{E_1}{E_2} = 0{,}4(m_2 - m_1)$$

3) Луминозност (снага зрачења) Сунца је $L_{sun} = 4 \times 10^{26}$ W.

4) Нека је m привидна звездана величина небеског тела, M његова апсолутна звездана величина (тј. привидна звездана величина на растојању од 10 pc), π паралакса у лучним секундама, r растојање у парсецима, A међузвездана апсорпција у звезданим величинама, тада ће бити

$$\mathbf{M = m + 5 + 5\log\pi - A}$$

или

$$\mathbf{M = m + 5 - 5\log r - A\ .}$$

5) Однос луминозности за две звезде (L_1 и L_2), чије су апсолутне величине једнаке M_1 и M_2, дат је као

$$\log \frac{L_1}{L_2} = 0{,}4(M_2 - M_1).$$

6) Веза болометријске (укупне) луминозности звезде L (у јединицама L_{sun}) и њене апсолутне болометријске звездане величине M је:

$$\mathbf{\log L = 0{,}4(4{,}7 - M)}$$

или

$$\mathbf{L = 2{,}512^{(4{,}7-M)}},$$

где је $M_{\odot} = 4{,}7$, апсолутна болометријска величина Сунца.

Формуле из практичне астрофизике

Дифракциона раздвојна моћ објектива пречника D:

$$\alpha = \frac{14''}{D(cm)}$$

Раздвојна моћ људског ока износи око 100".

Гранична привидна величина за телескоп пречника D:

$$\mathbf{m_{lim} = 7 + 5\log D(cm)}$$

Формуле из космичке динамике

Закон опште гравитације: две материјалне тачке, чије су масе M_1 и M_2, а налазе се на растојању r, привлаче једна другу силом

$$F = \frac{GM_1M_2}{r^2},$$

где је $G = 6{,}673 \times 10^{-11}\ m^3kg^{-1}s^{-2}$, константа гравитације.

Прва космичка брзина, потребна да се сателит креће по кружној путањи полупречника R око планете масе M, износи:

$$V_I = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Друга космичка брзина, потребна да се апарат који се налази на растојању R од планете удаљи од ње „у бесконачност", износи

$$V_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2} \times V_I$$

(примедба прев.: За R се обично узима полупречник планете, иначе се ради у случају прве од ових двеју брзина о кружној брзини).

Кеплерови закони

Први: свака планета се креће по елипси у чијој једној жижи се налази Сунце.

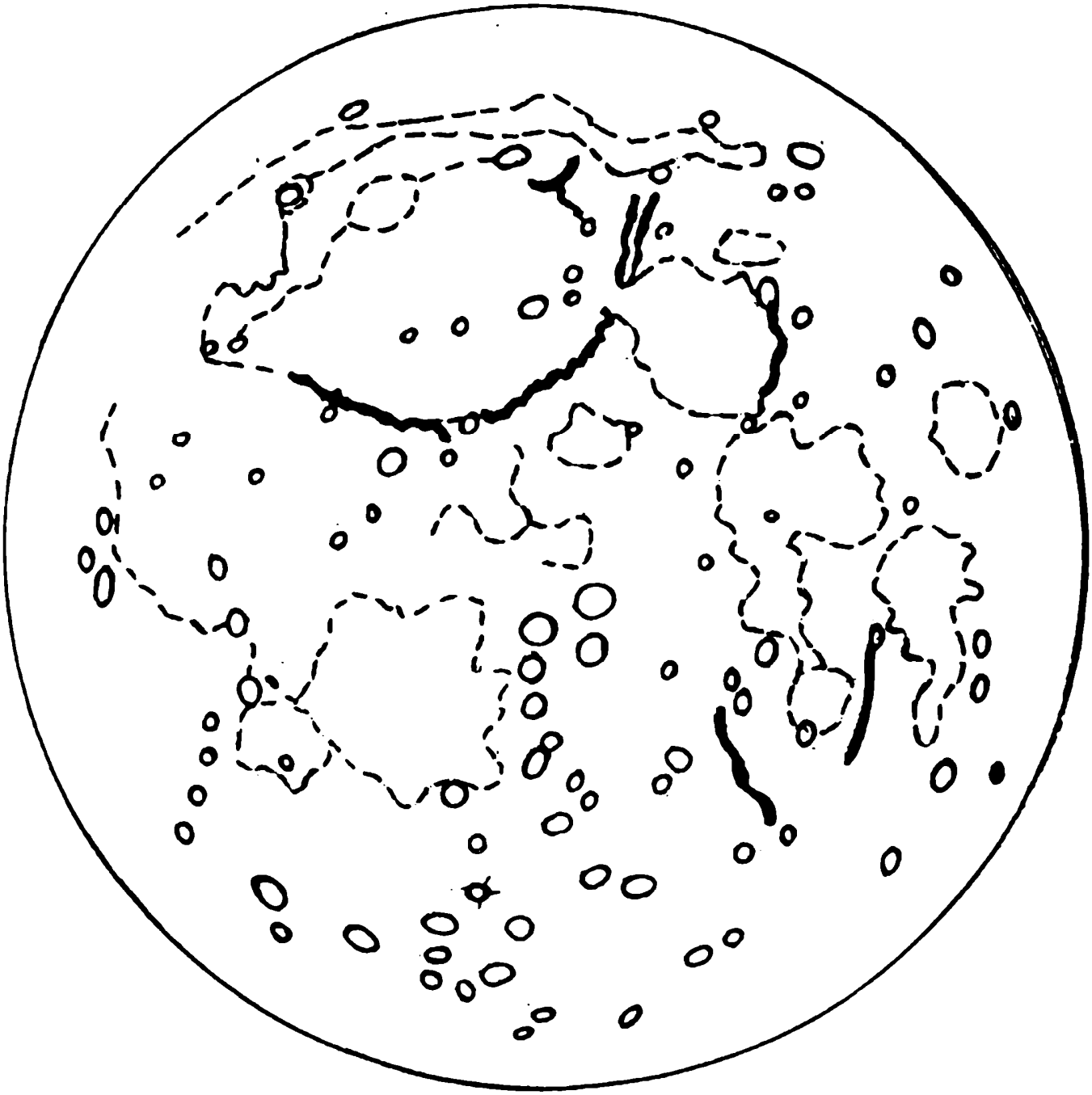
Други: (закон површина) за једнаке временске интервале вектор положаја планете пребрише једнаке површине. За мале интервале времена Δt и мале углове скретања вектора положаја $\Delta\alpha$ се може написати

$$R^2\Delta\alpha \propto \Delta t,$$

где је R тренутна дужина вектора положаја.

Трећи (закон хармоније): период обиласка планете (P) повезан је са великом полуосом њене путање (a) и масом звезде (M) овако:

$$P = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}},$$



НЕМА КАРТА МЕСЕЦА

У зависности од нивоа припремљености учесника такмичења ова карта може да буде више или мање детаљна. Задатак такође може да се разликује по сложености: најједноставније је да се именују указани детаљи на рељефу (мора, кратери, планине). Сложеније је да се доцртају „заборављени" детаљи. Може да се уведе додатни проблем смештањем нултог меридијана на централну линију карте и самим тим да се ухвати део невидљиве Месечеве стране. Исто може да се уради и са екватором.

Skraćenica	Naziv (latinski)	Naziv (srpski)
And	Andromeda (ae)	Andromeda
Ant	Antlia (ae)	Šmrk
Aps	Apus (odis)	Rajska ptica
Aqr	Aquarius (ii)	Vodolija
Aql	Aquila (ae)	Orao
Ara	Ara (ae)	Oltar
Ari	Aries (ietis)	Ovan
Aur	Auriga (ae)	Kočijaš
Boo	Bootes (is)	Volar
Cae	Caelum (i)	Dleto
Cam	Camelopardalis (is)	Žirafa
Cnc	Cancer (cri)	Rak
CVn	Canes Venatici (*)	Lovački psi
CMa	Canis (is) Major (is)	Veliki pas
CMi	Canis (is) Minor (is)	Mali pas
Cap	Capricornus (i)	Jarac
Car	Carina (ae)	Pramac
Cas	Cassiopeia (ae)	Kasiopeja
Cen	Centaurus (i)	Kentaur
Cep	Cepheus (i)	Cefej
Cet	Cetus (i)	Kit
Cha	Chamaeleon (ontis)	Kameleon
Cir	Circinus (i)	Šestar
Col	Columba (ae)	Golub
Com	Coma (ae) [Berenices]	Berenikina kosa
CrA	Corona (ae) Australis (is)	Južna kruna
CrB	Corona (ae) Borealis (is)	Severna kruna
CrV	Corvus (i)	Vrana
Crt	Crater (eris)	Pehar
Cru	Crux (ucis)	Krst
Cyg	Cygnus (i)	Labud
Del	Delphinus (i)	Delfin
Dor	Dorado (us)	Zlatna riba
Dra	Draco (onis)	Zmaj
Equ	Equuleus (i)	Ždrebe
Eri	Eridanus (i)	Eridan
For	Fornax (acis)	Peć
Gem	Gemini (orum)	Blizanci
Gru	Grus (uis)	Ždral
Her	Hercules (is)	Herkul
Hor	Horologium (ii)	Časovnik
Hya	Hydra (ae)	Hidra
Hyi	Hydrus (i)	Hidrus
Ind	Indus (i)	Indijanac
Lac	Lacerta (ae)	Gušterica
Leo	Leo (onis)	Lav
LMi	Leo (nis) Minor (is)	Mali lav
Lep	Lepus (oris)	Zec
Lib	Libra (ae)	Vaga
Lup	Lupus (i)	Vuk
Lyn	Lynx (cis)	Ris
Lyr	Lyra (ae)	Lira
Men	Mensa (ae)	Trpeza
Mic	Microscopium (ii)	Mikroskop
Mon	Monoceros (otis)	Jednorog
Mus	Musca (ae)	Muva
Nor	Norma (ae)	Uglomer
Oct	Octans (tis)	Oktant
Oph	Ophiuchus (i)	Zmijonoša
Ori	Orion (is)	Orion
Pav	Pavo (onis)	Paun
Peg	Pegasus (i)	Pegaz
Per	Perseus (ei)	Persej
Phe	Phoenix (icis)	Feniks
Pic	Pictor (oris)	Slikar
Psc	Pisces (ium)	Ribe
PsA	Piscis (is) Austrinus (i)	Južna riba
Pup	Puppis (is)	Krma
Pyx	Pyxis (idis)	Kompas
Ret	Reticulum (i)	Mrežica
Sge	Sagitta (ae)	Strelica
Sgr	Sagittarius (ii)	Strelac
Sco	Scorpius (ii)	Škorpion
Scl	Sculptor (oris)	Vajar
Sct	Scutum (i)	Štit
Ser	Serpens (tis)	Zmija
Sex	Sextans (tis)	Sekstant
Tau	Taurus (i)	Bik
Tel	Telescopium (ii)	Teleskop
Tri	Triangulum (i)	Trougao
TrA	Triangulum (i) Australe (is)	Južni trougao
Tuc	Tucana (ae)	Tukan
UMa	Ursa (ae) Major (is)	Veliki medved
UMi	Ursa (ae) Minor (is)	Mali medved
Vel	Vela (orum)	Jedra
Vir	Virgo (inis)	Devica
Vol	Volans (antis)	Leteća riba
Vul	Vulpecula (ae)	Lisičica

Lista svih 88 sazvežđa, nastavak za genitiv (koji se koristi prilikom imenovanja zvezda, npr. ß Ursae Majoris) i prevod na srpski jezik.

ПУТАЊЕ И КРЕТАЊЕ ПЛАНЕТА						
	a [AJ]	P револ.	e	i [^{0}]	P рот	Нагиб осе[^{0}]
Меркур	0,39	88 дана	0,206	7.0	58,7 дана	0,0
Венера	0,72	225 дана	0,007	3,4	343,0 дана	177,3
Земља	1,00	1,0 год	0,017	0,0	23,94 час	23,5
Марс	1,52	1,88 год	0,93	1,9	24,63 час	25,2
Јупитер	5,20	11,86 год	0,048	1,3	9,84 час	3,1
Сатурн	9,54	29,46 год	0,056	2,5	10,23 час	26,7
Уран	19,19	84,01 год	0,046	0.8	17,24 час	97,9
Нептун	30,06	164,79 год	0.010	1,8	18,2 час	29,6
Плутон	39,53	247,7 год	0.248	17,1	6,4 час	120

ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ ПЛАНЕТА					
	полу-пречник [$R_\oplus$]	Маса [$M_\oplus$]	Густина g/cm^3	Максимални сјај [магнитуда]	Максимални угаони пречник [лучни секунд]
Меркур	0,38	0,055	5,4	- 1,9	11
Венера	0,95	0,81	5,3	- 4,4	61
Земља	1,00	1,00	5,5	-	-
Марс	0.53	0,11	3,9	- 2,0	18
Јупитер	11,2	318	1,3	- 2,7	47
Сатурн	9,5	95	0,7	+0,7	20
Уран	4,0	15	1,2	+1,2	3,6
Нептун	3,8	17	1,7	+7,8	2,1
Плутон	0,18	0,202	2,0	+15,1	0,1

УСЛОВИ НА ПОВРШИНИ ИЛИ НА НИВОУ СЛОЈА ОБЛАКА (ЗА ПЛАНЕТЕ - ЏИНОВЕ)				
	Температура [^{0}C]	Притисак [atm]	сила гравитације [g]	друга космичка брзина [km/s]
Меркур	-170 / +430	0	0,38	4,3
Венера	462 ± 5	90	0,89	10,4
Земља	15 ± 20	1,0	1,00	11,2
Марс	-120 / +20	0,01	0,38	5,0
Јупитер	- 150	1:	2,54	59,5
Сатурн	- 180	1:	1.07	35,5
Уран	- 215	1:	0,8	21,3
Нептун	- 217	1:	1,2	23,7
Плутон	- 223	0	0,01	1,3

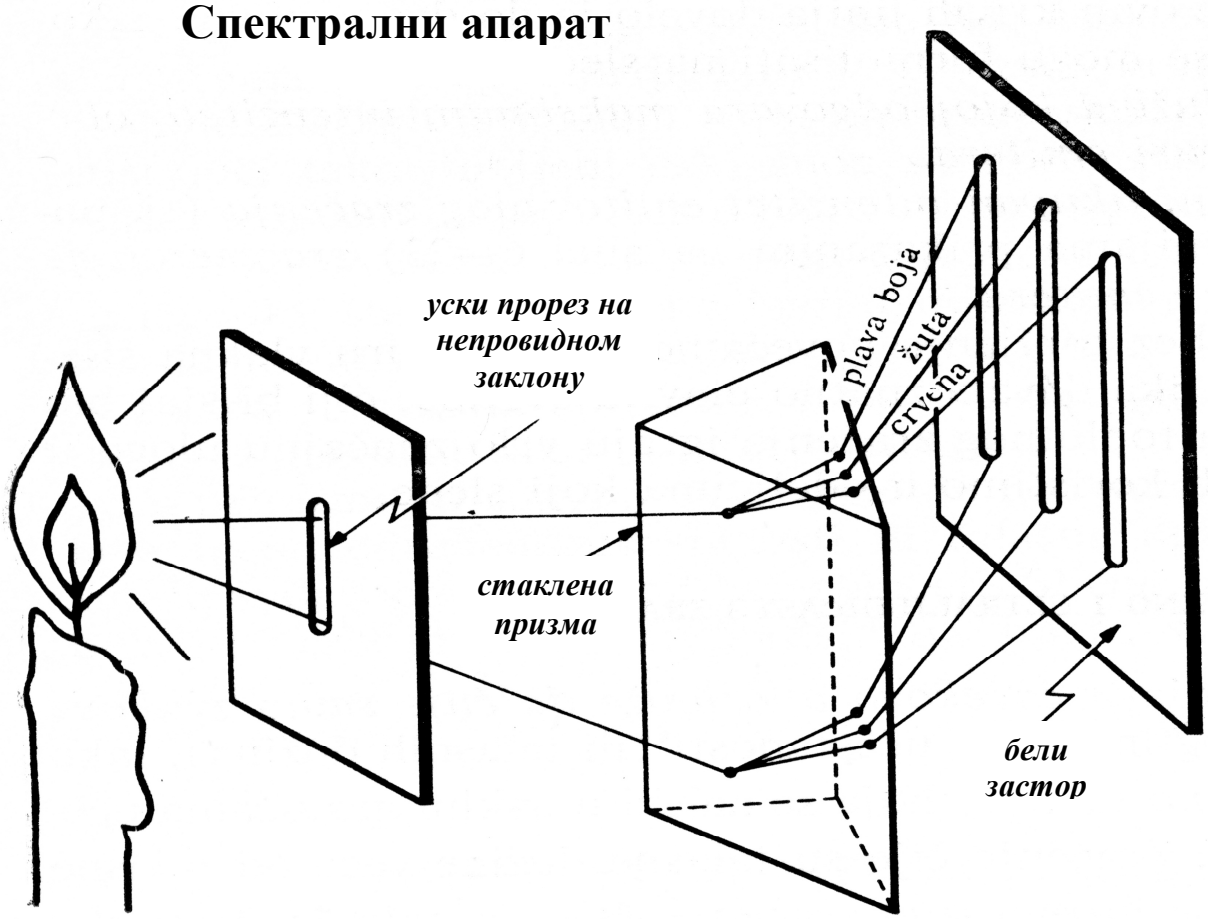
САТЕЛИТИ ПЛАНЕТА

	Сјај звездана величина	Полупречник Путање 10^3 km	Сидеричка Револуција Дани	Полупречник km	Маса 10^{20} kg
ЗЕМЉА					
Месец	-12,7	384,4	27,3	1738	735
МАРС					
Фобос	11,3	9,4	0,32	14x10	11x10
Деимос	12,4	23,5	1,26	8x6	18x10
ЈУПИТЕР					
Метис	17,5	128	0,30	(20)	-
Адрастеја	18,7	129	0,30	12x8	-
Амалтеја	14,1	181	0,50	135x74	-
Теба	16,0	222	0,68	(50)	-
Ио	5,0	422	1,77	1815	894
Европа	5,3	671	3,55	1569	480
Ганимед	4,6	1070	7,16	2631	1482
Калиста	5,6	1883	16,7	2400	1077
Леда	20,2	11094	238,7	(8)	-
Хималиа	15,0	11480	250,6	(90)	-
Лиситеа	18,2	11720	259,2	(20)	-
Елара	16,6	11737	259,7	(40)	-
Ананке	18,9	21200	~ 631	(15)	-
Карме	17.9	22600	~692	(22)	-
Пасифе	16,9	23500	~735	(35)	-
Синопе	18,0	23700	~758	(20)	-

	Сјај звездана величина	Полупречник Путање 10^3 km	Сидеричка Револуција Дани	Полупречник km	Маса 10^{20} kg
САТУРН					
Атлас	18,0	138	0,60	20x15	-
Прометеј	15,8	139	0,61	70x40	-
Пандора	16,5	142	0,63	55x35	-
Епиметеј	15,7	151	0,70	70x50	-
Јанус	14,5	151	0,70	110x80	-
Мимас	12,9	186	0,94	195	0,38
Енцелад	11,7	238	1,37	250	0,84
Тетис	10,2	295	1,89	525	7,55
Телесто	18,7	295	1,89	(12)	-
Калипсо	19.0	295	1,89	15x10	-
Диона	10,4	377	2,74	560	10,5
Елена	18,4	377	2,74	18к15	-
Реа	9,7	527	4,52	765	24,9
Титан	8,3	1222	16.0	2575	1350
Хиперион	14,2	1481	21,3	175x100	-
Јапет	10 до 12	3561	79,3	720	18,8
Феба	16,5	12952	~551	110	-
УРАН					
Корделија	24	49,8	0,34	(15)	-
Офелија	24	53,8	0,38	(15)	-
Бјанка	23	59,2	0,44	(20)	-
Кресида	22	61,8	0,46	(35)	-
Дездемона	22	62,7	0,47	(30)	-
Јулија	22	64,4	0,49	(40)	-
Порција	21	66,1	0,51	(55)	-
Розалија	22	69,9	0,56	(30)	-
Белинда	22	75,3	0,62	(35)	-
Пак	20	86,0	0,76	75	-
Миранда	16,5	129,8	1,41	235	0,7
Ариел	14,4	191,2	2,52	580	12,6
Умбриел	15,3	265,0	4,14	585	13,3
Титанија	14,0	435,8	8,71	790	34,8
Оберон	14,2	582,6	13,46	760	30,3

	Сјај звездана величина	Полупречник Путање 10^3 km	Сидеричка Револуција Дани	Полупречник km	Маса 10^{20} kg
НЕПТУН					
Најада	25	48,0	0,30	(25)	-
Таласа	24	50,0	0,31	(40)	-
Деспина	23	52,5	0,33	(90)	-
Галатеја	23	62,0	0,43	(75)	-
Лариса	21	73,6	0,55	(95)	-
Протеј	20	117,6	1,12	(200)	-
Тритон	13,6	~354,8	5,88	1350	214
Нереида	18,7	5562,4	360,2	(170)	-
ПЛУТОН					
Харон	16,8	19,64	6,387	595	18

Уз задатак 8.30.



Спектрална линија је монохроматски лик уског прореза кроз који пролази светлост

Уз задатак 10.5

прича о „π за гренландског кита"

У извештају Академије наука (руске) за 1935., споменут број π. Један чланак је под насловом "О текућој активности китова." Ту се описује следећи проблем из праксе китоловаца. Ако се у даљини примети кит, поставља се питање да ли се исплати ићи у лов на њега, тј. колика ће се добити количина меса. У извештају се наводи да је китоловцима препоручена следећа формула за израчунавање запремине кита:

$$V = \pi R^2 l,$$

Где је R – процењена половина ширине кита, l – његова дужина (кит је цилиндричног облика). За број π је објашњено: **број π је константа која за гренландске китове износи 3.**
За друге китове вероватно има друге вредности.

НЕБЕСКА СФЕРА И ЊЕНИ ЕЛЕМЕНТИ

Положаји свих небеских тела се пројектују на површину једне замишљене кугле, која се назива **небеска сфера**. Средиште ове сфере је тачка у којој се налази посматрач. Полупречник ове сфере је 1.

Визура је права која пролази кроз око посматрача и центар небеског тела.

Привидан изглед појава на небу условљен је Земљиним кретањима. Земљина ротација је узрок привидног обртања небеске сфере и смене дана и ноћи. Изглед видљивог неба зависи од положаја посматрача на Земљиној кугли и од тренутка посматрања.

Ако замислимо да посматрач стоји на хоризонталној површини, **правац вертикале биће правац силе Земљине теже**. Ако се вертикала продужи према небеској сфери, пробошће је у тачки која се зове **зенит (Z)**. Супротна тачка, на доле, кроз коју продире вертикала, зове се **надир (Z`)**.

Продужена Земљина оса ротације зове се **светска оса**. Она продире кроз небеску сферу у **северном (P_n) и јужном (P_s) небеском полу**.

Продужена раван Земљиног екватора исеца на небеској сфери кружницу који се зове **небески екватор**.

Еклиптика је кружница небеске сфере по коме се Сунце привидно креће.

Раван меридијана на коме се налази посматрач, пресеца небеску сферу дуж великог круга, названог **небески меридијан**. Небески меридијан пролази кроз зенит, надир, северну и јужну тачку на хоризонту и северни и јужни небески пол.

Хоризонтална раван на којој се налази посматрач је раван хоризонта, а кружница који она исеца на небеској сфери је **хоризонт.**

Пресек меридијана и хоризонта ближе северном небеском полу је **северна тачка хоризонта (N)**, а њој насупрот је **јужна тачка хоризонта. (S)**. Источна (E) и западна тачка добијају се у пресеку хоризонта и праве нормалне на NS, кроз тачку у којој се налази посматрач, или као пресек небеског екватора и хоризонтске равни.

Пошто нисмо у стању да приметимо обртање Земље, чини нам се да се **небеска сфера обрће око светске осе, у смеру супротном од смера Земљине ротације.**

Смер стварног обртања Земље за посматрача са северне Земљине полулопте је директан (у смеру против казаљке на часовнику) а супротан смер, смер привидног обртања небеске сфере је ретроградан (у смеру казаљке).

Звезде излазе на источној половини хоризонта, где достижу највећу висину (горњу кулминацију). Настављају кружење око светске осе, по круговима небеске паралеле и залазе на западној половини хоризонта. На делу нама невидљиве небеске сфере достижу најнижи положај (доњу кулминацију).

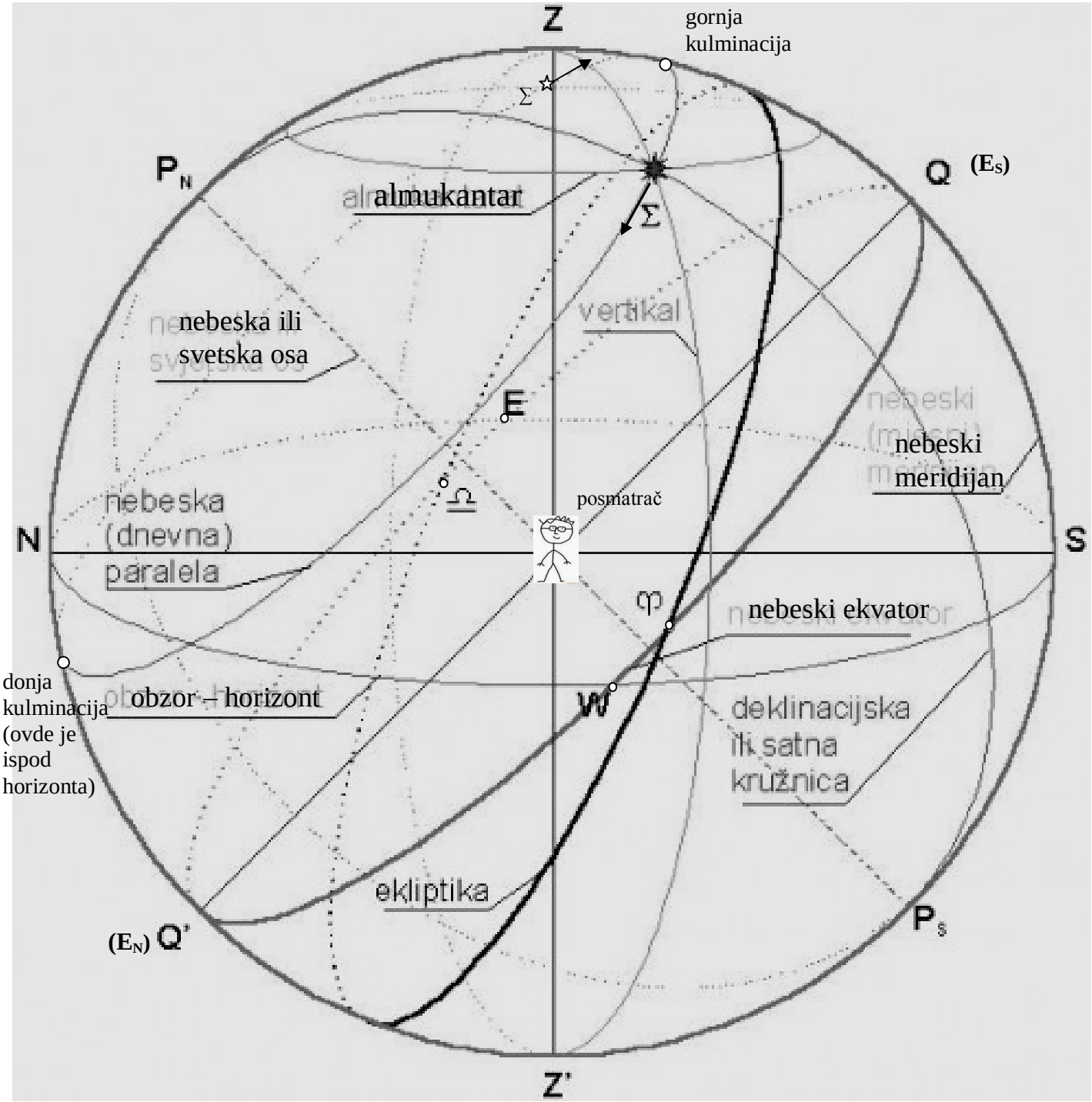
Циркумполарне звезде никада не залазе и видимо им обе кулминације, а **антициркумполарне** никада не излазе.

У астрономији се користи неколико координатних система. За сваки систем треба дефинисати основну раван (основни круг) и основни правац, почетни, или почетни круг.

Елементи небеске сфере

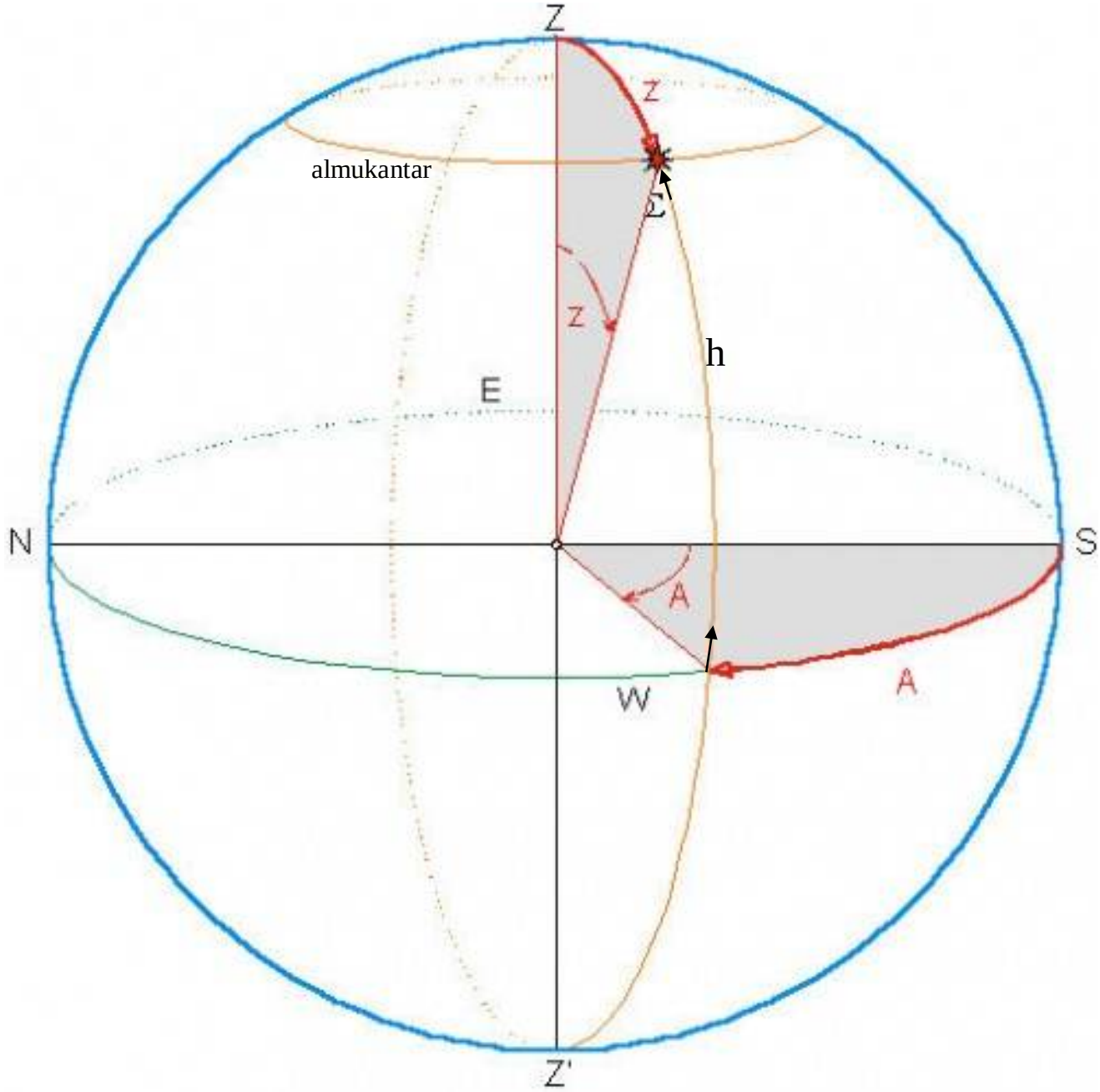
Основне тачке, правци и кружнице (кругови) на небеској сфери: (∑ = **небески објекат**)

- Небеска сфера је замишљена сфера на коју се пројектују положаји небеских тела.
- Хоризонт је круг одређен тачкама SWNE.
- Зенитт Z, надир Z', ZZ' = вертикала, одређује се виском.
- Вертикал је кружница ZZ' (први вертикал пролази кроз тачке Z, W, Z'), алмукантар је паралелан са хоризонтом.
- Главне тачке хоризонта: главне стране света S = јужна тачка хоризонта N = северна тачка хоризонта, E = источна тачка хоризонта , W = западна тачка хоризонта; E и W су пресеци хоризонта са небеским екватором),
- Небеска или светска оса = продужена земаљска оса P_N - P_S; небески екватор је пројекција земаљског екватора на небеску сферу.
- Највиша – јужна тачка хоризонта је Q (или E_S) ;најнижа – северна тачка небеског екватора Q'(или E_N),
- северни P_N и јужни P_S небески пол су тачке где светска оса продире кроз небеску сферу.
- Небески меридијан је кружница $ZQSP_SZ'Q'NP_NZ$ или меридијан посматрача (има само један меридијан).
- Небески паралел је кружнице паралелна са екватором, звезде се крећу по паралелу.
- Еклиптика је путања Сунца, пролећна тачка **γ (гама)** и јесења тачка **Ω** су пресеци еклиптике и небеског екватора



Хоризонтски координатни систем

Основна раван у овом систему је хоризонтска раван а основни правац је ка јужној тачки хоризонта.



Астрономски азимут **A** је угао који се између небеског меридијана и вертикала небеског тела Σ, мерен од јужне тачке хоризонта у ретроградном смеру.

Зенитна даљина **z** је угао између смера зенита и смера небеског тела Σ (визуре), мерен од зенита по вертикалу.

Висина **h** је угао између хоризонтске равни и смера небеског тела мерен по вертикалу.

$$0° \leq A \leq 360°,$$

$$0° \leq z \leq 90°. \qquad 0° \leq h \leq 90^0$$

Хоризонтски систем зависи од посматрача – обе координате

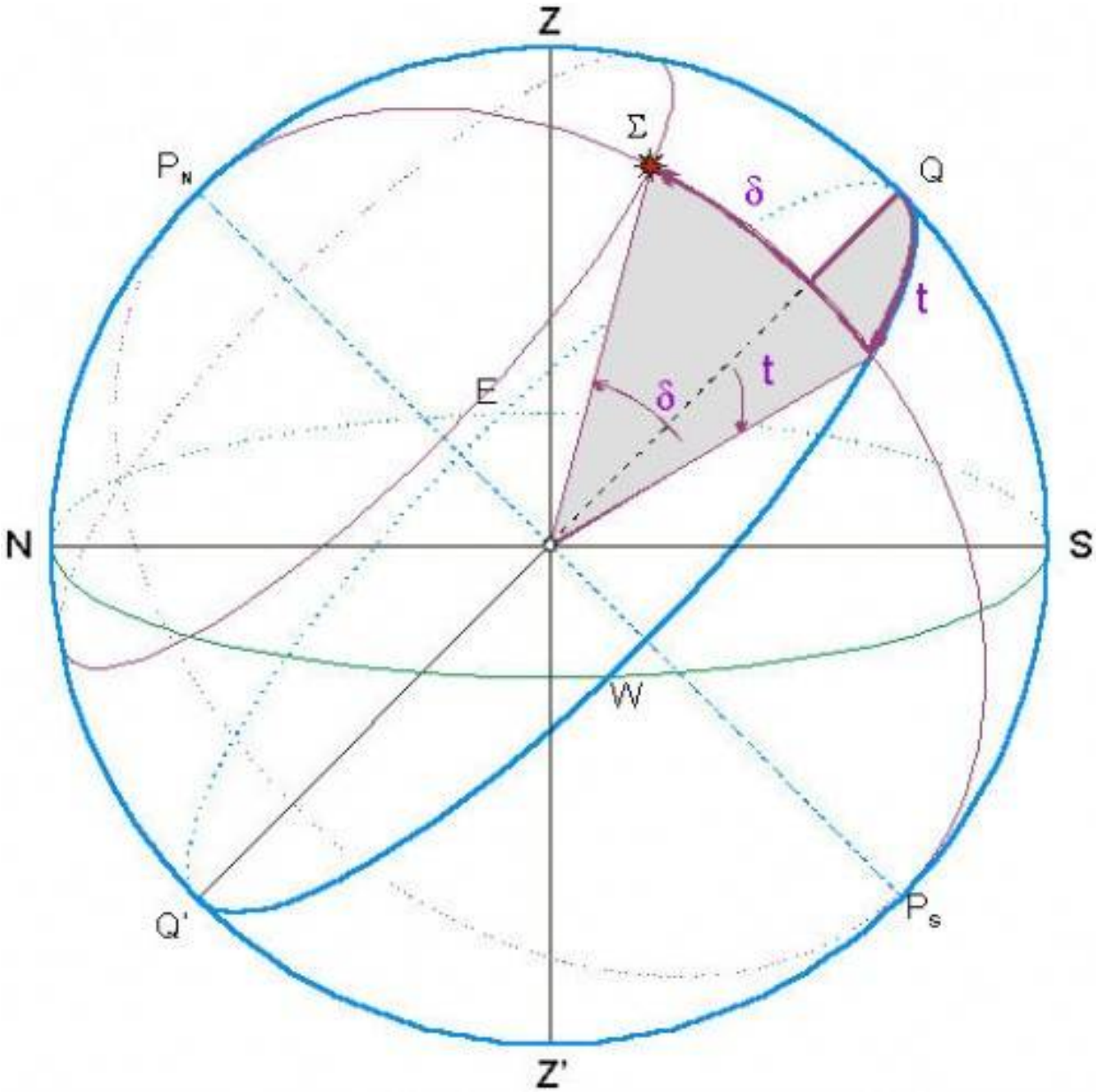
Месни екваторски координатни систем

Основна раван је раван небеског екватора а основни правац ка јужној тачки екватора Q.

Часовни угао се мери од небеског меридијана до деклинацијске кружнице небеског тела Σ мереног од јужне тачке екватора у ретроградном смеру.

Деклинација δ је угао између екваторске равни и смера небеског тела Σ (визуре), мереног дуж деклинацијске кружнице.

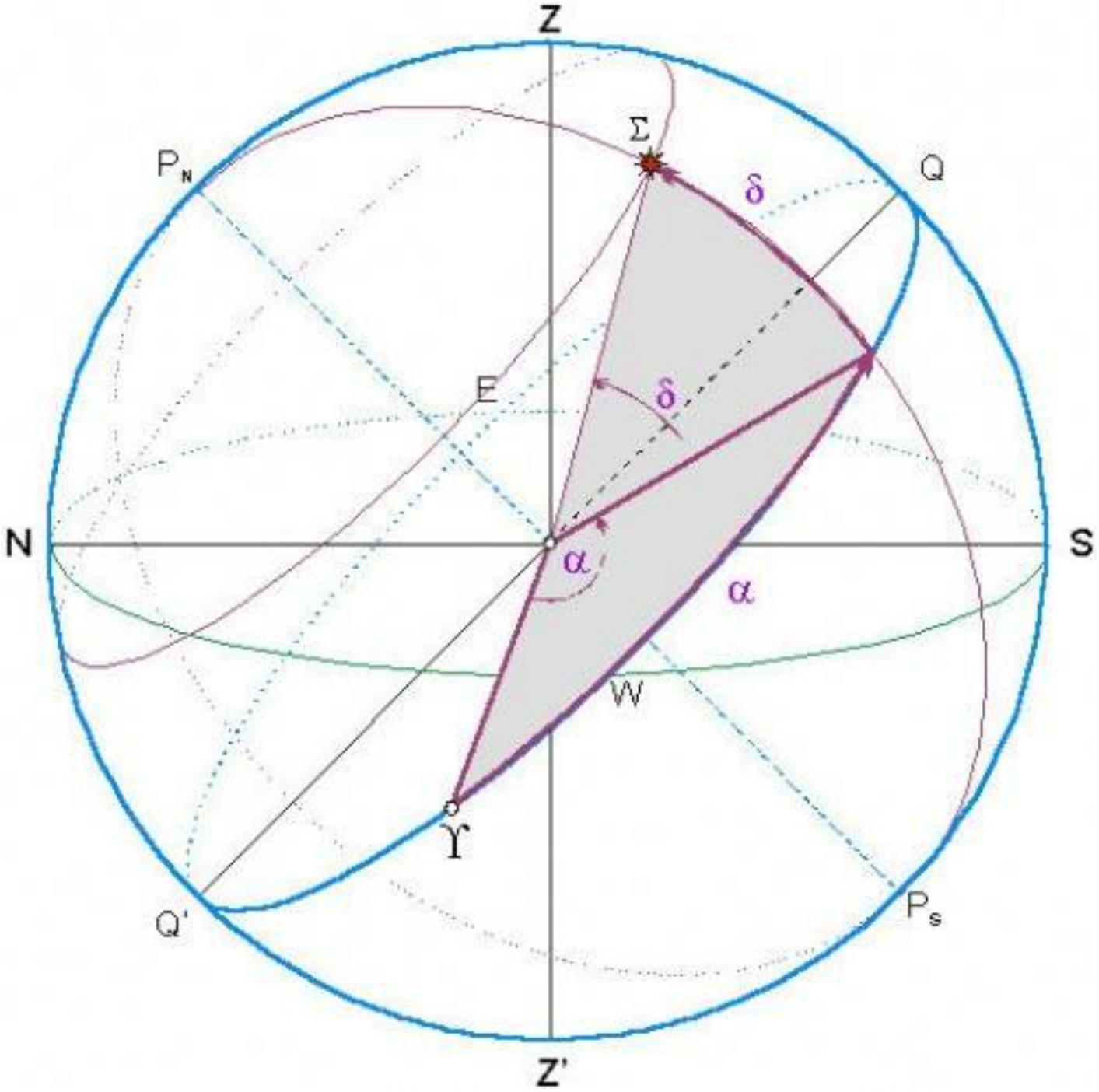
$$0^h \leq t \leq 24^h , \qquad 0° \leq \delta \leq +90° ,$$



Месни екваторски систем зависи од посматрача (координата t)

Небески екваторски координатни систем

Основна раван је раван небеског екватора а основни правац ка гама (γ) тачки. У овом координатном систему угао ректасцензије α и деклинације δ једнозначно одређују положај небеског тела.



Ректасцензија α је угао између гама тачке и деклинацијске кружнице тела Σ мерен по небеском екватору у директном смеру. Деклинација δ је угао између екваторске равни и смера небеског тела Σ (визуре), мереног дуж деклинацијске кружнице.

$$0^h \leq \alpha \leq 24^h, \qquad 0° \leq \delta \leq +90°,$$

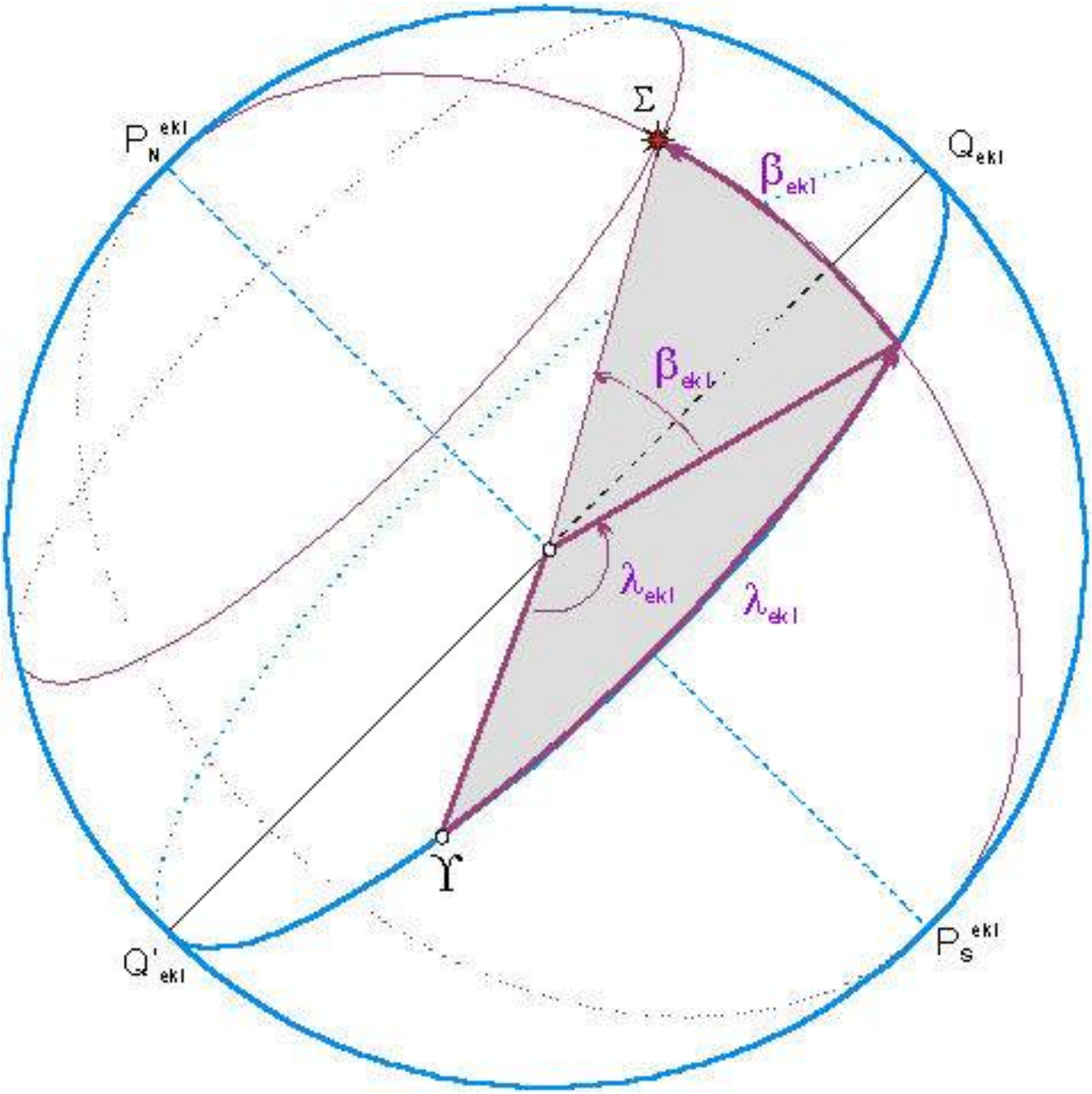
Небески екваторски систем не зависи од посматрача.

Еклиптички координатни систем

Основна раван је раван еклиптике а основни правац ка гама (γ) тачки. Координате које једнозначно одређују положај небеског тела су еклиптичка лонгитуда (дужина) λ_{ekl} и еклиптичка латитуда (ширина) β_{ek}.

$$0° \leq \lambda_{ekl} \leq 360° , \qquad 0° \leq \beta_{ekl} \leq +90° ,$$

Еклиптичка лонгитуда λ_{ekl} је угао између гама тачке и кружнице латитуде која пролази кроз небеско тело Σ мерен дуж еклиптике у директном смеру. Еклиптичка латитуда β_{ekl} је угао између равни еклиптике и смера небеског тела Σ (визуре), мереног дуж кружнице латитуде.

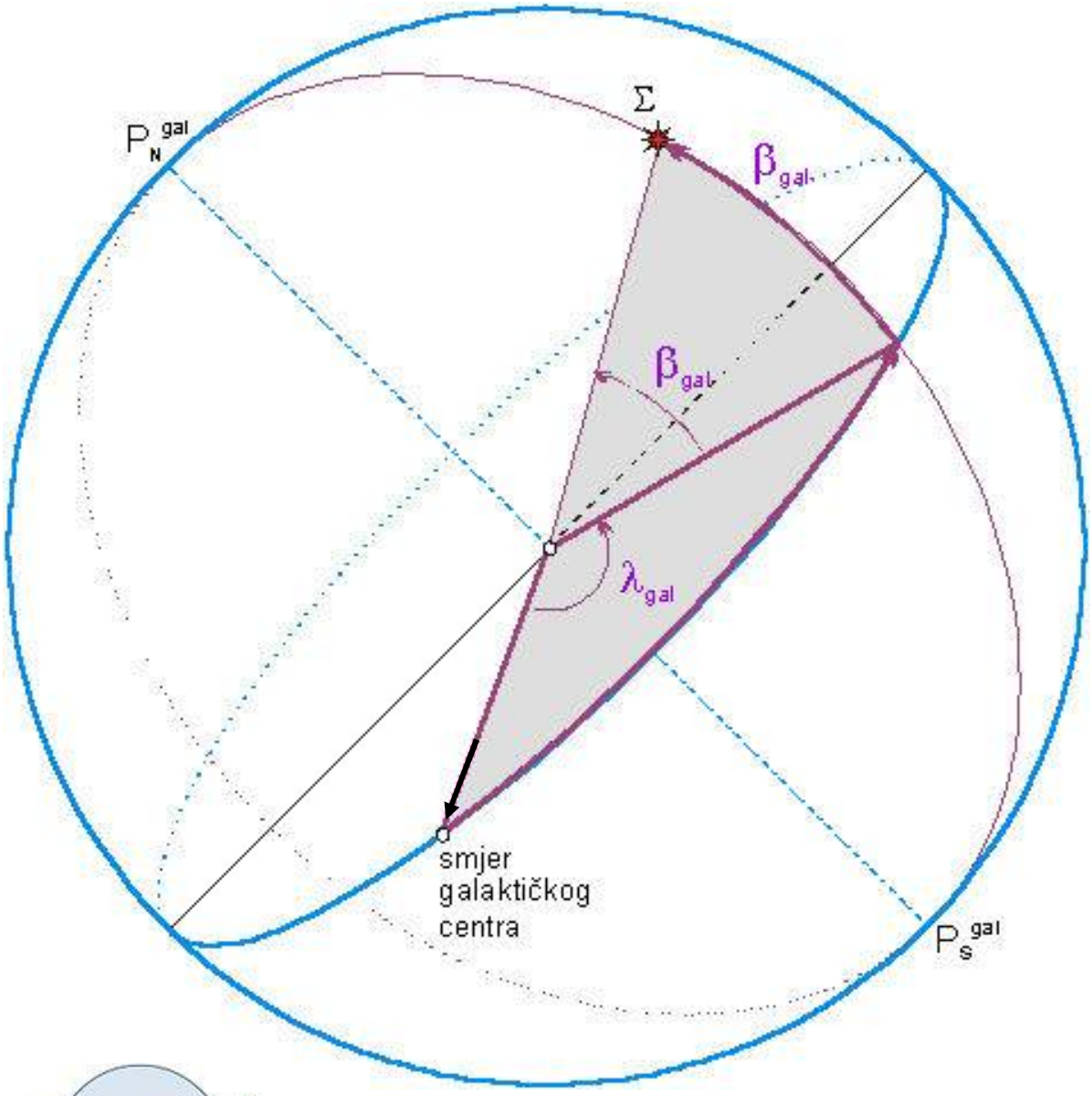


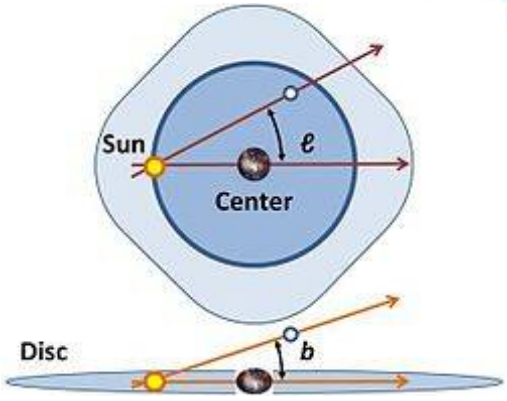
Галактички координатни систем

Основна раван је галактичка раван а основни правац ка галактичком средишту. Галактичка раван на небеској сфери исеца кружницу која се зове галактички екватор. Галактичка лонгитуда (дужина) λ_{gal} и галактичка латитуда (ширина) β_{gal} су координате које једнозначно одређују положај небеског тела.

Галактичка лонгитуда λ_{gal} је угао између правца галактичког средишта и кружнице галактичке латитуде која пролази кроз посматрано тело Σ мерен дж галактичког екватора у директном смеру... Галактичка латитуда β_{gal} је угао између галактичке равни и смера небеског тела kruga Σ.

$$0° \leq \lambda_{gal} \leq 360° , \qquad 0° \leq \beta_{gal} \leq +90° ,$$





Галактички координатни систем. Центар је у Сунцу, а координате су галактичка лонгитуда ($l = \lambda_{gal}$) и галактичка латитуда ($b = \beta_{gal}$)