

Одабрана поглавља астрономије

Јован Самарџић, 13/2019

Професор: Бојан Новаковић

Година курса: 2021/22

Молим да ми све грешке пријавите
преко мејла или друштвених мрежа.

1.

Структура Сунчевог система

Сунчев систем чине:

* **Сунце**

* **Велике планете:** 1° **Унутрашње** (Земљиног типа): Меркур, Венера, Земља, Марс.
2° **Спољашње** (Јупитеровог типа): Јупитер, Сатурн, Уран, Нептун.

* **Патуљасте планете:** задовољавају неке услове да буду планете, али не све.

* у Астероидном појасу (између Марса и Јупитера): **Церес**

* у Транснептуном појасу: **Плутон, Ерис, Седна...**

↓ није планета јер постоје тела са већом масом на још већој удаљености од Сунца (2006.)

* **Астероиди и комете:** * много мањи од планета, али сличног састава.
* укупно их је познато око милион (већина су астероиди).
* величине се крећу од пар десетина метара, до пар стотина километара.

* **Транснептуномски објекти:** мала тела.

Сви ови објекти се крећу око Сунца.

* **Природни сателити:** * не крећу се око Сунца (тј. не самостално), већ око матичних планета.
* Меркур, Венера - 0 сателита
Земља - 1 сателит: **Месец**.
остале - бар 2 сателита (већа маса ⇒ јача гравитација)

Сва тела у Сунчевом систему крећу се на два начина:

1° **револуција:** кретање око централног тела. (планете око Сунца, сателити око планете)

2° **ротација:** кретање око своје осе.

2.

Кеплерови закони

Описују основне карактеристике кретања поменутих тела око Сунца.

Кретање тела у Сунчевом систему одвија се примарно под утицајем **закона гравитације**.

* Закон гравитације зависи од масе објекта (сила гравитације је дир. проп. производу маса, а супр. проп. квадрату растојања та два тела)

Хијерархија маса:

1. Сунце
2. Јупитер (1000 пута мања од Сунца)
3. остале планете (1000 000 пута мања од Сунца)
4. астероиди, комете (занемарљиво мале)

Због тога, кретање можемо да опишемо правећи се да постоје само Сунце и планета. Кеплерови закони не узимају у обзир остала тела, па зато можемо да их користимо.

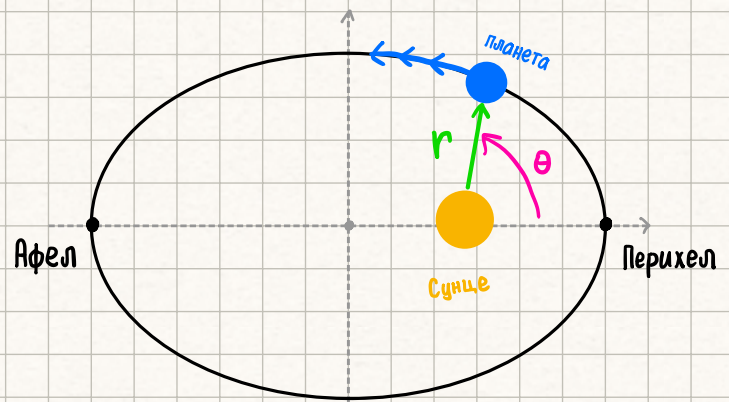
I Кеплеров закон: Све планете се крећу по елиптичним путањама у чијој се заједничкој жини налази Сунце.

a - велика полуоса
 e - ексцентричност ($0 \leq e < 1$)

r - радијус вектор планете
у односу на Сунце

θ - права аномалија

Формула:
$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cdot \cos \theta}$$



Перихел: тачка у којој је планета најближа Сунцу. У тој тачки има највећу брзину.

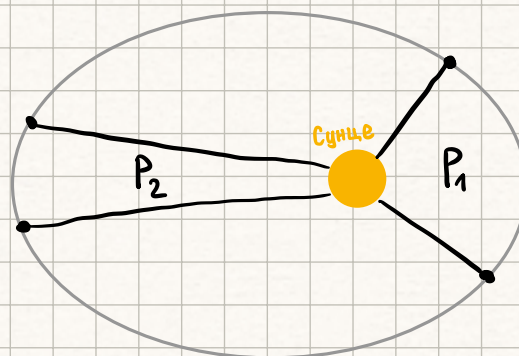
$$q := r_p = a(1-e)$$

Афел: тачка у којој је планета најдаља од Сунца. У тој тачки има најмању брзину.

$$Q := r_a = a(1+e)$$

II Кеплеров закон: Радијус вектор од Сунца до планете „пробрише“ једнаке површине у једнаким временским интервалима. ($P_1 = P_2$)

Формула: $r^2 \frac{d\theta}{dt} = \text{const.}$



III Кеплеров закон: Квадрати времена обилажења планета око Сунца пропорционални су трећем степену великих полуоса њихових путања.

(дакле не за сателите)

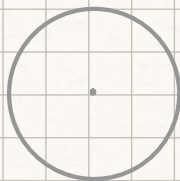
Формула: $\frac{a^3}{T^2} = k$ - исто за сва тела која се окрећу око Сунца

a - изражено у **астрономским јединицама** (средње растојање између Земље и Сунца)
 T - изражено у **годинама**

За Земљу: $a=1, T=1 \Rightarrow k=1. \Rightarrow$ Формула: $a^3 = T^2$

* Напомене:

$e=0$:



$e=0.5$:



$e=0.96$:



Што је веће e , перихел је све ближи, а афел све даљи од Сунца.
То доводи до више пресецања орбити различитих тела.
То даље доводи до нарушавања стабилности кретања (у некој мери).

3. Њутнов закон гравитације; Проблем два тела

* Њутнов закон гравитације: Сваке две честице у универзуму привлаче се силом која је директно пропорционална производу њихових маса, а супротно пропорционална квадрату њиховог растојања.

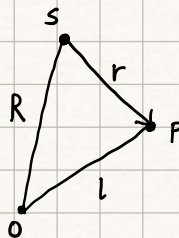
$$\text{Формула: } F_G = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Сила F_G назива се **сила гравитације**, а константа G је **гравитациона константа**.



* **Проблем два тела:** тражимо једначину за опис кретања планете око Сунца.

Нека су у неком координатном систему R и L редом вектори положаји Сунца и планете. Тада је $r = L - R$ вектор положаја планете у односу на Сунце.



Сила којом Сунце привлачи планету може се представити изразом:

$-G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \cdot r_0$, што је исто што и $-G \frac{M \cdot m}{r^3} \cdot r = F_{sp}$

због смера вектора r_0

(M, m - масе, r_0 - јединични вектор у смеру вектора r)

Сила којом планета привлачи Сунце је: $F_{ps} = G \frac{M \cdot m}{r^3} \cdot r$ (иста, само супротног знака)

По II Њутновом закону: сила = маса · убрзање.

Такође, знамо да је убрзање други извод вектора положаја по времену.

Одавде добијамо следећа два израза: $M \cdot \frac{d^2 R}{dt^2} = G \frac{M \cdot m}{r^3} \cdot r$ (1) - укупна сила која делује на Сунце

$m \cdot \frac{d^2 L}{dt^2} = -G \frac{M \cdot m}{r^3} \cdot r$ (2) - укупна сила која делује на планету

Напоменуто да смо претпоставили да је гравитациона сила једина сила која делује на тела.

Како је $r = L - R$, двоструким диференцирањем обе стране добијамо: $\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{d^2 L}{dt^2} - \frac{d^2 R}{dt^2}$

Коначно, ако уврстимо (2)/ m и (1)/ M у претходну једнакост, добијамо:

$\frac{d^2 r}{dt^2} = -G \cdot \frac{M+m}{r^3} \cdot r$ - диференцијална једначина кретања неке планете око Сунца.

Ако то помножимо масом планете, добијамо: $m \cdot \underbrace{\frac{d^2 r}{dt^2}}_a = -G \cdot \underbrace{\frac{m(M+m)}{r^3}}_F \cdot r$

Напомене: 1) Решавањем претх. једначине, добијамо неки вид формуле која даје I Кеплеров закон.

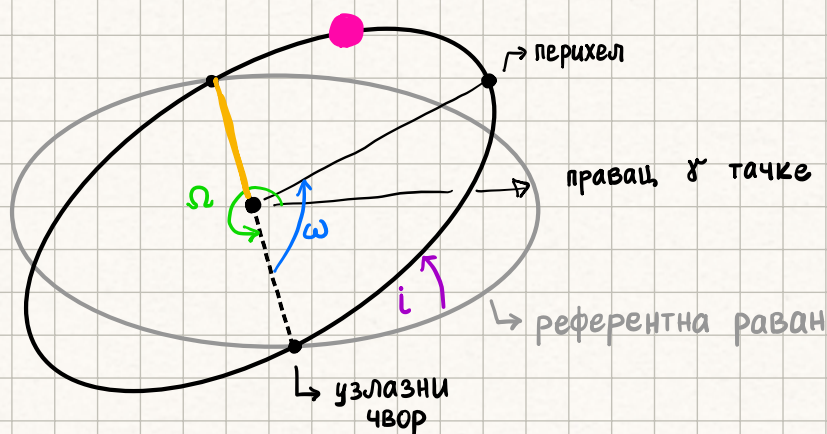
2) За проблем з или више тела, одговарајућа једначина није аналитички решива. Стога се користе нумеричке методе.

4.

Елиптички орбитални елементи

Путања планета, астероида, комета око Сунца у потпуности је одређена са 6 величина. То су елиптички орбитални елементи.

* велика полуса	a		} одређују облик елипсе
* ексцентричност	e		
* нагиб	i		угао у односу на референтну раван
* лонгитуда узлазног чвора	Ω		где продире референтну раван
* аргумент перихела	ω		где је перихел (оријентација)
* средња аномалија	M		где се налази тело на елипси



За референтну раван узимамо раван еклиптике. (када говоримо о Сунчевом систему)
Она је погодна јер се велике планете крећу по равнима блиским равни еклиптике.

* У специјалним случајевима, користимо још неке елементе.

↳ 1° $i \approx 0$: тада се раван кретања скоро поклапа са референтном равни.
па тешко одређујемо правац према узлазном чвору.

↳ 2° $e \rightarrow 0$: тада имамо скоро кружно кретање,
па тешко одређујемо најблињу и најдаљу тачку, самим тим и ω и M .

Ти елементи су: * **лонгитуда перихела**: $\bar{\omega} = \omega + \Omega$;

* **средња лонгитуда**: $\lambda = M + \omega + \Omega$.

* Почетних 6 елемената зову се **оскулаторни елементи**: зависе од тренутка у ком меримо.
Постоје и **сопствени елементи**.^[11]

* Елипса по којој се крећу тела у проблему два тела је фиксна.
У систему где је присутна гравитација, постоје две величине које су константне:

1) **угловни моменат / моменат импулса**: $L = m \cdot v_t \cdot r$, m - маса
 v_t - танг. компонента брзине
 r - вектор положаја

Напомена: $L = m v_t r = p r = I \omega$

импулс $p = m v_t$ Моменат инерције $I = m r^2$ угаона брзина $\omega = \frac{v_t}{r}$

Важи: $L_1 + L_2 = \text{const}$ (могу да размењују угаони моменат)

2) **енергија система**: увек константна, велика полуса зависи од енергије.

5.

Проблем n-тела

Напомена: путања по којој се крећу тела није константна, већ долази до њене еволуције у времену.

Нека су R_1, \dots, R_n вектори положаја маса m_1, \dots, m_n према непокретној тачки O . одабраног координатног система који сматрамо непокретним.

Релативни положај масе m_k према маси m_i је $L_{ik} = R_k - R_i$.

Нека је $\rho_{ik} = \|L_{ik}\|$, то онда значи да је $\frac{L_{ik}}{\rho_{ik}}$ јединични вектор правца од m_i ка m_k .

Одавде следи да маса m_k дејствује на масу m_i силом интензитета

$$G \frac{m_i m_k}{\rho_{ik}^2} \cdot \frac{L_{ik}}{\rho_{ik}} = G m_i m_k \frac{L_{ik}}{\rho_{ik}^3}$$

Дакле, по II Њутновом закону за масу m_i : $m_i \frac{d^2 R_i}{dt^2} = \sum_{k \neq i} G m_i m_k \frac{L_{ik}}{\rho_{ik}^3}$.
Ми имамо n оваквих једначина.

У хелиоцентричном систему (Сунце је у тачки O , $r_i = R_i - R_0$) имамо:

$$(1) \quad m_i \frac{d^2 R_i}{dt^2} = \underbrace{-G m_i M \frac{r_i}{r_i^3}}_{\text{кретање } i\text{-те масе око Сунца}} + \underbrace{\sum_{k \neq i} G m_i m_k \frac{L_{ik}}{\rho_{ik}^3}}_{\text{утицај осталих маса на посматрану масу } m_i} \quad - \text{ за } m_i$$

$$(2) \quad M \frac{d^2 R_0}{dt^2} = G M m_i \frac{r_i}{r_i^3} + \sum_{k \neq i} G M m_k \frac{r_k}{r_k^3} \quad - \text{ за Сунце}$$

Одузимањем (1)/ m_i и (2)/ M , добијамо: $\frac{d^2 r_i}{dt^2} = \underbrace{-G(M+m_i) \frac{r_i}{r_i^3}}_{\text{проблем 2 тела (утицај Сунца)}} + \underbrace{\sum_{k \neq i} G m_k \left(\frac{L_{ik}}{\rho_{ik}^3} - \frac{r_k}{r_k^3} \right)}_{\text{поремећај [9] (јер је много мање, тј. } M \gg m_k)}$

Поремећај је гравитациони утицај других планета на посматрану.

Могу бити: * **периодични**: периодично се понављају, осцилују; могу бити краћи (1-1000 год.) или дужи (1000-1000 000 год.); мањег су значаја.

* **секундарни**: неперидични, доводе до трајне промене орбите.

6.

Настанак Сунчевог система

Желимо да дамо одговор на следећа питања:

1. Зашто се планете крећу у скоро истој равни и у истом смеру?

Ту раван зовемо **еклиптика**, а смер **директан** (супротно од казаљке)

2. Зашто су унутрашње планете мање и стеновите, а спољашње веће и гасовите?

3. Откуд мали објекти (астероиди и комете)?

4. Шта доводи до одступања од правила?

Ротација Венере и Урана и нагиб орбите Меркура ($\Delta=7^\circ$).

1. Зашто се планете крећу у скоро истој равни и у истом смеру?

Постоје две класе хипотеза о настанку Сунчевог система:

а) **Хипотеза о блиском пролазу:**

- Нека звезда прошла баш близу Сунца, са њега откинула делове и од тога настале планете.
- Овакав пролазак је мало вероватан, а како постоји много планетарних система, онда ово није баш реална хипотеза.

б) **Хипотеза Небуле:** пре 4.6 милијарди година. <https://www.youtube.com/watch?v=PL3YNQK960Y>

- На почетку постојао је један облак гаса и прашине. Био је у равнотени између силе гравитације (сажима облак) и сила услед кретања (шире га).
- У неком тренутку, то се нарушило, гравитација победила и облак се сужавао.
- Услед кретања честица, облак је имао своју (малу) брзину ротације. Самим тим има угаони моменат, који се очувава.
- Смањењем димензија, због очувања, повећава се брзина ротације облака.
- То онда доводи до урушавања полова ка центру \Rightarrow облак постаје диск.
- Тиме се смањује запремина \Rightarrow већа густина \Rightarrow више судара и већа темп.

- Сударима се формирају тела, која круже око центра, али се и спајају
- Спајања \Rightarrow расту \Rightarrow јача гравитација \Rightarrow више спајања \Rightarrow бржи раст
Тако расту док не постану планетезимале, а онда прото-планете и планете.
- Напомена: због малих брзина су се спајали, данас су веће, па би се распали.
- Како су расли, због међусобних утицаја орбите су постале елипсе (уместо кругова).

Овим добијамо одговор на наше питање: раван \leftrightarrow диск
ротација \leftrightarrow око центра диска

2. Зашто су унутрашње планете мање и стеновите, а спољашње веће и гасовите?

Снежна линија се дефинише за сваки елемент.

То је удаљеност од центра диска на којој тај елем. прелази из гасовитог у чврсто.
За воду то је 2.5-5 АЈ. Унутар линије сувише топло за лед, а изван постоје услови за лед.

По овоме, све што је на растојању мањем од 2АЈ не може задржати воду у себи.

* Спољашње планете:

Честице леда + тежи елементи се сударају и формирају све веће и веће објекте.

Гравитација јача \Rightarrow прикупља гасове из околине. (H, He)

Како гас не може да опстане дужи од 10М година, толико времена им је требало да настану.

Сателити ових планета настали су из мини-дискова око тих планета.

* Унутрашње планете:

Мање материјала \Rightarrow треба им више времена за формирање (око 100М година)

Ближе Сунцу су били доступни метали и минерали.

Зато су унутрашње планете мање, али веће густине.

3. Откуда мали објекти (астероиди и комете)?

Неки планетозимали не успеју да постану планете, због услова на месту где су. Астероиди и комете су управо то.

Кажемо да су они „градивни блокови од којих су настале планете“.

Разлика: астероиди су настали унутар снежне линије, а комете изван. Зато комете имају много више лаких елемената, који испаре кад се приближе Сунцу. Отуда комете имају главу и реп.

4. Шта доводи до одступања од правила?

Већ смо рекли да како је долазило до одступања од кружног кретања. Тако су се повећавале брзине и онда кад дође до судара, не мора доћи до спајања.

Некад дође до разарања, а некад до промене смера ротације. (нпр. Венера и Уран)

Ако дође до судара са циновским планетезималом, то доводи до нагиба осе (нпр. Меркур).

Ово су само претпоставке, нема доказа.

7.

Миграције планета

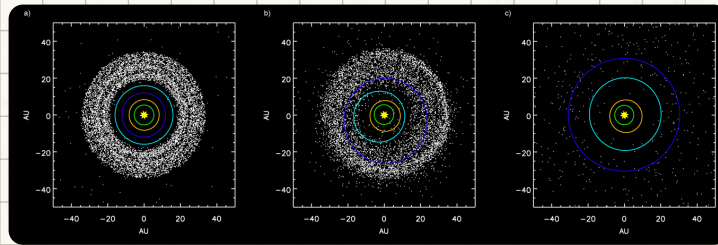
Постоје два модела која описују миграције:

https://www.youtube.com/watch?v=M8AzsbtII_k

1. Ница модел:

- све планете су биле много блине Сунцу, па су спољашње мигрирале. Зашто?

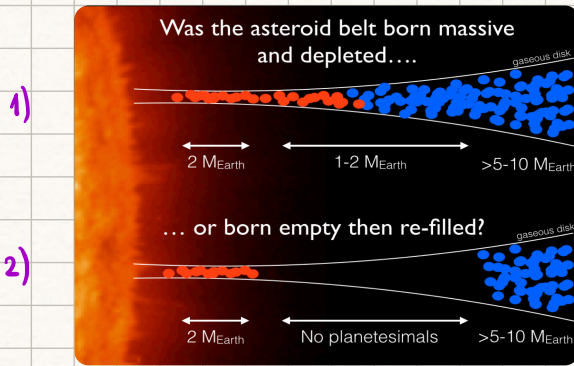
- а) интеракција између планета;
- б) интеракција са планетезималима.



пред крај формирања СС.

- Фаза касног тешког бомбардовања: неки планетезимали су разбацани ван Сунчевог сис. а неки су се још приближили, па су се интензивно сударали са објектима.

Настанак астероида и комета: постоје два модела



- заснива се на теорији Небуле;

- ово има смисла, јер данас имамо овакву расподелу маса.

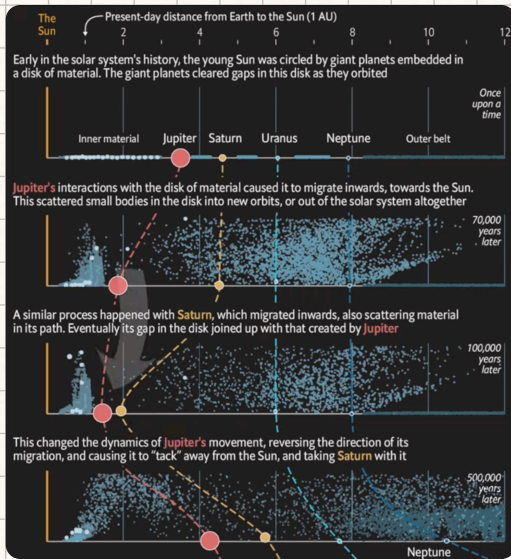
Главни астероидни појас = ГАП

2. Grand Tack модел: подржава први модел (објашњава губитак масе у ГАП) (самим тим и теорију Небуле)

Многе вансоларне планете Јупитеровог типа су много близу својих звезда. Симулацијама је утврђено да је то нормално и очекивано.

Зашто Јупитер није ближи Сунцу?

Па био је, али је мигрирао ту где је сада. Зашто? Повукао га је Сатурн:



Јупитер се приближавао и рушио све што му је било на путу.

У неком тренутку и Сатурн је почео да се приближава и то брже (јер је лакши)

Толико су близу били да је њихов међусобни утицај променио смерове њихових миграција.

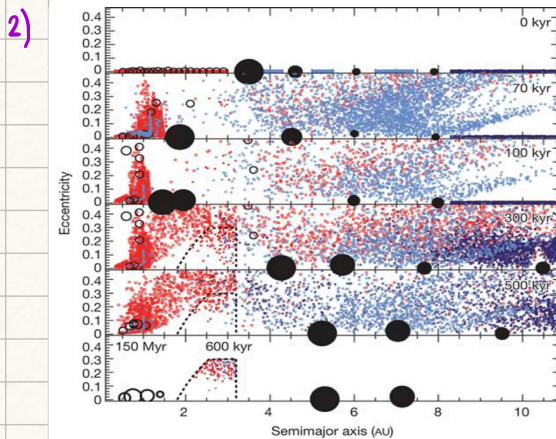
Које доказе имамо за овај модел?

1) Уколико симулирамо настајање планета само од планетезимала, испоставља се да би Марс имао много већу масу.

То значи да је одређени део маса уништен.

↳ Хансен је 2003. доказао и који тачно део

Пакле, могуће је да је то Јупитер урадио кад се приближавао.



Овде видимо како је могао настати ГАП.

■ - планетезимали од којих настају планете Земљиног типа и ГАП

■ - неки улазе заједно са Јупитером

После овога, испуњени су почетни услови за Ница модел.

8.

Орбиталне и динамичке карактеристике астероида

Издвајамо разне групе астероида, по растојању од Сунца:

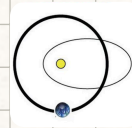
1) Астероиди близу Земље: $q < 1.3 \text{ AJ}$

погрупе

1.1) **Apollo:** $a > 1 \text{ AJ}$, $q < 1.02 \text{ AJ}$
⇒ орбите им се секу са Земљином
↓
62%



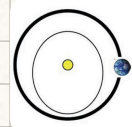
1.2) **Aten:** $a < 1 \text{ AJ}$, $q < 1.02 \text{ AJ}$
⇒ орбите им се секу са Земљином
↓
6%



1.3) **Amor:** $1.02 \text{ AJ} < q < 1.3 \text{ AJ}$
⇒ орбите им се не секу са Земљином
↓
32%



1.4) **унутар Земљине орбите:** $q < 0.993 \text{ AJ}$
↓
само 6 познатих



2) Астероиди даље од Земље: секу орбиту Марса

2.1) **Hungaria:** $1.75 - 2 \text{ AJ}$

2.2) **Rosaeia:** унутрашња граница ГАП
(Фокса)

ГАП: 1) унутрашњи део ГАП - до 2.5 AJ
2) средишњи део ГАП - $2.5 - 2.8 \text{ AJ}$
3) спољашњи део ГАП - од 2.8 AJ

Зашто ове границе? Резонанце⁹ са Јупитером

3) Астероиди још мало даље од Земље:

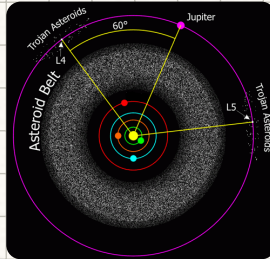
3.1) **Cybele:** 3.3 - 3.5 АЈ
(Цибеле)

3.2) **Hilda:** око 4 АЈ

3.3) **Јупитерови Тројанци:** око 5.2 АЈ - крећу се по Јупитеровој орбити.

Како опстају тако близу Јупитера?

https://www.youtube.com/watch?v=9zXIO_qjrog



4) Астероиди у транзицији: - **кентаур објекти** - између орбита Јупитера и Нептуна

- напусте транс-нептунски појас и приближе се Сунцу

- кратко живе, нестабилне орбите (због судара)

5) Транс-нептунски објекти: - велики нагиби у односу на еклиптику (као и Плутон)
- има много двојних астероида

Типови орбита:

- 1) класичне: ван орбите Нептуна, кружне;
- 2) разбацане: ексцентричне, услед блиских пролаза са Нептуном;
- 3) резонантне: избегавају Нептун.

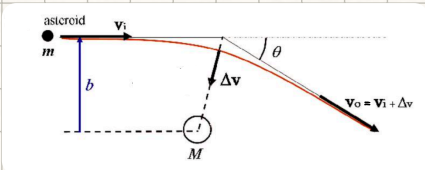
9.

Динамичка нестабилност кретања

Кретање је **стабилно** ако при малој промени почетних услова не долази до значајне/трајне промене орбиталних елемената. Иначе, кажемо да је кретање **нестабилно**.

Шта све доводи до тих промена?

1) Блиски прилази са планетама: мењају e, a, i



Да би дошло до овога, растојање b мора да буде у тзв. сфери дејства планете.

$$\Delta v = 2 \frac{GM}{b \cdot v}$$

2) резонанце: мењају e, i

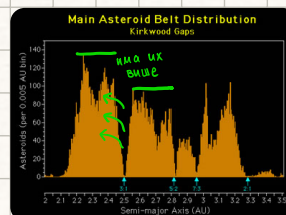
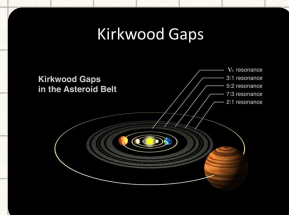
2.1) резонанце у средњем кретању:

- када се периоди два објекта односе као два узajамно проста броја;
- срећу се на истим местима \Rightarrow утицај се акумулира, тј. гравитација мења орбите;
- јачина резонанце зависи од:
 - реда резонанце (разлика, нпр. 7:3 је реда 4)
 - \hookrightarrow што мање, то јаче (чешћи сусрети)
 - масе \Rightarrow резонанце са Јупитером баш јаке

- пример: резонанца 3:1 - Јупитер и астероид;

Ако знамо резонанцу и T Јупитера \Rightarrow знамо T астероида.
По III Кеплеровом закону, лако одређујемо и a астероида.

- **Кирквудове празнине** (у расподели броја астероида у ГАП по растојању од Сунца)



Закле: Резонанца акумулира утицај на \Rightarrow астероидима који су ту се мења орбита \Rightarrow улазе у сферу дејства и своди се на 1).

Нпр. из 3:1 најчешће мигрирају у правцу, тј. ка Земљи

- постоје и резонанце 3 тела

- резонанце некад и стабилизују кретање

(нпр. Нептуну и Плутону се орбите секу.
Али орбита Плутона има нагиб + резонанца 2:3 између њих.
Због тога, они се никад неће срести)

2.2) секуларне резонанце: - када орбите нека два објекта ротирају синхронизовано

(да, орбите такође ротирају )

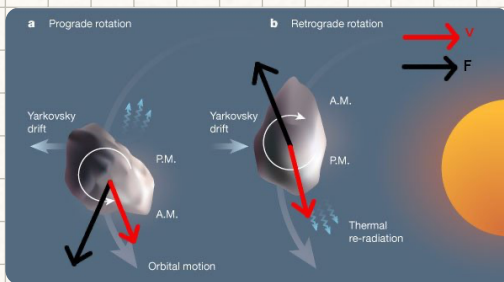
По сада, гравитациона сила је изазивала промене.

3) негравитациони ефекти: мењају a

3.1) ефекат Јарковског:

<https://www.youtube.com/watch?v=icJ8XUgTXOc>

* **дневни:** - Сви астероиди револуирају у директном смеру.
Што се ротације тиче она може бити и у једном и у другом смеру.



а) директни: $v \uparrow \Rightarrow a \uparrow$

б) ретроградни: $v \downarrow \Rightarrow a \downarrow$

- Напомена: Јарковски $\sim A = r^2$, али $\mu \sim \frac{1}{v} = \frac{1}{r^3} \Rightarrow \frac{1}{r}$

Такође: Јарковски $\sim \cos \gamma$ (γ - нагиб осе)
↳ попречни пресек

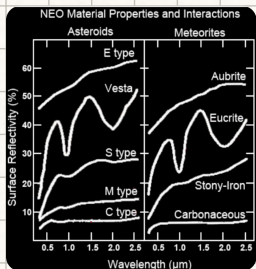
* **сезонски:** увек $a \downarrow$

3.2) **YORP ефекат:** - мења γ , од ког зависи Јарковски, па тако индиректно утиче.

Цакле, ланац: $\text{YORP} \xrightarrow{\text{мења } \gamma} \text{Јарковски} \xrightarrow{\text{мења } a} \text{резонанца} \Rightarrow \text{блиски пролаз}$

Физичке карактеристике астероида

* **Састав:** одређујемо тако што посматрамо Сунчеву светлост која се одбија о астероид



- **алbedo:** - проценат светлости који се одбија
- мањи алbedo ⇒ тамније

- **спектар:** расподела алbedo по таласним дужинама

Идеја је да упоређујемо спектре астероида и метеорита.

Они који имају сличан спектар имају и сличан састав, па испитујемо метеорит.

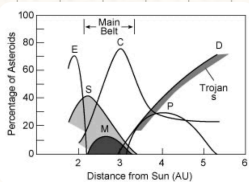
Шта је са саставом унутрашњости?

Астероиди нису довољно велики да се **диференцирају** (нпр. Земља - теми иду унутра)
Због тога, спољашњост и унутрашњост су сличног састава.

* **Таксономија:** подела астероида по спектру, прво на комплексе, а онда на типове

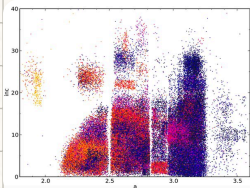
- **комплекси:**
- 1) **C - комплекс:** тамни, угљенични (75%)
 - 2) **S - комплекс:** светли, камени (15%)
 - 3) **X - комплекс:** сви остали (осим V-типа и D-типа)
↓
Вестоиди

- **типови:**
- 1) **E-тип:** висок алbedo (0.25+)
доминантан у Hungaria групи (1.75-2 AU)
 - 2) **S-тип:** средњи алbedo (0.1 - 0.25)
доминантан у унутрашњем делу ГАП (2-2.5 AU)



- 3) **C-тип:** низак алbedo (0.03-0.1)
доминантан у средишњем и спољном делу ГАП (2.5-4 AU)

- 4) **D-тип:** веома низак алbedo (0.05-)
доминантан међу Јупитеровим тројанцима и у Hilda групи
најпримитивнији, најмање измењени



Светли - ближи Сунцу (ту је било материјала који дају висок алbedo)

Помешано - због Grand Tack (Јупитер испомерао)

* Абсолютне магнитуде: одређују сјај

На вежбама смо видели како рачунамо сјај звезда.

То не можемо да користимо и за астероиде, пошто сјај астероида зависи и од угла под којим ће се Сунчеви зраци одбити (фазни угао), као и самог албеда.

Абсолютна магнитуда астероида H је привидна магнитуда коју би посматрач измерио када би се астероид налазио на 1АЈ и то при нултом фазном углу.

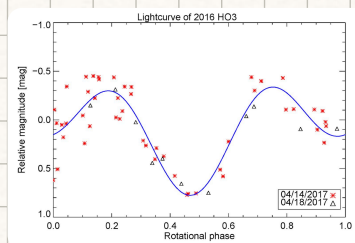
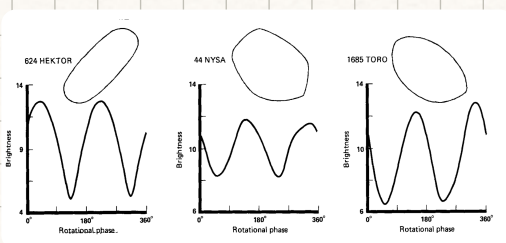
Другим речима, Земља и Сунце су у истој тачки

Тада, алс. магнитуда зависи само од албеда и величине астероида, па имамо формулу:

$$D = 1329 \cdot \frac{10^{-H/5}}{\sqrt{p_v}} \quad (D - \text{пречник, } p_v - \text{алbedo})$$

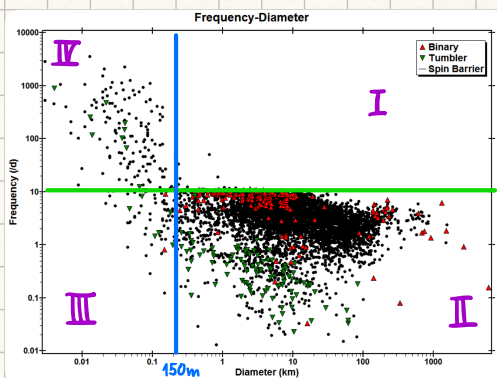
* Период ротације: одређујемо га користећи чињеницу да различити делови астероида сијају различитим сјајем (мањом или већом магнитудом)

Другим речима, конструишемо тзв. криву сјаја.



Напомена: што је астероид неправилнијег облика, то има већу амплитуду

Колики су ти периоди? Најчешће између 2^h - 24^h



150m - спин баријера

Приметимо: већина астероида је у II квадранту

У I скоро па их нема. Зашто?

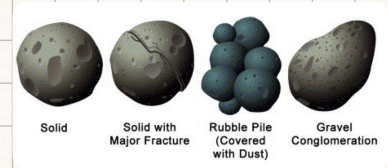
Велик пречник, велика брзина доводе до распада при ротацији.

Зато само мали (из IV) могу брзо да ротирају. То им омогућава YORP ефекат ($\sim 1/r^2$)

* Облик: неправилан, услед честих судара

* **Унутрашња грађа:** испитујемо **густину** и **порозност** (% шупљикавости) астероида

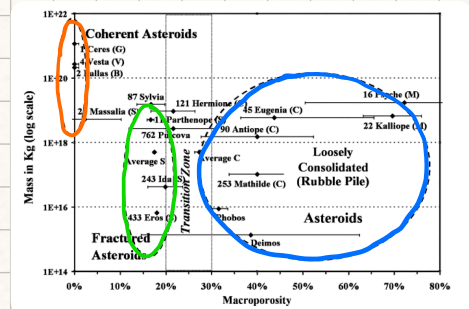
- Постоје 4 типа:
- 1) **компактни:** прототип за S-тип
 - 2) **фрактурисани компактни**
 - 3) **крш на гомили** (сви из II, 150m - 10km)
 - 4) **конгломерати:** прототип за C-тип



Напомене: 1) S-тип: густина: 2000-3000 kg/m³
порозност: 10-25%.

2) C-тип: густина: 1000-1500 kg/m³
порозност: 25-75%.

Спец. случ: Ceres, Pallas, Vesta : 0%
(гравитација попуњава рупе)



Двојни и вишеструки астероиди: еквивалент кретању сателита око планете, тј. један астероид се окреће око другог

Како долази до ове појаве?

- * **YORP ефекат:** повећа брзине ротација ⇒ распад, тј. **ротациона фисија** ефикасно за оне близу Земље
- * **Плимске силе**
- * **приликом судара:** ГАП
- * **заједничко формирање у време диска:** транс-нептунски појас

Где их процентуално има највише?

Транс-непт, па око Земље, па ГАП.

Тачније, у ГАП их је највише, али тамо има много "обичних", па је % мали.

Како их откривамо? На кривој сјаја имамо два минимума.

* **Маса:** тешко се одређује, знамо само за 60 астероида

↳ тако што видимо како поремети кретање неког тела при блиском пролазу
↳ за двојне може и III Кеплеров закон

* **Величина:** позната за око 100.000 астероида

највећи: Ceres, Pallas, Juno, Vesta

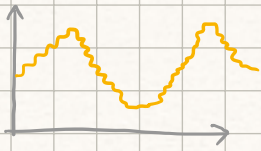
11.

Фамилије астероида

* Увод - сопствени елементи:

Подсетимо се: у [4] смо увели орбиталне елементе $a, e, i, \varpi, \omega, M$ и они су оскулаторни. То значи да у току времена они се периодично мењају.

Идеја је да то некако оценимо, тј. нађемо средину.



- имамо и краткорочне и дугорочне промене



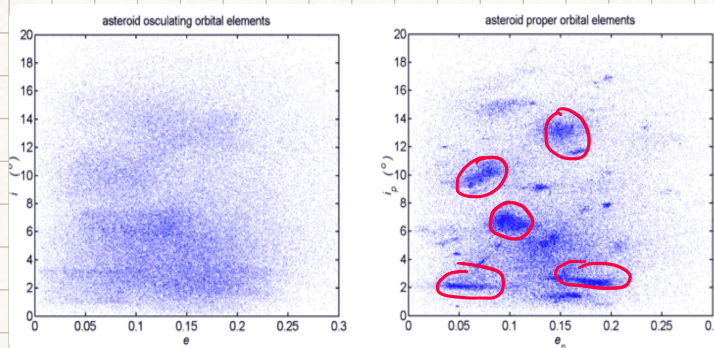
- елиминисали краткорочне




- елиминисали дугорочне

Константа коју смо добили зове се **сопствени елемент**.

Наравно, нема смисла оцењивати ϖ и ω (врте се $0^\circ-360^\circ$)
Зато имамо само три сопствена елемента: a_p, e_p, i_p



 - повећана концентрација

Њих користимо за: 1) испитивање динамичке стабилности
2) класификацију у фамилије

Фамилије су групе астероида са веома сличним орбитама. (имају сличне солс. елем.)

→ Оне настају распадом једног већег астероида (родитељско тело).

- Судар може бити:
- 1) **кратерског типа**: маса највећег \gg збир маса осталих
 - 2) **катастрофични**: маса највећег \approx збир маса осталих (50:50)
 - 3) **супер - катастрофични**: нема највећег, сви су негде

Зашто након судара комадићи остају блиски?

Брзине род. тела: $10-15 \text{ km/s}$
Брзине судара: 5 km/s
Брзине комадића: $10-100 \text{ m/s}$

} \Rightarrow немају ту брзину да се одвоје

Солс. елем. комадића (a_p, e_p, i_p) ће бити блиски солс. елем. род. тела (можемо све да их ставимо у елипсоид)

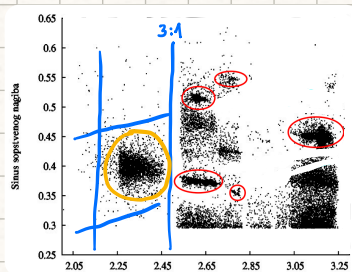
Ово формалније описују тзв. Гаусове једначине.

Напомена: све ово не важи у транс-нептунском појасу.

→ Методе за идентификацију фамилија: најчешће метода хијерархијског груписања.

То је статистичка метода, у којој преко одређене метрике уочавамо да ли су орбите нека два астероида блиска (тј. њихови солс. елем.)

→ Фамилије на високим нагибима



Ако је негде више сконцентрисано, не мора бити фамилија!

Нпр. око $3:1$ имамо гомилу резонанци.
Резонанце мењају кретање, па су набациле разно у $3:1$.
Дакле, то није фамилија, већ **острво стабилности**.

Ипак, некад и јесу фамилије.

Нпр: **Pallas** - највећи нагиб
Watsonia - најстарији астероиди

→ **Еволуција фамилија:** сопс. елем. се временом мењају.

Фамилије су, између осталог, значајне јер преко кретања и порекла њихових чланова, можемо да утврдимо шта се некада десило, али и добијамо резултате које не бисмо могли добити ни једним експериментом.

Зато нам еволуција отежава изучавање појава повезаних са њима.

Узроци еволуције: - резонанце, блиски прилази, Јарковски
- **секундарни судари** (сударе се два члана неке фамилије)
- **недеструктивни судари** (\Rightarrow YORP)

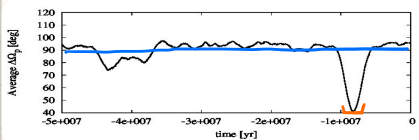
Већина фамилија је старија од 100М год.

Млађе фамилије (до 10М год.) - значајније, мање еволуирале

питање: како знамо старост?

→ **Одређивање старости фамилија:** постоји више начина

1) **интеграција орбита уназад у времену:** идеја је да су орб. елем. свих чланова на почетку били исти



Зашто је 40°, а не 0°?
Јер овај метод не рачуна
Јарковског \Rightarrow грешка

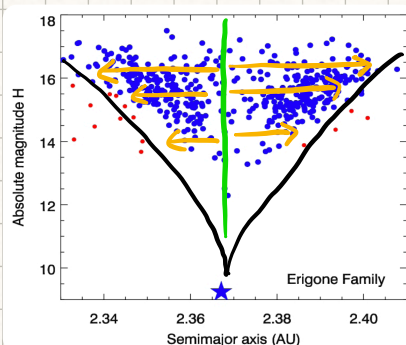
Реконструишемо Ω, ω уназад у времену.

Предност: најпрецизнија

Мана: ради само за младе и стабилне фамилије

2) **бројање кратера:** треба нам сателитска слика

3) **моделирање ефекта Јарковског:** за старије фамилије



На почетку, сви чланови били на **40**

Подсетимо се: $H \sim \frac{1}{D}$, Јарковски $\sim \frac{1}{D} \Rightarrow H \sim$ Јарковски
Пакле, они са највећим H више мењају орбиту.

Тиме добијамо ову криву **V** облика.

Знамо тип астероида \Rightarrow знамо алbedo $p_v \Rightarrow$ знамо D .

Знамо и брзину којом се креће астероид са $D=1$.

Скалирањем \Rightarrow брзина нашег астероида + прочитамо дужину **40** \Rightarrow време $t = \frac{s}{v}$

4) **метод хаотичне хронологије:** слично 3), само гледамо однос e, i

Комете

Подсетимо се: астероиди и комете су настали од планетезимала који нису постали планете.
Разлика? Астероиди настали унутар снежне линије, а комете изван.

Одавде, закључујемо да у састав комета улазе лако испарљиви елементи.

Комете се састоје од:

- **језгра:** „прљаве грудве снега“ прашине и леда
- **репа:** већина их чак ни нема, само оне близу Сунца

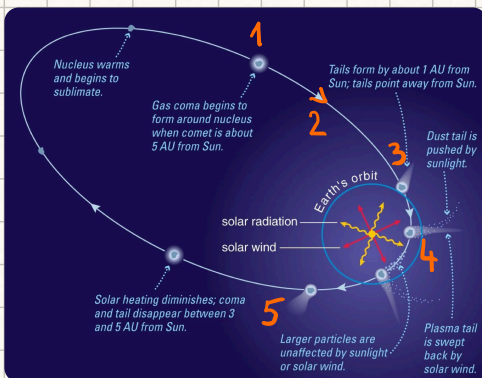
Својства: - велики ексцентритети: разлика између a и q је велика

Неке комете никад не прилазе близу Сунца, а неке пролазе периодично.
У том случају, материјал временом испари и комета постаје **неактивна**.

- главни резервоари: Кајперов појас (транс-нептуњски) и Ортов облак (на крају Сунч. сис.)

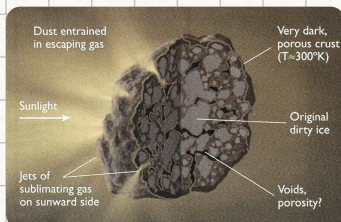
- ↳ нормални нагиби
↳ 30-50 АЈ
- ↳ случајне орбите у свим правцима
↳ до 50 000 АЈ

Активност комета:



- 1) Када дође негде око Јупитера (5АЈ), појављује се глава комете.
То је заправо атмосфера
- 2) Глава се повећава, постаје гушћа и активнија
- 3) На 1-2 АЈ, настаје **гасни (плазма) реп**: увек супр. од Сунца
↳ траг на слици
- 4) На < 1 АЈ, настаје **прашњав реп**: мало закривљен
↳ тачкице на слици
- 5) нестaju репови

Грађа језгра:



Рупе, тј. џепове, испуњавају гасови који се одледе
Када се комета довољно приближи Сунцу, услед високе темп.
долази до експлозије џепова.

Тако настаје прашњави реп.

Подела комета: 1) **кратко-периодичне**: 1.1) **Јупитеровог типа**: $T < 20$ година

↳ подгрупа: комете типа Енке: орбита унутар Јупитерове

1.2) **комете типа Халеј**: $20 < T < 200$

2) **дуго-периодичне**: $T > 200$ година

13.

Месец

Месец је Земљин природни сателит.

Својства: - 4 пута мањи од Земље

- нагиб осе ротације само 7° , па нема годишњих доба
- температура има јаче екстреме, зато што нема атмосфере
- нема воде у течном стању
- за разлику од Земље, нема више слојева (мада има своје језгро)

⇒ густина Месеца \approx густина Земљине коре
густина Месеца \lll густина целе Земље

- нема ерозије
- нема магнетног поља

Како је настао Месец?

- Одломио се од Земље? Немогуће, због густина.
- Настао далеко, па га Земља заробила? Немогуће, јер због густине морао би да настане баш далеко, па би дошао великом брзином, а нема Земља такву масу.
- Земља ротирала, па отпао? Тешко, због нагиба
- Судар Земље са прото-планетом величине Марса, пре 4.5 м година.

Објашњава састав, орбиту и велики угловни моменат

Геолошка еволуција:

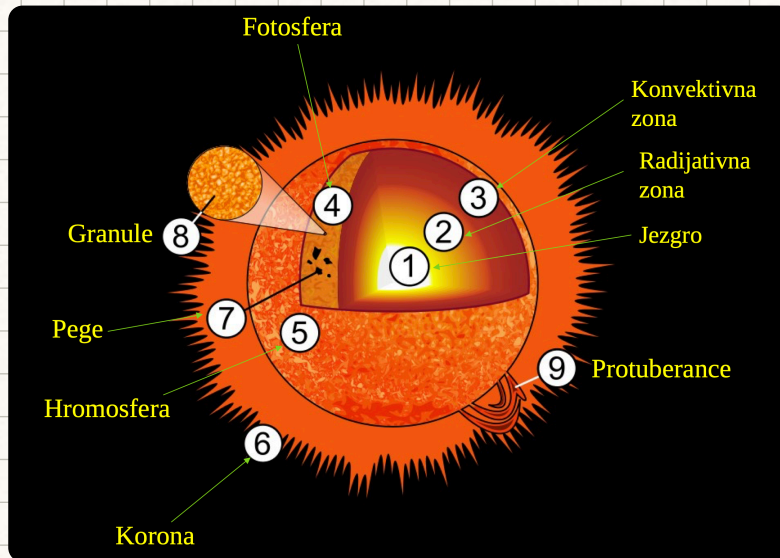
- кратери, дакле било је много судара
- постоји камење вулканског порекла, дакле раније је било вулканизма (1в год.)
- примећујемо светле и тамне области: 1) висоравни: светле
2) низије: тамне, ту се лава слива

Данас, месец је геолошки неактиван

Сунце

Сунце је звезда у центру Сунчевог система.

Својства: - полупречник 100 пута већи од Земље
- маса 333 000 пута већа од Земљине, а 1000 пута већа од Јупитерове

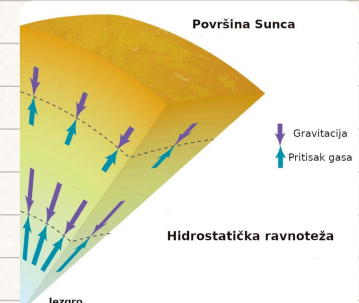
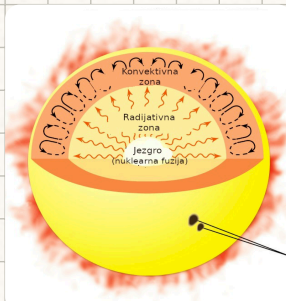
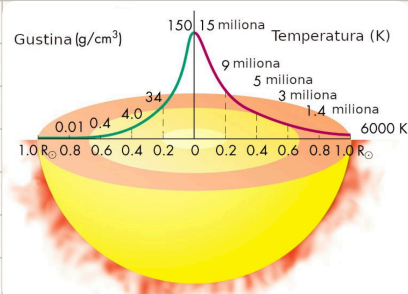


1) **Језгро:** најтоплије (15м К) и најгушће ($150 \text{ cm}^3/\text{g}^3$)

2) Како је језгро топлије од површине, топлота се преноси ка спољашњости. То се врши зрачењем, тј. без учешћа материје, кроз **радијативну зону**. Овај процес је јако спор, треба више милиона година.

3) Изнад рад. зоне, енергија се преноси ефикасније - кретањем плазме. То се врши у **конективној зони** преко конективних ћелија.

Напомена: Сунце постоји зато што је у хидростатичкој равнотени (гравитација и притисак гаса). Иначе би се кроз изменило



Атмосфера Сунца има три слоја:

- 4) **Фотосфера:** најдубљи (300-400 km), одавде потиче већина светлости коју ми видимо температура пада и до 4000K
има **грануларну структуру** (в) - млазеви вреле плазме
 - 5) **Хромосфера:** овај слој се види при тоталном помрачењу (танка пурпурна област)
температура од око 4000K па и до 1M K (у тзв. прелазном слоју)
структуру чине сликуле
 - 6) **Корона:** простире се пар милиона km и ту прелази у Сунчев ветар
и она се види за време тоталног помрачења („зраци“)
одређује магнетно поље Сунца
 - 7) **Пега:** концентрација флукса на фотосфери, па су ту ниже температуре
веће су од Земље
трају 1-100 дана
 - 8) **Протуберанце:** циновски млазеви хромосферске плазме
могу бити мирне и активне
већа густина, али мања темп. од околне материје у корони.
- * **Хромосферске ерупције:** изненадни блескови у хромосфери, изнад група пега.
Битно јер изазивају низ геофизичких ефеката на Земљи