

udako
euskal
unibertsitatea

ASTRONOMIAREN
OINARRIAK (I)

IRUINEA 1980



Banco de Vizcaya

BABESTUTAKO ARGITARAPENA

EDICION PATROCINADA POR EL

Banco de Vizcaya

VIII. UDAKO EUSKAL UNIBERTSITATEA

IRUÑA 1980

ASTRONOMIAREN

OINARRIAK

(I)

Prestatzaileak: JESUS ARREGI

KARMELO LARIZGOITIA

SARRERA

Azken urte hauetan, astronomoek lortu dituzten aurkikuntzek jakingura handia iratzarri dute maila guztietan. Quasar, pulsar - eta beste zenbait kontzeptu berrik gaurkotasun handia dute. Hala - ber, 1965. urteaz gero, mikrouhinen erradiazioaren aurkikuntzakin, teoria kosmologikoen, hau da, Unibertsoaren aintzina eta etorkizuna aztertzen duten teorien dibulgaziora jo da.

Honela, lan asko argitaratu dira gizonak betidanik planteatu duen galderei erantzuteko: Nolakoa da Unibertsoa, finitua ala infinitua?, Zer adin du?, Nola sortu zen?, eta abar...

Bestalde, izarren eta galaxien arloan ere ikerketak asko - aurreratu dira, eta gaur egun, Eguzkiaren eta izarren energia eta argiaren jatorria azaltzeko teoria serio batzu dauzkagu.

Lan hau egiten hasi ginenean, gure asmoa arazo hauk azter - tzea izan zen. Beraz, bertan, astronomia —astroen higidura-problema aztertzen dituen zientzia—, astrofisika —astroen barnean ger - tatzen diren prozesuak aztertzen dituen zientzia— eta kosmologia - ko galderak ebatzi nahi izan genituen.

Nahaspila hau pixka bat ordenatzeko erabili dugun eritzia - hurbiltasuna izan da. Hots, lehenengo Eguzki-sistema aztertu dugu, Lurra, Eguzkia eta planeta guztiak arakatuz. Hurrengo pausoa iza - rren azterketa izan da, bertan, edozein izar baten jaiotza eta - eboluzioa deskribitu dugu. Noski, Eguzkia ere izar bezala tratatu - dugu.

Beste kapitulu batetan, hurrengo estruktura arakatu da: ga - laxiak. Eta azkenik, astro, galaxia eta agertuko diren Unibertsoko beste osagai guztiok estruktura bakar bat bezala kontsideratuz, Unibertsoko eboluzioa eta egitura azaldu nahi izan dugu. Dena - den, gure lehen asmo hori bete gabe geratu da azken bi gaiak (gala - xiak eta unibertsoaren eboluzioa) argitalpenerako pretatzea ez - baitzaigu posible gertatu denbora faltagatik. Horrela, geure lana - ren lehenengo parte baina ez dugu argitaratu honetan, datorren ur - terako lan osoa argitaratzeko asmoz.

Geure helburua, ba, irakurlea Astronomiaz arduratzea izan - da. Hots, irakurleak, lana irakurri eta gero, Lurraren eta inguru - ne eta urruntasunen eta denboran egoeraren idea konkretu batzu har ditzala izan da.

Helburu hau lortzeko esperantzakin, gauza bakar bat eska - tzea nahi dugu, eta zera da, oker guztien kritika eta barkamena.

AURKIBIDEA

1. Astronomian erabiltzen diren Mekanikako printzipioak	1
2. Eguzki-sistema: Orokortasunak	31
3. Izarrak	45
Eranskina. Izar-urruntasuna	95

1. G A I A

1.I. ASTRONOMIAN ERABILTZEN DIREN MEKANIKAKO PRINTZIBIOAK

1.I.1. KEPLERREN LEGEAK

1.I.2. NEWTONEN GRABITAZIO-LEGEA

1.I.3. KEPLERREN BIGARREN LEGEA

1.I.4. BI GORPUTZEN PROBLEMA: KEPLERREN 1. eta 2. LEGEAK

1.I.5. INDAR ZENTRALEN MENPEAN DAUDEN HIGIDURETAKO IBILBIDEEN AZTERKETA : ORBITEN AZTERKETA

1.I.6. IHESTE-ABIADURA

1.I.7. ORBITA ELIPTIKOEN AZTERKETA : KEPLERREN 3. LEGEA

1.I.8. ZERUTAR KOORDENATUAK

Esan genuenez, nahiz eta estudioaren objektua berdina izan, Astronomia eta Astrofisika zientziaren bi abar desberdin dira. Honela, edozein izar baten azterketan, Astronomiak beraren higidurak arakatzeko dituzte bategi bere; Astrofisika, berriz, beraren egitura eta barnean gertatzen diren prozesuetara jotzen da.

Kapitulu honetan Astronomiaren oinarri mekanikoak planteatuko ditugu. Beraz, aurretik, Unibertsoaren ikuspen geozentrikoa alde batetik utziko dugu eta, bategi bere, Tycho Brahe eta Keplerren ikasketetan oinarrituko gara, gaur zerutar mekanikaren azterketa nola egiten den geroago ikusteko, dinamika printzipio orokorretan funtsatuz. Hau da, astroen higidura, dinamika problema batetik bihurtuko dugu. Beraz, lehenengo Newtonen grabitazio-legea ikusiko dugu eta gero kontserbazioaren printzipioak eta bi gorputzen problema.

1.I.1.- KEPLERREN LEGEAK

Astronomiaren historiako kapituluaren esan genuen bezala, Copernicok emandako sistemak, Eguzkia planeten higiduraren zentrua zela proposatuz, aldaketa sakon bat suposatzen zuen Astronomiaren arloan. Harrez gero, astronomoek lanean saiatu ziren, planetek Eguzkiaren inguruan nola higitzen ziren zehazki determinatzeko.

Problema hau erabakitzeko, Tycho Braheek planeten posizioaren neurketak egitea pentsatu zuen. Tycho hil eta gero, Kepler matematikariari taula haiek aztertu egin zituen, ondorio bezala hiru lege ateraz, oso erraz eta politak.

Hauxek dira legeak :

1.- Planeta guztiek, beren higiduran, ibilbide eliptiko bat deskribitzen dute Eguzkiaren inguruan, Eguzkia elipsearen foku batetan egonez.

2.- Eguzkitik edozein planetatara marraztutako lerro zuzen batek planetari bere higiduran jarraitzen bazaio, denbora berdinetan azalera berdinak estaltzen ditu.

3.- Edozein bi planetarentzat, Eguzkiaren inguruko biraren periodoaren karratuak, beren orbitaren ardatzerdi handien kuboen proportzionalak dira. (Adierazpide hau Keplerrek emandakoa baino orokorragoa da).

1.I.2.- NEWTONEN GRABITAZIO-LEGEA

Aurreko puntuan ikusi dugun bezala, Keplerren legeak Eguzki-sistemaren barnean egindako neurketetatik atera ziren. Beraz, bakarrik Eguzki-sistemaren mugaren barruan aplikatu ditzakegu. Segidan ikusiko dugunez, lege haietan oinarrituz, Newtonek beste lege gutxi batzuek unibertsal bat atera zuen : grabitazioaren legea.

Higiduraren teoriak zuten ulerkuntza sakonagoaz, Newtonek planeten higiduraren kausa Eguzkian zegoela pentsatu zuen, hau da, higidura hori gobernatzen duen indarrak bere oinarria Eguzkian zuela. Honela, Newtonek Keplerren bigarren legea frogatu zuen, planeten desberdintasuna erradiala dela adieraziz, beraz, indar guztiak Eguzkiarantz zuzenduak dudela esanez.

Ondoren, hirugarren analisiarekin, planeta zenbat eta urrunago dagoenean indarrak hainbat eta makalagoak direla frogatu zuen. Konkretuki, bi planeta konparatzen baditugu, azterketak, indarra distantziaren karratuaren alderantziz proportzionala dela esaten digu. Beraz, lege bi hauen konbinaketaz Newtonek ondoriotu egin zuen indarra distantziaren karratuaren alderatziz proportzionala izan behar zela eta bi gorputz hoiaren arteko lerroaren direkzioaduna.

Guztiok dakigunez, indar honen adierazpen zehatza ondokoa da :

$$F = G \frac{M \cdot M'}{r^2} \quad (1.1)$$

non, G, konstante ezaguna baita $6,670 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}^2}$ balio duelarik.

Grabitazioaren lege honetan dauzkagu zerutar mekanika osoaren oinarriak.

Egoera honetan galdera bat planteatu diezaiokegu geure buruari : grabitazio-legea, izar arteko eta galaxien arteko distantzi mailan baliogarri ote da?. Erantzuna baiezkoa da; justifikazioa edozein izar edo galaxia-talde batetan daukagu. Baina kontutan izan behar dugu, erlatibitate orokorraren teoria erabili behar dela, dimentsio atomikoaren - mailab Lekanika Kuantikoa erabili behar den bezala.

Hala ere ez da hau erabili beharko dugun kontzeptu bakarra noski. Esan dugunez, astroren higadura, Dinamikako problema baten bidez aztertuko dugu, eta beraz beharrezkoak izango zaizkigu Dinamikako hiru legeak eta bai iraupeneko printzipioak ere.

Hurrengo horrietan, lanerako metodoa aztertzeko eta Keplerren hiru leggei orokortasuna emateko, bi ikasketa egingo ditugu : lehenengo, Keplerren bigarren legea aterako - dugu momentu angeluarraren teoriaren ondorio bezala; azkenik, bi gorputzen problema - aztertuko dugu, Keplerren beste bi legeak ateratzeko eta Eguzki-sistemako osagaien higiturak gultiz esplikatzeko.

1.1.3. KEPLERREN BIGARREN LEGEA

Lehenengo, indar zentralen eraginpean dauden sistemetan momentu angeluarra kontserbatu egiten dela frogatuko dugu.

Dakigunez, momentu angeluarrak ondoko aidarapen du :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m \vec{v} \quad (1.2)$$

non, $\vec{r}$, kontsideratzen dugun puntuaren posizio-bektorea

den, eta

$\vec{p}$, gorputz horren momentu lineala.

Halaber, edozein punturekiko indar baten momentua ere ezagutzen dugu :

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1.3)$$

non, $\vec{F}$, gure partikularen gainean jotzen duten indarren erresultantea den.

(1.2) ekuazioa denborarekiko deribatzen badugu :

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt} (\vec{r} \times \vec{p}) = \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$$

baina,

$$\frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} = \vec{v} \times m \vec{v} = 0$$

zeren bektore biek direkzio berbera baitute. Beraz, $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$

eta Newtonen 2. legearen arabera :

$$\vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{M}$$

Beraz,

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$$

denbora-unitatean momentu anguluarraren aldaketa eta eragiten duen indarraren momentu tua berdinak dira. Honeia, sitemaz kanpoko momenturik ez badago, $\vec{M} = 0$, momentu anguluarrak konstante irauten du, $\vec{L} = \text{Kte.}$

Demagun orain, partikula bat indar zentral beten menpean.

Indar honen adierazpena hauxe da :

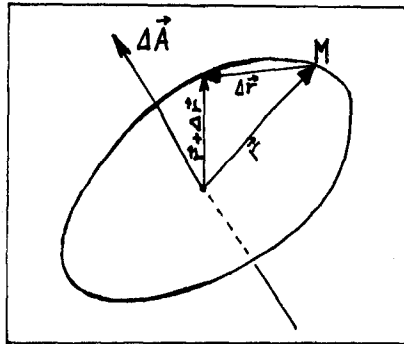
$$\vec{F} = \vec{u}_r \cdot f(r) \quad (1.4)$$

eta $\vec{M}$ zero da : $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{u}_r f(r) = 0$

direkzio berdina baitute. Eta beraz, lehen esan dugunez, $\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$,

momentu angeluarra konstantea da.

Orain, kasu konkretu batetara lotuko gara : B, gure partikula orbita batetan higituko da eta indar zentralaren sorburua orbita honen barruan izango da. (Ikus 1. irudia).



1.1 Irudia

r puntutik $r + dr$ puntutara higitzen denean, estaltzen duen azalera, hauxe da :

$$dA = \frac{1}{2} |\vec{r} \times d\vec{F}|. \quad \text{Orduan,} \quad \frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} |\vec{r} \times \vec{v}| = \frac{1}{2} |\vec{r} \times \frac{\vec{p}}{m}| = \frac{1}{2m} |\vec{L}| \quad (1.5)$$

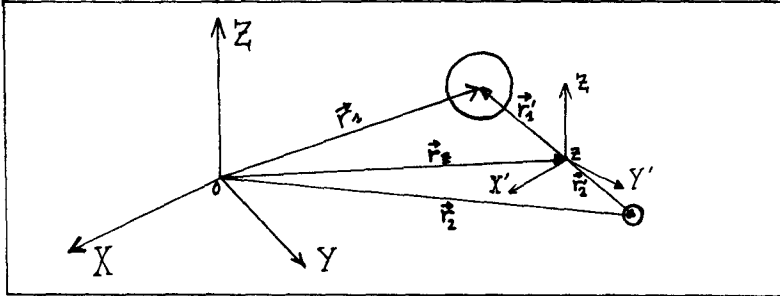
baina esan dugunez, gure kasuan $\vec{L}$ konstantea da; beraz, bi ondorio dauzkagu :

1. B puntuaren orbita plano batetan dago.
2. Denbora unitatean estaltzen duen azalera konstantea da.

Honela, nahi genuen erresultatuak frogatu ditugu.

1.1.4- BI GORPUTZEN PROBLEMA : KEPLERREN 1. ETA 3. LEGEAK.

Bi gorputzen problema Dinamikako problema klasiko bat da. Planteamentua ez da zaila : bi gorputzekin osotutako sistema isolatu baten bilakaera aztertu nahi dugu.



1.2. Irudia

Beraz, ez daukagu sistematik kanpoko indarrik, eta bakarrik bi gorputzen osagaien arteko eraginpenen ardura izan beharko dugu. Konkretuki, barne-indar hauk grabitazio-legearen barruan daude astronomiari dagokionez; beraz, zentralak dira. Honela, problema honen diskusiotik azaldutako orbitak aztertzeo, ondorio batetan sakonduko dugu - batez ere.

Demagun ba, bi gorputz uniforme eta esferiko, A eta B, bakoitzak masa determinatu batekin, m_A eta m_B arauera. Demagun, halaber, $\vec{F}_{AB}$ eta $\vec{F}_{BA}$, lehena, B-k A-ren gainean egiten duen indarra, eta alderatziz.

Partikula hauen higiduraren azalpena, bi ikuspuntu desberdinetatik era dezakegu :

1. Partikula bien posizio-bektorearen posizioari jarraituz.
2. $\vec{F}_E$, masa-zentruaren posizio-bektorearen, eta A-ri buruz B puntuak duen posizio-bektorearen, $\vec{r}$ delakoaren, eboluzioa jarraituz.

Lehenengo modua hautatzen badugu, ondoan dauzkagun sei ekuazioak aztertu beharko ditugu, Newtonen bigarren legearen arauera,

$$\frac{d\vec{p}_A}{dt} = \vec{F}_{AB} \quad (1.6)$$

$$\frac{d\vec{p}_B}{dt} = \vec{F}_{BA} \quad (1.7)$$

ekuazio bakoitzak hiru osagai dituela jakinez.

Noski, hasierako baldintzak ezagutzen baldin baditugu, sistema hau ebazkarria da, baina lan nahiko neketsua da.

Berriz, klasikoki erabiltzen dena, bigarren metodoa da, eta beraz bilakatuko duguna :

Esan dugunez, $\vec{r}_Z$ eta $\vec{r}$ -ren adierazpenak hauxek dira :

$$\left. \begin{aligned} \vec{r}_Z &= \frac{m_A \vec{r}_A + m_B \vec{r}_B}{m_A + m_B} \\ \vec{r} &= \vec{r}_A - \vec{r}_B \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

eta

Garbi ikusten da, $\vec{r}_Z$ eta $\vec{r}$ bektoreak independenteak direla, hau da, sistema deskribatzeko baliogarriak direla. Jakina da, halaber, $\vec{r}_A$ eta $\vec{r}_B$ bektoreak $\vec{r}_Z$ eta $\vec{r}$ bektoreekiko dependentzian ematen duten espresioak (1.8), ekuazio-sistema ebatziz lortzen direla. Ondoan dauzkagu soluzio zehatzak :

$$\left. \begin{aligned} \vec{r}_A &= \vec{r}_Z + \frac{m_B}{M} \vec{r} \\ \vec{r}_B &= \vec{r}_Z - \frac{m_A}{M} \vec{r} \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

non, $M = m_A + m_B$
Goazen ba, $\vec{r}$ eta $\vec{r}_Z$ bi bektoreen bilakaera estudiatzera.

NOLA ALDATZEN DA $\vec{r}_Z$?

Soluzioa aurkitzeko, higidura-kantitatearen kontserbazioaren printzipioaz baliatuko gara.

(1.6) eta (1.7.) ekuazioak batzen baditugu, ondoko espresio hau lortzen dugu :

$$M_A \ddot{\vec{r}}_A + M_B \ddot{\vec{r}}_B = 0 \quad (1.10)$$

Eta momentu linealaren kontserbazioaren printzipioaren enuntziatua da hain zuzen, zeren (1.10) ekuazioa denborarekiko integratzen badugu :

$$M_A \dot{\vec{r}}_A + M_B \dot{\vec{r}}_B = K \vec{e} \quad (1.11)$$

expresioa baitaukagu. Lehen atala sistema osoaren momentu lineala da.

Esan dugunez, masa-zentruaren posizio-bektorea $\vec{r}_Z$ da :

$$\vec{r}_Z = \frac{M_A \vec{r}_A + M_B \vec{r}_B}{M_A + M_B} \quad (1.12)$$

Azken formula hau deribatuz eta (1.11) expresioarekin konparatzen badugu, berehala zera ondorioztatzen dugu :

$$\ddot{\vec{r}}_Z = K \vec{e}.$$

Beraz, masa-zentrua abiadura konstanterekin higitzen da. Honela, posible izango da beti abiadura hau zero egitea inertzi-sistema egokia hautatuz; adibidez gure erreferentzia sistemaren zentrua puntu berean ipintzen badugu.

NOLA BILAKATZEN DA $\vec{r}$?

(1.6) eta (1.7) expresioetako indarrak berdinak eta kontrako ^{konk} norantza dira, hau da :

$$\begin{aligned} \vec{F}_{AB} &= \frac{d\vec{p}_A}{dt} = m_A \frac{d^2\vec{r}_A}{dt^2} \Rightarrow \frac{\vec{F}_{AB}}{m_A} = \frac{d^2\vec{r}_A}{dt^2} \\ \text{eta} \quad \vec{F}_{BA} &= -\vec{F}_{AB} \Rightarrow \frac{-\vec{F}_{AB}}{m_B} = \frac{d^2\vec{r}_B}{dt^2} \end{aligned}$$

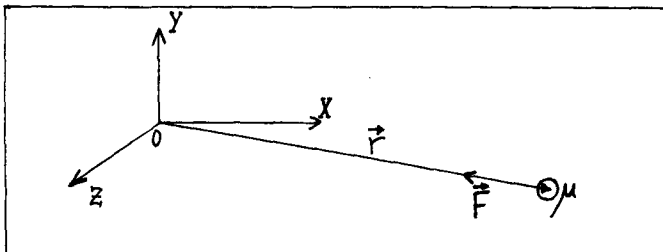
Bien arteko kendura eginez, hurrengo ebazpidea ematen digu :

$$\vec{F}_{AB} \left(\frac{1}{m_A} + \frac{1}{m_B} \right) = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

non, $\frac{1}{m_A} + \frac{1}{m_B} = \frac{1}{\mu}$, μ -ri masa laburbildua deitzen zaio

$$\text{Honela,} \quad \vec{F}_{AB} = \mu \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \quad (1.13)$$

(1.13) expresio han indar zentral baten menpean dagoen μ masako gorputz baten posizio-bektorea deskribatzen du. (Ikus 3. irudia)



1.3. irudia

Noski, A-k B gainean egiten duen indarra ezagutzen badugu, (1.13) ekuazio diferentzialaren soluzioak $\vec{r}$ -ren bilakaera ematen dugu. Hau da, azken pausu honekin atal honen hasieran planteatu genuen arazoaren problema baliokidea topatu dugu, zeren $\vec{r}$ -ren expresioa lortzen badugu, $\vec{r}$ eta $\vec{r}$ -ren adierazpenak erraz ezagutuko ditugu (1.9) ekuazioaren bidez, $\vec{r}$ zero egin dadin inertzia-sistema egoki bat hautatuz, lehen esan dugun bezala.

Bi gorputzetako edozein problema baten ebazpide zehatzak aztertu baino lehen, hau da gorputzek egiten dituzten orbitak kalkulatu baino lehen, adibide batzu ikusiko ditugu, beti indar zentralen kasuetarako :

1. Lurra eta Hilargiak osotutako sistema hartzen badugu, kanpoko eragipen guztiak ahantziz, gutxi gorabehera, sistemaren masa laburbildua, M , satelitearena izango da, zeren :

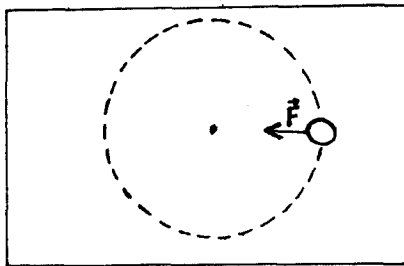
$$\mu = \frac{M_L \cdot M_H}{M_L + M_H} \approx \frac{M_L \cdot M_H}{M_L} \approx M_H$$

non, M_L : Lurraren masa

M_H : Hilargiaren masa

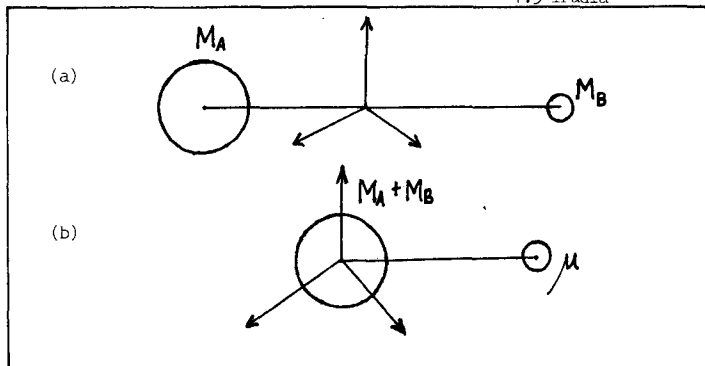
eta, $M_L \gg M_H$ baita ($M_L = 81 M_H$)

Problema baliokidea 4. irudian dago errepresentatuta.



1.4 irudia

1.5 irudia



Ez dugu sekula ahanzi behar, gainean jokatzen duen indarra, gure kasuan grabitazioarena dela, bere tankera primitiboa kontserbatzen duen dualarik; hau da, gure kasuan :

$$\vec{F} = -G \frac{M_A \cdot M_B}{|\vec{r}|^2} \cdot \hat{u}_r$$

Coulomben indarrak baldin badira ,

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q'}{|\vec{r}|^2} \hat{u}_r$$

Bereiztasun hau nolabait nabaritzea nahi badugu, eredu laburbilduan $M_A + M_B$ masako gorputz ideal bat ipini beharko dugu, beti masa-zentruan finko. Honela, indarraren tankeraren adierazpena hauxe izango da :

$$\vec{F} = G \frac{M_I \cdot \mu}{|\vec{r}|^2} \hat{u}_r$$

non, M_I , masa ideala baita

Eta $M_I = M_A + M_B$ egiten badugu :

$$M_I \cdot \mu = (M_A + M_B) \frac{M_A \cdot M_B}{M_A + M_B} = M_A \cdot M_B \quad , \text{ eta beraz}$$

$$\vec{F} = G \frac{M_A \cdot M_B}{|\vec{r}|^2} \hat{u}_r$$

2.Eguzki-Lurra sistemaren kasuan, * Eguzkia geldidagoela eta Lurra higitzen dela bakarrik kontsideratzen da, masa laburbildua balu bezala.

1.1.5.-INDAR ZENTRALEN MENPEAN DAUDEN HIGIDUREN IBILBIDEEN AZTERKETA : ORBITEN AZTERKETA.

Azterketa egiten hasi baino lehen, bi ikasketa txiki egingo ditugu, gero orbitak sailkatzeko beharrezkoak izango zaizkigulako : Lehenengoa, kurba konikoei buruzkoa izango da; bigarrena, edozein indar zentral baten eremutik irteteko behar den iheste-abiaduraren kalkulua.

beraz, elipsearen ekuazioa hauxe da :

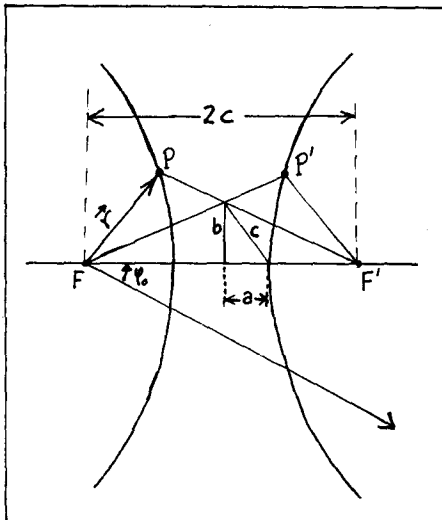
$$r = \frac{p}{1 + e \cos(\varphi - \varphi_0)} \quad (1.14)$$

non $p = \frac{b^2}{a}$ den
 $\varphi_0 =$ perihelioaren angelu polarra
 eta $e = \frac{d}{a}$ den

B.-HIPERBOLA

Bi puntu finkoetarako distantzien diferentzia konstante izatea da, hiperbola bateko puntuak betetzen duten baldintza.

Honela, P punturako,



$$FP' - FP = 2a$$

$$\begin{aligned} \sqrt{r^2 - 4d^2 - 4dr \cos(\varphi - \varphi_0)} - r &= 2a \\ r^2 + 4d^2 - 4d \cos(\varphi - \varphi_0) &= 4a^2 + r^2 + 4ar \\ ar + dr \cos(\varphi - \varphi_0) &= c^2 - a^2 \end{aligned}$$

Bigarren atalari b^2 deituko diogu.

Expresio osoa a delakoaz zatitzen badugu: $\frac{b^2}{a} = r + \frac{d}{a} r \cos(\varphi - \varphi_0)$

non, lehen bezala, $\frac{b^2}{a} = p$

eta $\frac{d}{a} = e$, baina orain $e > 1$.

Beraz, hiperbolaren ekuazioak elipsearenaren antz handia du: $r = \frac{p}{1 + e \cos(\varphi - \varphi_0)}$

Hiperbolaren beste adarreko puntu bat hartzen badugu, p' ,

$$FP' - FP = 2a \Rightarrow r - \sqrt{r^2 - 4d^2 - 4dr \cos(\varphi - \varphi_0)} = 2a$$

eta expresio honen gainean antzerako kalkuluak egiten baditugu, ondoko formula

lortuko dugu:

$$r = \frac{p}{-1 + e \cos(\varphi - \varphi_0)}$$

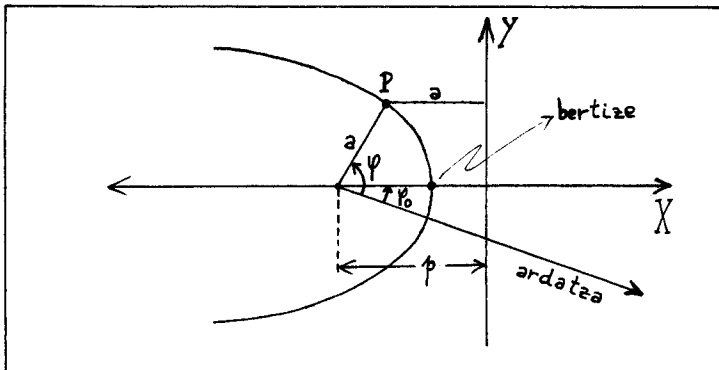
Beraz, hiperbolaren ekuazioa hauxe da:

$$r = \frac{p}{\pm 1 + e \cos(\varphi - \varphi_0)} \quad (1.15)$$

D.- PARABOLA

Parabola puntu eta lerro zuzen batetatik urrunkide diren puntuen leku geometrikoa da.

Aurreko kasuan bezala, φ_0 delakoa zentritik dagoen erpineko angelu polarra da. (Ikus 9. irudia). Erpinari periastro deitzen zaio generalean, baina planeta baten orbitaren kasura lotzen garenean, perihelio deitzen diogu (eta satellite baten orbitaren kasuan, perigeo).



1.8 irudia

Ematen diogun abiadura, ineste-abiadura baino txikiagoa baldin bada, gorputza Lurraren inguruko orbita batetan geldituko da edo bestela, Lurrera jausiko da berriz. Edozein eremu zentral batetarako, noski, posibilitate berdinak daukagu. (Ikus 10. irudia).

NOLA KALKULATZEN DA IHESTE-ABIADURA?

Adibide: bezala, indar grabitatorioaren kasurako egingo dugu kalkulua, geroko azalpenarako beharrezkoa izango zaigu eta :

Grabitazio-eremu baten barnean dagoen partikula baten energiaren adierazpena, hau da :

$$E = T + V$$

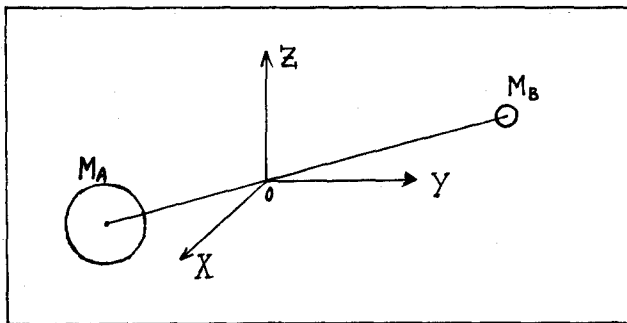
non, V, energia potentziala den
eta T, energia zinetikoa.

Dakigunez, edozein gorputz batek indar-eremu kontserbakor batetan dagoenean duen posizioagatik, energia bat dauka.

Jakina da, halaber, energia hau zero dela infinituan, zeren eremuak horrelako distantzi mailan eragipenik ez duela suposatzen baitugu. Azkenik, eremuko puntu guztietan energia potentziala negatiboa dela esango dugu, segidan ikusiko dugunez :

Gorputz baten energia potentziala puntuaren funtzioa da, eta gorputza infinitutik puntu horretara ekarteko egin behar den lana bezala definitzen da, beraz

$$\int_{\infty}^R \vec{F} d\vec{z} = \int_{\infty}^R -G \frac{M_A \cdot M_B}{r^2} d\vec{r} = -G \frac{M_A \cdot M_B}{r} \Big|_{\infty}^R = -G \frac{M_A M_B}{R}$$



1.10. Irudia

Honela, eremuaren eragipenetik irteteko partikula infinitura heldu behar bada. Hau da, abiadura minimoa hauxe izango da :

$$\frac{1}{2} M_B V_{ih}^2 - G \frac{M_A \cdot M_B}{R} = 0$$

Beraz,

$$V_{ih} = \sqrt{\frac{2GM_A}{R}}$$

Lurraren kasuan abiadura honek 11,2 km/s balio du.

Azkenik, hurrengo horrietan edozein bi gorputzez osotutako sistema baten higiduraren ebazpide zehatzak emango ditugu.

Hots, ikasketa honekin Ekuzki-sistemako planeta guztien higidurak ulertuko ditugu, planeta bakoitzak eta Eguzkiak osotzen duten sistema kontsideratuz. Hau da, hurbilketa bat egiten dugu, zeren ez baitugu beste planeten argipenak kontutan hartzen.

Halaber, bide batez edozein planetaren sateliteen edo izar bitarren higidura-problema ere ebazten ditugu.

Demagun, goian aipatutakoen arteko sistema bat (Ikus 1.10 irudia). Esan genuenez, sistema honen baliokidea 5. irudikoa da, M masa beti leku berean egonez, masa laburbilduaren gainean jokatzen duen indarraren tankera justifikatzeko :

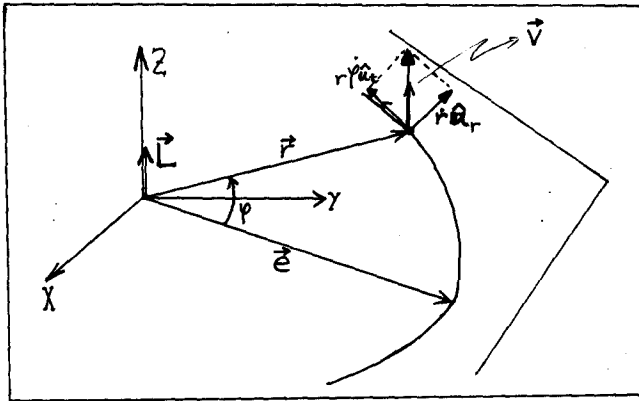
potentziala erabiliz. Beraz, higiduraren ekuazioaren adierazpena ondokoa da .

$$\mu \vec{v} = - \frac{d}{dr} \left(- \frac{K}{r} \right) = - \frac{K}{r^2} \hat{u}_r$$

non, $K = G M_A M_B$ baita,

eta $\vec{r} = r \cdot \hat{u}_r$

eta $\vec{v} = \vec{v}_{\text{erradiala}} + \vec{v}_{\text{orterradiala}} = \dot{r} \hat{u}_r + r \dot{\theta} \hat{u}_{\theta} = \dot{r} \hat{u}_r + r \dot{\theta} \hat{u}_{\text{tang.}}$



1.12 irudia

Segidan, $\vec{L}$ delakoaz bektorialki biderkatuz gero, azken ekuazioa denborarekiko integratuko dugu :

$$\mu \vec{v} \times \vec{L} = - \frac{K}{r^2} \hat{u}_r \times \vec{L}$$

$$\mu \vec{v} \times \vec{L} = - \frac{K}{r^2} \hat{u}_r \times (\vec{r} \times m \vec{v})$$

$$\dot{\vec{v}} \times \vec{L} = - \frac{K}{r^2} [\hat{u}_r \times (\vec{r} \times \vec{v})] = - \frac{K}{r} \left[\hat{u}_r \times \left(\frac{\vec{r}}{r} \times \vec{v} \right) \right]$$

eta hiru bektoreren biderkaketa bektorial bikoitzaren adierazpena ondokoa dela jakinez :

$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{d}) = (\vec{a} \times \vec{d}) \vec{b} + (\vec{a} \cdot \vec{b}) \vec{d} ,$$

goiko berdintzak ondoko tankera hartzen du :

$$\vec{v} \times \vec{L} = - \frac{K}{r} [\vec{v} \cdot \vec{r} - \vec{v}] - \frac{K}{r} (\vec{v} - \vec{v} \cdot \vec{r})$$

Parentesi arteko kenduraren kenkizuna gorputzaren abiadura osoa da, eta kentzailea, berriz, abiaduraren osagai normala; beraz, kenduraren emaitza abiaduraren osagai tangentiala izango da, $\vec{v}_t$:

$$\vec{v} \times \vec{L} = \frac{K}{r} \vec{v}_t = \frac{K}{r} r \hat{u}_r = K \hat{u}_r$$

Orain, aurreko berdintza denborarekiko integratzen badugu :

$$\vec{v} \times \vec{L} = K \hat{u}_r + \vec{e}'$$

non, $\vec{e}'$, orbitaren planoko bektore konstante bat baita.

Eta azken berdintza $\vec{r}$ delakoaz eskalarki biderkatzen badugu :

$$\vec{r} \cdot (\vec{v} \times \vec{L}) = \vec{r} \cdot (K \hat{u}_r + \vec{e}')$$

eta espresio honen lehenengo atalean, hiru bektorearen biderketa mixtoaren hedapena kontutan harturik :

$$\vec{r} \cdot (\vec{v} \times \vec{L}) = (\vec{r} \times \vec{v}) \cdot \vec{L} = \frac{1}{2} \vec{A} \cdot \vec{L} = \frac{\vec{L}}{\mu} \cdot \vec{L} = \frac{L^2}{\mu}$$

Keplerren bigarren legearen frogapenean ikusi genuen bezala.

Beraz,

$$\frac{L^2}{\mu} = \vec{r} \cdot (K \hat{u}_r + \vec{e}')$$

eta bigarren atala hedatuz,

$$\frac{L^2}{\mu} = \vec{r} \cdot K \left(\hat{u}_r + \frac{\vec{e}'}{K} \right)$$

non, $\frac{\vec{e}'}{K} = \vec{e}$, bektore konstante bat den.

Honela,

$$\frac{L^2}{\mu} = K \vec{r} \cdot (\hat{u}_r + \vec{e}) = K(r + r \cdot e \cdot \cos \varphi) = K \cdot r (1 + e \cos \varphi)$$

non, φ , $\vec{r}$ eta $\vec{e}$ -ren arteko angelua baita.

Beraz,

$$r = \frac{L^2}{\mu K (1 + e \cos \varphi)}$$

eta $p = \frac{L^2}{\mu K}$ egiten badugu,

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \varphi} \quad \text{geratzen zaigu.}$$

Expresio honek, orbita konika bat dela esaten digu.

1.12 irudian ikusten dugun bezala periastroa, indar zentralen sorburutik hurbilen dagoen erpina, $\vec{e}$ -ren norabide berbera duen lerro zuzen batetan dago.

$$\varphi_0 = 0 \text{ denean, hau da, } \cos \varphi_0 = 1, \text{ erradioa minimoa izango da, } r_{\min} = \frac{p}{1+e}$$

eta dakigunez, puntu honetarako $r = 0$ da. Honela, abiaduraren adierazpenak osagai tangen-
tziala du bakarrik periastroan, hau da $\vec{v} = r \dot{\varphi} \hat{u}_\tau = \frac{L}{\mu r}$

zeren $\vec{L} = \vec{r} \times \mu \vec{v}$ baita,

eta $\vec{r}$ eta $\vec{v}$ 'er'endokularrak direnez gero :

$$|\vec{L}| = r \cdot \mu \cdot v \Rightarrow v = \frac{L}{\mu r}$$

Honekin, orbiten sailkapen hau egiteko exzentrikotasuna hartuko dugu parametro beza
la noski ; baina lehenengo energia eta momentu anguluarraren funtzio bezala ipiniko dugu
adierazgarritzat hartzen ditugunak parametro fisiko batzu izan daitezen.

Energia osoaren adierazpena ondokoa da :

Baina perihelioan $r = \frac{P}{1+e}$ da, beraz

$$E = -\frac{K}{P}(1+e) + \frac{1}{2}\mu \frac{L^2(1+e)^2}{\mu^2 P^2}$$

eta $P = \frac{L^2}{K\mu}$ denez gero,

$$\begin{aligned} E &= -\frac{K^2\mu(1+e)}{L^2} + \frac{L^2(1+e)^2}{2\mu} \cdot \frac{K^2\mu^2}{L^4} = \\ &= \frac{K^2\mu(1+e)}{L^2} \left(\frac{1+e}{e} - 1 \right) = \frac{K^2\mu(1+e)(1-e)}{2L^2} = \frac{K^2\mu(e^2-1)}{2L^2} \end{aligned}$$

beraz,
$$e = \sqrt{\frac{1+2L^2E}{R^2\mu}}$$

Honela, orbiten kasu posibleak hauek dira :

1. $-E > 0$, hau da, $v > v_{ih}$

Orduan $e > 1$ da eta orbita hiperbola bat da.

2.- $E < 0$.

Kasu hau, gorputzaren abiadura, (1.20) ekuazioan iheste-abiadura baino handiagoa den gertatzen da. Eta (1.21) ekuazioaren arauera $e < 1$ da, eta esan genuenez, orbita elipse bat da.

3.- Azken posibilitatea, $E = 0$ izatea da. Beraz, $v = v_u$ da. Kasu honetan $e = 1$ da, eta orbita parabola bat da.

1.I.7. ORBITA ELIPTIKOEN AZTERKETA : KEPLERREN 3. LEGEA .

Dakigunez, elipse baten ekuazioak ondoko adierazpena du :

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \varphi}$$

non, p eta e -ren hauxek baitira :

$$p = \frac{b^2}{a} = \frac{L^2}{K\mu} \quad \text{eta} \quad e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 + \frac{2EL^2}{K^2\mu}}$$

p -ren expresioa hedatzen badugu :

$$p = \frac{b^2}{a} = \frac{a^2 - c^2}{a} = a(1 - e^2)$$

eta hau r -ren adierazpeneko ekuazioan ordezkatzeko badugu :

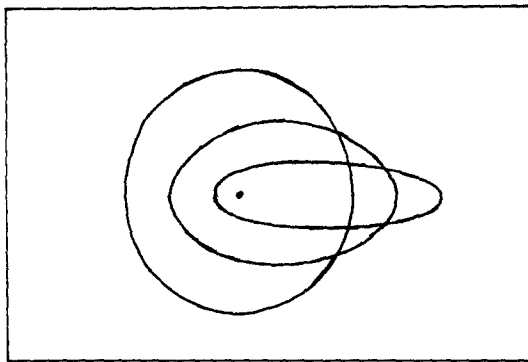
$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \varphi}$$

Eta, e (1.23.) ekuazioan ordezkatzeko badugu

$$p = a(1 - e^2) = a \left[1 - \left(1 - \frac{2EL^2}{K^2\mu} \right) \right] = \frac{-2Ea}{K\mu}$$

Baina $p = \frac{L^2}{K\mu}$ denez gero, $E = -\frac{K}{2a}$ da.

Azken ekuazio honetatik ondorio bat atera dezakegu : orbitaren energia ardatzerdi nagusiaren funtzioa da, baino ez exzentrikotasunarena.

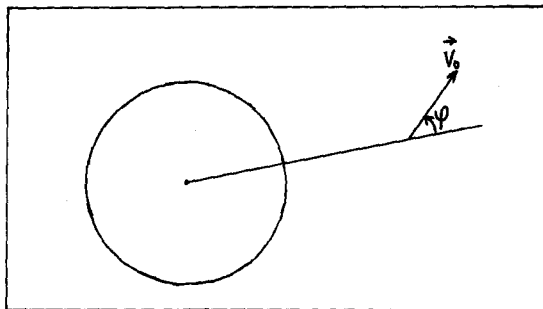


1.13 Irudia

1.13. irudiko orbita guztiek energia berbera dute, ardatzerdi berdina dutelako; baina exzentrikotasunak desberdinak dira. Beraz, energia r_0 eta v_0 parametroek determinaturik - dator, hau da, parametro hauek ardatzerdia determinatzen dute baina ez orbita, Azken hau r_0 eta v_0 bektoreek determinatua egongo da, biok definitzen duten planuan baitago:

$$\vec{L} = \vec{r}_0 \times m \vec{v}_0$$

non, $\varphi = 90^\circ$ baldin bada, $\vec{L}$ maximoa eta orbita zirkularra den,
 $\varphi \neq 90^\circ$ baldin bada, orbita eliptikoa da.



1.14 Irudia

Orbita konkretu batetan gaudenean, gorputza ez da abiadura konstanteaz higitzen. konkretuki , periastro eta apoastroko abiadurak konparatu ditugu :

(1.24) ekuazioaren arauera, indar zentralen sorburutik perigeorainoko distantzia hauxe da :

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

zeren, perigeoan $\cos \varphi = 1$ baita

Apogeoan, berriz,

zeren, $\cos \varphi = -1$ baita.

$$r_A = a(1+e)$$

da

Ikusten dugunez, apogeoan r maximo da, eta perigeoan berriz, minimo.

Puntu bietan abiadura transbertsala da, beraz momentu angeluarrek ondoko adierazpenak dituzte:

$$|\vec{L}_P| = \mu r_P v_P$$

$$|\vec{L}_A| = \mu r_A v_A$$

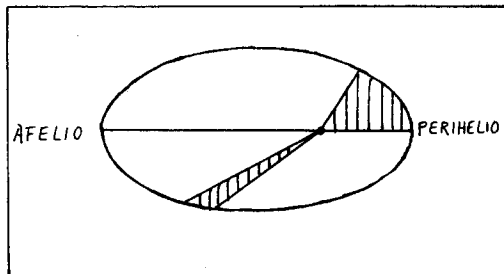
eta momentu angeluar hau konstante denez gero :

$$\mu r_P v_P$$

hau da,

$$\frac{v_P}{v_A} = \frac{r_A}{r_P} = \frac{1+e}{1-e}$$

Perigeoko abiadura handiagoa da.



1.15. Irudia

Eta azkenik, puntu hau bukatzeko, Keplerren hirugarren legearen adierazpena lortuko dugu :

(1.5) espresioak, puntua higitzen denean, bere posizio-bektoreak denbora unitatean estaltzen duen azalera ematen digu :

$$A = \frac{L}{2\mu}$$

Beraz,

$$A^2 = \frac{L^2}{4\mu^2} = \frac{b^2 K \mu}{4K\mu^2}$$

zeren,

$$p = \frac{L^2}{K\mu} \quad \text{baita,}$$

eta,

$$p = \frac{b^2}{a} \quad \text{baita.}$$

Elipsearen azalera ondoko adierazpena du :

$$A_E = \pi ab$$

eta beraz, posizio-bektoreak denbora unitatean estaltzen duena : $A_E = \frac{\pi ab}{T}$

Orduan,

$$\frac{b^2 K}{4a\mu} = \frac{\pi^2 a^2 b^2}{T^2} \Rightarrow \frac{a^3}{T^2} = \frac{K}{4\pi^2 \mu} = \frac{G M_A \cdot M_B}{4\pi^2 \frac{M_A \cdot M_B}{M_A + M_B}}$$

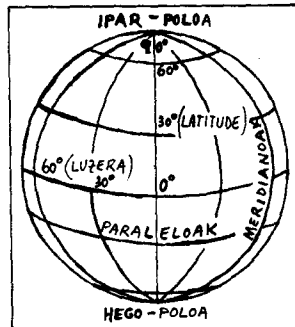
Eta dakigunez, azken formula hau Keplerren hirugarren legearen adierazpena da.

1.I.8. KOORDENATU ZERUTIARRAK

Aurreko gaian, Astronomian erabiliko ditugun mekanikazko kontzeptuen ideia bat eman dugu. Baina aurrera jarraitu baino lehen, bigarren pauso bat eman behar dugu astroen higidurak aztertzea posible izan dadin, eta zera da : edozein higidura deskribitzeko, erreferentzi sistema bat definitu behar dugu lehenengo; beraz, hori izango da segidan egingo duguna.

Hautapen hau egiteko aukera bat baino gehiago daukagu.

Hasteko,, maizen erabiltzen dena azalduko dugu.

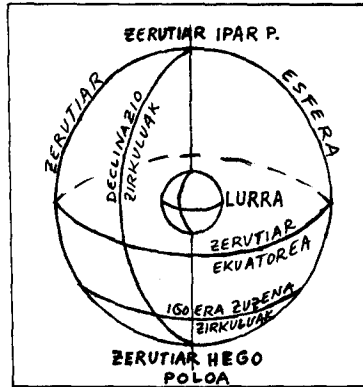


1.16. Irudia

Sistema hau geografi-koordenatuen hedapen bat da, hots, luzera eta latitudearena. (Ikus 1.16 irudia).

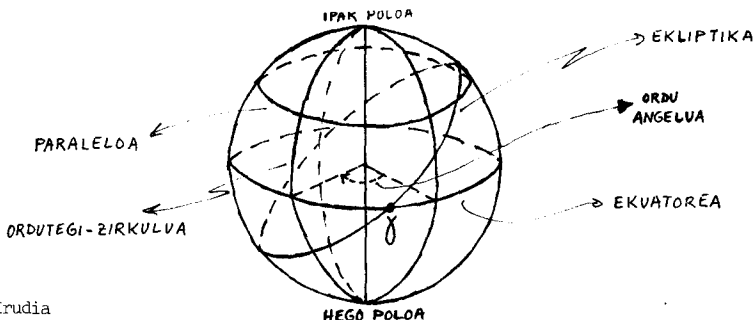
Demagun, Lurraren meridiano eta paraleloak, eta Lurraren biraketa-ardatza, zerutar esferari ebaki arte luzatzen direla. Pentsa dezagun, halaber, behatzailea zerutar esfera honen zentruan dagoela, eta esfera hau edozein erradiotakoa dela. Plano haien eta zerutar esferaren arteko ebaketei Lurreko koordenatuei ematen diegun izen berbera ipifiko diegu; beraz, zerutar ekuatore bat eta meridiano batzu izango ditugu; Lurraren ardatzaren eta esferaren ebaketak, halaber, zerutar poloak izango dira, bata boreala (Ipar-poloa) eta bestea australa (Hego-poloa). Aitzitik, luzera eta latitudearen izenak izango dira aldatuko ditugunak. Hau da, Lurreko edozein puntu baten koordenatuetako, luzera deitzen diogunari, zerutar koordenatuen kasuen igoera zuzena deituko diogu, eta Lurrean latitudea dena, zerutar esferaren koordenatuetan deklinazioa izango da.

1.17 Irudia



Orain gertatzen den problema, neurtzeko meridioano unibertsal batetik hasten gara, konbentzionalki, meridioano hau Grenwicheko Behatokitik pasatzen dena delarik. Baina zerutar esferan ez daukagu puntu materialik, jatorri bezala hartzeko; beraz, beste metodo bat asmatu beharko dugu : puntu hau bi zirkulu maximoren harteko ebaketa izango da, ekuatorearen eta ekliptikaren artekoa hain zuzen, azken hau Eguzkiak urtean zehar ibiltzen duen ibilbidea dela jakinez. (Ikus 1.18. irudia). Zirkulu bi hauen ebaketa-puntuak ekinozioak dira ; eta konkretuki, guk udaberriko ekinozioa hartuko dugu koordinatuen jatorri bezala, hau da, Hego hemisferiotik Ipar hemisferiorako Eguzkiaren pasua markatzen duena. Puntu hau, puntu bernala ere deitzen da eta γ letraz adierazten da. Zerutar meridioanei, halaber, deklinazio-zirkulu deituko diegu sarritan, eta astro batek pasatzen direnak direnean, ordutegi-zirkulua.

Zerutar esferak, 24 ordutan Lurraren ardatzaren inguruan biraketa bat egiten duela dirudenez gero, igoera zuzenak denbora-dimentsioak izango ditu, 0-tik 24 ordutara. Deklinazioak berriz, 0-tik 90 gradutara neurtzen dira, ekuatoretik bi poloetara; beraz, zeinu batez espezifikaturik egongo dira, + ala γ Iparreko ala Hego aldeko deklinazioak diren arauera. Honela, adibidez, Sirius izarraren koordinatuak hauek dira : igoera zuzena = 6 ordu, 42 minutu eta 12 segundu; deklinazioa negatiboa edo australa = $16^{\circ} 37' 23''$. Igoera zuzena gradutan ere eman daiteke goiko expresioa 15 zenbakiaz biderkatuz, zeren bi ordu-meridianoren planoek 15-tako angelu bat osotzen baitute.

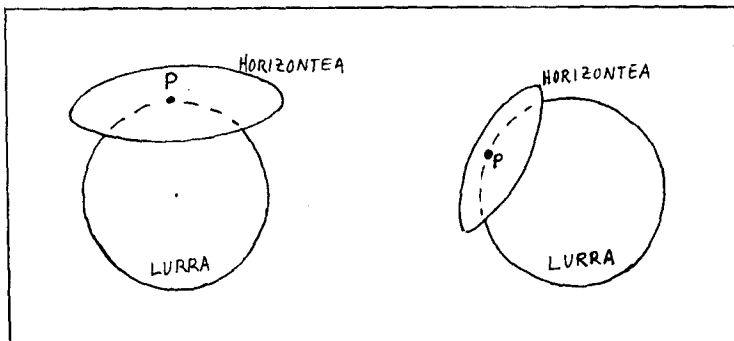


1.18. Irudia

Batzutan distantzia polarra erabiltzen da deklinazioaren ordeez. Distantzia polarra 0° -tik 180° -tara neurtzen da, Ipar-polotik hasita.

Halaber, koordinatuen oinarritzko plano bezala ekliptika har dezakegu, ekuatorearen ordeez. Kasu honetan, lehen bezala, meridioak, paraleloak eta poloak marraztuko ditugu eta koordinatuen jatorria puntu bernala izango da. Koordinatu ekliptikoak luzera eta latitudea deituko dira, eta igoera zuzenaren eta deklinazioaren antzera neurtzen dira. Sistema berri hau planetei buruzko problemak ebatzea nahi dugunean erabiltzen da zeren hau ekliptikaren inguruan higitzen baitira. Lurraren biraketarekin erlazionaturiko problemetan, berriz, koordinatu ekuatorialak erabiltzen dira.

Eta oraindik beste sistema bat irudika dezakegu, bere zentrua gu gauden lekuan hartuz. Hau da, behatzailea dagoen puntuko horizonteko plano hartuko dugu oinarri bezala. (Ikus 1.19 irudia). Koordinatu-sistema honetan, azimuta eta altuera izango dira edo zein astro baten posizioa emango diguten osagaiak. Azimuta, behatokiko meridioaren planoak eta astrotik pasatzen den plano bertikalak osotzen duten angelua da. Gradutan neurtzen da, 0° -tik 360° -tara, Hego-puntutik hasita eta erlojuaren orratzaren biraketa-



1.19. Irudia

I. TAULA

PLANETEN EZAUGARRI ORBITALAK								
EZAUGARRIA PLANETA	EGUZKIRAINOKO DISTANTZIA MAXIMO (MILIOI KM)	EGUZKIRAINOKO DIS- TANTZIA MINIMO (MILIOI KM)	EGUZKIRAINOKO BATEZ- TEKO DIST. (MILIOI KM)	EGUZKIRAINOKO BATEZ- BESTEKO DISTANTZIA (UNIT. AST.)	ERREBOLU- ZIO-PERIO- DOA	ABIADURA ORBITALA (KM/s)	EKLIPTIKAREKIKO ORBITAREN INKLINAZIOA	ORBITAREN EXZENTRIKOTASUNA
MERKURIO	69,7	45,9	57,9	0,3870	88 EGUN	47,87	7° 0' 15"	0,206
ARTIZARRA	109	107,4	108,2	0,7233	224,7 EGUN	35,02	3° 23' 40"	0,007
LURRA	152,1	147,1	149,6	1	365,26 EGUN	29,79	0° 0' 00"	0,017
MARTITZ	249,1	206,7	227,9	1,5236	687 EGUN	24,13	1° 50' 59"	0,093
JUPITER	815,1	740,9	778,3	5,2025	11,86 URTE	13,06	1° 18' 16"	0,048
SATURNO	1.507	1.347	1.427	9,5547	29,47 URTE	9,65	2° 29' 23"	0,056
URANO	3.004	2.735	2.869,6	19,181	84,01 URTE	6,80	0° 46' 23"	0,047
NEPTUNO	4.537	4.456	4.496,6	30,067	164,8 URTE	5,43	1° 46' 21"	0,009
PLUTON	7.375	4.425	5.946,6	39,517	247,7 URTE	4,73	17° 8' 2"	0,253

(*) UNITATE ASTRONOMIKOA: LURRETIK EGUZKIRAINOKO BATEZ BESTEKO DISTANTZIA. ARGIAK 8mi. ETA 18s. BEHAR DITU DISTANTZIA HAU IBILTZEKO

2. G A I A

2.I. EGUZKI-SISTEMAREN AZTERKETA

2.I.1. ZER DA EGUZKI-SISTEMA?

2.I.2. FIRMAMENTUAREN ITXURA

2.I.3. PLANETEN HIGIDURA ITXURAZKOAK

2.I.4. PLANETEN FASEAK

2.I.5. EGUZKI-SISTEMAREN BESTE OSAGAI BATZU

2.I.6. BA OTE DA PLANETA POSTPLUTONIKORIK?

2.I.7. EGUZKI-SISTEMAKO DISTANTZIAK

2.I.8. BODE-TITIUSEN LEGEA

2.I EGUZKI-SISTEMAREN AZTERKETA

Aurreko zatia Astronomia eta Astrofisikarako sarrera bat izan da batez ere. Bertan, hemendik aurrera bilakatuko dugun lanerako kontzeptu oinarritzkoak finkatu nahi izan ditugu.

Bigarren zati honetan lantxo honen lehen gai zentrala aztertuko dugu : Eguzki-sistema.

2.1.1. ZER DA EGUZKI-SISTEMA ?

Sarrera gisan eta definizio bat eman nahi badugu, hemen daukagu Hannes Alfvénen ustean onena :

"Zer ulertzen da, zehazki, Eguzki-sistema delakoaz?. Beraren adiera zabalenean, Eguzkiaren eragipena igartzen deneko espazio-aldea da. Zentzu honetan, sistema honek, Eguzkia, gaur ezagutzen ditugun bederatzi planetak, kometak eta asteroideak konprenitzen ditu".

2.1.2. FIRMAMITUAREN ITXURA

Eguzki-sistemaz astronomoek batu dituzten ezagumenduak azaldu baino lehen, komenigarria da, lehenengo hurbiltze bezala, zerua behatzea eta bertatik zer ikas dezakegun kontsideratzea, beste inolako artifiziorik gabe.

Honela, beste jakingura zientifiko berezirik gabe zerura begiratzen badugu, ikusten dugun guztia puntu argitsuen pila bat da.

Hauen argia, orain heltzen zaiguna, batzutan aintzinakoa da, zeren izar batzuren argia urteetako bidaia egin beharrean izan baita gureganaino iristeko. Berriz, gure behaketa ordu batzutan luzatzen badugu, astroen posizioaren aldaketak nabarmenak izango dira. Ekialde-Mendabalde direkzioan higitzen direla dirudi, beren arteko distantziak mantenduz. Denok dakigunez, astroen higidura hau ez da egiazkoa, Lurraren biraketaren efektua baitzik. Baina gehitxoago aztertzen badugu, puntu argitsu haietako batzuren higidura aurreko argumentuarekin bakarrik ezin dela azaldu ikusiko dugu. Puntu hauek beste traslaziozko higidura bat dute izarrezko hondo finkoarekiko.

Zerutar gorputz hauk Eguzki-sistemako planetak dira; hau da, berezko argirik ez duten astroak; guk ikusten duguna Eguzkiaren argiaren isladapena da. Gaur egun, posizio-aldaketa hau Eguzkiaren inguruan duten traslazio-higiduraren agerpena dela dakigu.

Edozein modutan, planeta guztiak identifikatzea ez dela gauza erraza pentsatuko duzue. Ondoren ikusten dena, Artizarra da, Eguzkia eta Hilargiaren ondoren argitasun gehien ematen duen astroa da eta. Kasu honetan, Sirius - izarrik distiratsuena baino - hamabost bider argi handiagoa ematen du.

Bere higiduraren bereiztasunagatik ez da sekula Eguzkitik asko urruntzen, eta normalki lau bat ordu irauten du ikuskor, Eguzkiaren ipintzearen ondoren edo hura irten baino lehenengo, hurrengo kapituluan batetan ikusiko dugunez.

Bere koloraketa gorriskagatik erraz ezagutzen den beste planeta bat, Martitz da. Planeta honen argitasunak aldaketa asko ditu, Lurrerainoko bere distantziaren aldaketaren arauera. Kondizio hoberenetan beste edozein izar baino argi handiagorekin ikusten dugu.

Jupiter eta Saturno, berriz, ikusteko zailak dira, beren urruntasunagatik, nahiz eta Eguzkitik jasotzen duten argiaren erdia isladatu.

Merkuriorena kasu berezia da, ikuskortasun baldintzak oso txarrak dira. Arrazoia, noski, bertatik Eguzkirako hurbiltasuna da; horregatik, hain zuzen, honen izpiek Merkurioren distira itzaltzen dute. Artizarra bezala, iluntzean edo egunsentian ikusten da, - baina hura baino baxuago zeruan eta, beraz, denbora gutxiago irauten du gure ikuskortasun-arloan.

Urano, Neptuno eta Pluton, halaber, kasu bereziak dira eta hauei buruz ez dugu ezer esango orain, teleskopiorik gabe ezin baitira ikusi.

Beraz, lehenengo aipatuko ditugun bost planetok, aintzinatik ezagutzen dira, nahiz eta hasieratik planeta bezala kontsideratuak ez izan.

Mendeetan zehar, planeta ezagunen kopuruak aldeziñ iraun zuen, baina 1781. urtean, William Herschellek, izar-talde bat aztertzen zegoela, haren haren inguruan izar bezala sailkatu ezin zeneko astro bat aurkitu zuen. Lehenengoz kometatzat hartu zuen; horregatiko, azterketa zehatzagoak egin zirenean, diskoaren behaketaren bidez eta atmosfera-gabetasuna egiaztatu zenean, Eguzki-sistemako osagai berri bezala onartu zen, Urano izena ipiniz.

Neptuno, berriz, beste modu batez aurkitu zen, zientifikoagoa nahi badugu. Uranoren orbita arakatzen hasi zirenean, diskoaren anomalia batzu zeudela ohartu ziren eta hauk esplikatzeko, beste planeta baten izatea beharrezkoa zela pentsatu zuten. Walter S. Adams-ek Britainia Haundian, eta Urbano Leverrier-ek, Frantzia, planeta berri honen ibilbidearen

kalkulua egin zuten eta hauen datuekin, Gallek, 1.846. eko Irailaren 5ean, Berlineko behatokitik segidan aurkitu zuen.

Modu berean eta Uranoren orbitako desbidetasun batzuen arrazoi bezala, Percival Lowellek, mende honen hasieran Pluton-en izatea aurrean zuen. Bere txikitasun eta urruntasunagatik 1.930. urterarte ez zen aurkitua izan. Aurkitzailea, C. W. Tombaugh astronomoa izan zen.

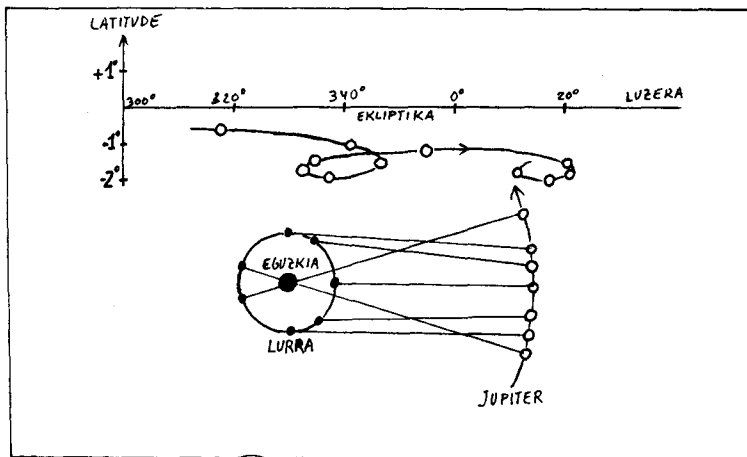
2.1.3 PLANETEN HIGIDURA ITXURAZKOAK.-

Segi dezagun planeten higiduraren ikasketarekin, berori Lurretik ikusten den bezala hartuz. Hortarako irudika dezagun zeruko mapa bat eta bertan, beren desplazamenduetan planetek pasatzen dituzteneko posizioak.

Normalean, higidura honek Mendebalde-Ekialde ibilzentzua duela konturatuko gara. Higidura honi sentido zuzeneko deituko diogu.

Baina gero, aste gutxitan zehar, planetaren ibilbidearen sentido hau izar finkoen hondoarekiko alderantz egiten dela konturatuko gara, hau da, Ekialde-Mendebalde ibilzentzua hartuko duela. Higidura honi alderantzizko sentidokoa deituko zaio. Orobat ohartuko gara, sentido-aldaketa gertatzen denean, planeta bertara iristen denean denbora batetan bertan gelditzen dela dirudien puntu bat dagoela; puntu honi estazioa izena ematen diogu.

Gainera, ibilzentzu-aldaketa hau ez dira lerro zuzen baten gainean gertatzen, lerro hau lehenengo aurrerantz eta gero atzerantz korrituz; aitzitik, ibilbidea lerro kurbatu bat da, eta sentido-aldaketek bihurtune batzu sorterazen dituzte.

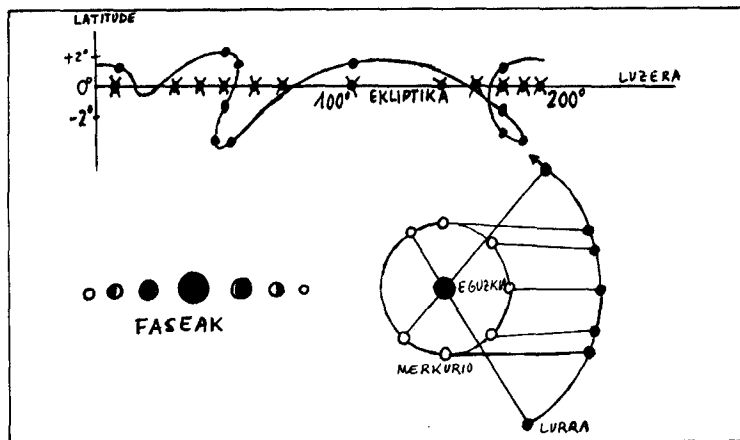


Errealki, esan genez, bai Lurra bai beste planetok beti ibilzentzu berbera dute; elipse bat deskribitzen dute, Eguzkia barneko puntu batetan utziz (elipsearen foku batetan prezeski). Ikusten ditugun ibilzentzu-aldaketen kausak, planetek Lurrarekiko dituzten posizioetan, abiadura erlatiboetan eta ibilbidearen planoaren desberdintasunean bilatu behar dira.

Posizio erlatibo hau lehenengo eta bigarren irudietan dauzkagu eta bertan deskribi-

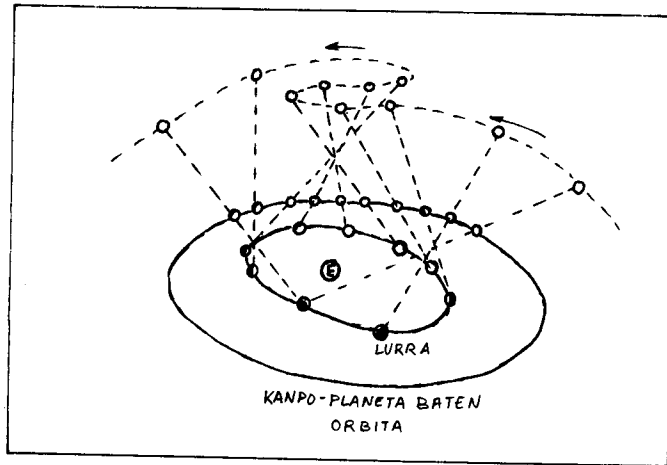
1.23. Irudia

1.24. Irudia



tu ditugun ibilbide itxurazkoak agertzen dira, Higurura itxurazkoak lerro zuzen batetan ez gertatzea, lehen esan dugunez, Lurra eta beste planetaren ibilbidea plano berebean ez egotearen ondorioa da. 1.24 irudia aurreko beste bien konposaketa da. 1.25 irudian berriz Lurraren barnean higitzen diren planeten kasurako esplikazioa daukagu.

Azkenik, gauza bat gehitzea komeni da, eta zera da: planeten itxurazko higidurak lerro irudikatu baten inguruan gertatzen direla. Lerro honi ekliptika deitzen diogu eta Lurraren traslazio-planoaren eta zerutar esferaren ebakidura da. Beraz, Eguzkiak urtean zehar zeruan marrazten duen ibilbidea, ekliptika da.



1.25.1ruha

II. TAULA

EGUZKI-SISTEMAREN OSAGAIEN DATU FISIKOAK										
ASTROA EZAGARRIA	EGUZKIA	MERKURIO	ARTIZARRA	LURRA	MARTITZ	JUPITER	SATURNO	URANO	NEPTUNO	PLUTON
BIRAKETA - -PERIODOA	25 EGUN	58,65 EGUN	-243 EGUN (ALDE- RANTEI2)	23 ORDU 56 M. 23 S.	24 O. 37 M. 23 S.	9 O. 50 M. 30 S.	10 O. 14 M.	-11 O. (ALDERAN TZI2)	15 O. 48 M.	6 EGUN 9 ORDU
ARDATZAREN INKLINAZIOA	7°15'	28°0'	3°	23°27'	23°59'	3°05'	26°49'	82°5'	28°48'	?
DIAMETRO EKUATORIALA	109,2	0,383	0,989	1 (12.756 km)	0,53	11,19	9,35	3,70	3,79	0,47
MASA (LURRA=1)	332484	0,055	0,815	1 (6·10 ²² kg)	0,108	317,9	95,2	14,6	17,2	0,1(?)
BOLUMENA (LURRA=1)	1,303.600	0,06	0,86	1	0,15	1.318,7	755	67	57	0,1(?)
GRABITAZIO - -ERAKARPENA GAINAZALEAN (LURRA=1)	27,94	0,37	0,88	1 (9,8 km/s ²)	0,379	2,64	1,15	1,17	1,18	0,43(?)
DENTSITATEA (LURRA=1)	1,409	5,5	5,25	5,17	3,94	1,330	0,706	1,2	1,71	4,5(?)
POLOEN TXAPALKUNTZA (*)	-	0	0	0,03	0,09	0,06	0,1	0,06	0,02	?
TENPERATURA AZALEAN (C) H. HODEIAK S. SOLIDO	5800	350(S) EGUNEZ -170(S) GAUEZ	480(S) -33(H)	22(S)	-23(S)	-150(H)	-180(H)	-210(H)	-220(H)	-230(?)
EGURATSAREN PRESIOA (ATM.)	-	10 ⁻⁹	90,00	1	0,1	?	?	?	?	?
ALBEDOA	-	0,06	0,76	0,36	0,16	0,73	0,76	0,93	0,84	0,14
IHESTE - -ABIADURA (KM/S)	617,5	4,3	10,36	11,18	5,03	60,22	36,26	22,5	23,9	4,2

$$(*) \quad TXAPALKUNTZA = \frac{\text{DIAMETRO POLARRA}}{\text{DIAMETRO EKUATORIALA}}$$

bi gorputz hauen diskoak batzutan oso-osorik ikusiko ditugu, beste batzutan ez dugu ezer ikusiko eta beste batzutan, berriz, diskoen zati bat bakarrik ikusiko dugu. Noski, hau Eguzkia, Lurra eta astroaren posizioek determinatzen dute.

1.26 Irudian edozein esplikaziokin baino hobeto ulertuko dugu mekanismoa.

Nahiz eta planeta hauen faseak Hilargiarenaren berdinak izan, garrantzizko desberdintasun bat dago : Hilargia bere zikloko fase betean ikusten da argitasun handienarekin; bi planeta hauen kasuan, berriz, nahiz eta fase bete horretan disko osoa erakutsi, argitasuna ez da handiena, orduan Lurretik urrun baitaude.

Kanpo-planeten kasuan. berriz, faseen fenomenoak ez da goian ikusi dugun bezala gertatzen. Eguzkia, Lurra eta planetaren posizioagatik ez dugu inoiz disko erdia baino gutxiago ikusten. Bestalde, urrunen dauden kasuan ikusten ez dugun zatia, mesprezagarria da eta ezin dugu esan propioki fase-ziklorik dagoenik.

2.1.5. EGUZKI-SISTEMAREN BESTE OSAGAI BATZU

Eguzkia eta planetez gain, ba ditugu Eguzki-sisteman beste osagai batzuek ere.

Lehenengoz, planeten sateliteak aipatuko ditugu. Planetak bezalako lonposaketa dute, eta haien inguruan biratzen dute, grabitazio-legearen arauera.

Planetek eta beren sateliteek osotzen duten sistemak, nolabait Eguzki-sistema gogoratzen digu.

Eguzki-sistemako beste gorputz garrantzitsu batzuek asteroideak dira. Berrogeitamar mila inguru direla uste da, baina bakarrik mila eta seirehun inguru ezagutzen dira. Dimentsio desberdinetakoak daude, baina gehienek diametroa kilometro baten eta laurogei kilometroren artean dago.

Baina Eguzki-sistemako astro ikusgarrienak konetak dira.

Eguzkira hurbiltzen direnean, gasezko hodei batez inguratuta ikusten dira, eta hodei honetatik izugarritzko isatsa irtetan zaie, isatsa batzutan miloika kilometrotakoa izanik.

Eta azkenik, meteoritoak aipatuko ditugu. Hauk eguratsean sartzen diren gorputz - arrokatsuak dira. Normalki, txikiak izaten dira eta, beraz, hegazkortu egiten dira eguratsaren marruskaduraz, marra argitsu bat utzi. Asteroideekin eta batez ere kometekin erla zionaturik daude.

2.1.6. BA OTE DA PLANETA POSTPLUTONIKORIK?

Asko espekulatu da Eguzki-sistean hamargarren planetaren existentziaren posibilitatearekin, baina oraindik Pluton da ezagutzen dugun azkena. Noski, planeta honek Plutonen orbita baino handiago bat deskribituko luke. Kazetarien artean Riga izena ipini zitzaien.

Planeta postplutoniko honen historia ez da gaurkoa. Pluton aurkitu zenean, Uranoren orbitaren anomalia batzu explikatu ziren, baina beste batzu ezin ziren justifikatu plane ta honen eragipenaz. Beraz, C.W. Tombaugh, Plutonen aurkitzaileak, beste planeta baten izatea postulatu zuen. Segidan, planeta horrek anomaliak azaltzeko izan beharko zuen ibilbidea - kalkulatu zen; baina 1.930. urtetik 1.945. eraino egin zen bilakera exhaustiboak, ez zuen erresultatu positiborik eman; baztertu egin zen hipotesia.

Edozein modutan, beste planeta baten izatea posible da, Uranoren eta Halley-ren kometaren orbiten anomaliak explikatu arte behintzat.

Ez da harritzekoa, froga fotografikorik ez edukitzea, zeren beraren urruntasunagatik, distira erabat makala izango bailitzateke. Halaber, beraren higidura ia behaezina izango - litzateke.

Honela, esan dugun bereiztasunak dituen planeta bat errazki nahastuko litzateke teleskopio on batez ikusten diren miloika izarren artean. Beraz, identifikatzeko metodo seguru bakarra, teoikoki posizioa ezagutzea eta, gero, firmamentuan aldeztu aurretik pentsatu tako lekuan bilatzea izango litzateke.

Dena dela, otain urte azko ez direla, astronomoek objektu berri bat ikusi zuten. Gorputz hau Neptunoren orbitan sartzen zen, gero berriz irteteko; beraz, planeta honen higidura eragipena zuela pentsatu zen eta lehenengoz planeta bezala sailkatu zen. Geroago, berriz, auresan hau okerrak zirela frogatu zen, inolako efekturik eragiteko, gorputz haren masa txikiegia zela ikusiz.

Ba dira, aipatu dugun antzeko objektu gehiago aurkitu dezakegula pentsatzen dutenak. Hilargiak baino masa txikiago izango lukete, baina ez lirateke tamainu eta garrantzi - handiko planetak izango.

2. I.7 EGUZKI-SISTEMAKO DISTANTZIAK

Hurrengo horrialdean Eguzki-sistemaren osagaien arteko distantzien eta beren tamainuen taula daukagu (II.Taula). Bertan Jupiterren diametroa 138.000 kilometrotakoa dela diogu edo Saturnotik Eguzkira joatea nahi bagenu $1.427 \frac{1}{2}$ 700.000 kilometrotako bidaia egin beharrean izango ginatekeela ipintzen du; baina dato hauk azaltzeak ez digu Eguzki-sistemaren tamai nuaren idea zehatza ematen zeren eguneroko esperientzian ez baitugu zenbaki horien ordenako distantziekin lanik egiten.

Beraz, distantzia hauen eta haien arteko erlazioen irudi bat eduki dezagun, Eguzki-sistemako dimentsio guztiak txikitu egingo ditugu, elkarren arteko proportzioak gordez. - Konkretuki hauxe izango da eskala : Lurraren diametroa, errealki 12.742 km-takoa, dezimetro batetakoa egingo dugu.

Hala balitz, Eguzkia 11 m-tako diametroko esfera batetan sartuko litzateke eta Merkurioaren orbitak laurehun eta berrogeitabederatzi metrotako erradioa izango luke. Lehenbiziko planeta honen diametroa 3 zentimetrotakoa izango luke. Artizarrak, berriz, zortzirehun eta berrogeitabat koma sei metrotara biratuko luke eta bederatzi koma bost zentimetrotakoa da eta beraren orbitaren erradioa mila, zazpirehun eta larogeitabost metrotakoa. - Hurrengo astroa, Jupiter, planeten arteko handiena, sei kilometrotara aurkitu beharko - genuke eta metro batetako dimetroko esfera bat beteko luke. Saturno Jupiter baino pixka bat txikiagoa litzateke, laurogeitamalau zentimetrotako diametroarekin, eta Eguzkitik hamaika mila, ehun eta laurogeitabi metrotara legoke gure ereduari. Urano eta Neptunoren diametroak ia berdinak lirateke, lau dezimetrotakoak, eta lehena Eguzkitik hamabost kilometrotara. Azkenik, Pluton, Martitzen antzeko tamainukoa, hogeitamasei kilometrotako distantziara

Eskalan eginiko Eguzki-sistemako eredu hauetako, planetarium deitzen zaie. Gure eredu-tik, berehala, ondorio bat atera dezalegu : Eguzki-sisteman ia dena hutsa dela eta planetak izugarritzko distantziaz aldeniako higitzen direla. Eguzkia, nahiz eta handia izan, Pluto - netik ez genuke iza bat baino askoz handiagoa ikusiko.

2.I.8. BODE-TITIUSEN LEGEA

Keplerrek, planeten higiduren legeak aurkitu zituenean, hutsune bat aurkitu zuen Martiz-en eta Jupiter-en artean. 1.741.ean, alemaniar batek, Wolf izenekoa, planeten arteko distantziari buruzko lege enpiriko bat argitaratu zuen. 1772.urtean beste astronomo alemaniar batek, Titius izenekoa, berriz argitaratu zuen eta, azkenik, 1.778.urtean, Bode izeneko Berlineko behatokiko astronomoak, berriz argitaratu zuen. Harrez gero, lege hori bere izenaz ezagutzen da.

Normalki, erlazio hau honela azaltzen da : idatz dezagun ondoko zenbaki-segida : 0,3,6,12,24,...; gehi diezagun lau zenbakia segidako termino bakoitzari eta hamar zenbakiaz zatika; lortzen dugun segida, hauxe da : 0,4; 0,7; 1,0; 1,6; 2,8;...; eta planeten distantzien segida berbera da, distantzia hauk unitate astronomikotan neurtzen baitugu, hau da, Lurretik Eguzkirainoko distantzia unitate bezala hartuz.

Lege hau argitaratu zenean, bakarrik lehenengo bost planetak ezagutzen ziren. Ura-noren aurkikuntzak segida honen hurrengo terminoa baieztatu zuen. Baina arrakasta handiena Martitz eta Jupiterren artean beste planeta bat egon behar zela auresatea izan zen. Geroago ikusiko dugunez, bi planeta hauen arten beste planetoide asko daude. Nahiz eta orbita desberdinak izan, planetoide edo asteroide hauen Eguzkirainoko batezko distantzia ez da agertzen Bode-ren segidan..(Ikus III Taula).

Erlazio hau ez da finkatu zerutar mekanikaren edifizioan, hau da, ezin izan da mekaniko legeetatik atera. Beraz, zientzilari batzu legeak auresaten duen planeten distantzien erlazioa kasualitatearen fruitua dela diote. Beste batzuk, berriz, justifikazioa Eguzki-sistemaren formazioko baldintzetan bilatu behar dela pentsatzen dute.

III. TAULA

BODEREN LEGEA		
ASTROAREN IZENA	EGUZKIRAINOKO DISTANTZIA (U. A.)	EGUZKIRAINOKO DISTANTZIA BO- DEREN LEGEAREN ARAVERA
MERKURIO	0,3870	0,4
ARTIZARRA	0,7233	0,7
LURRA	1,0000	1
MARTITZ	1,5236	1,6
ASTEROIDEAK	2,65 (BATEZ BESTEKO)	2,8
JUPITER	5,2025	5,2
SATVRNO	9,5547	10
URANO	19,181	19,6
NEPTUNO	30,067	38,8
PLUTON	39,517	77,2

3. GAIA

I Z A R R A K

- I. Sarrera
- II. Izarren ezaugarriak :
 - Izar Motak 1) Masa
 - 2) Tamainua
 - 3) Argitasuna
 - 4) Mota espektrala
 - 5) Konposaketa kimikoa
 - Hertzsprung-Rusell-en diagrama
- III. Izarren eboluzioa :
 - Izar bat zer den
 - Izarren jaiotza eta eboluzioa
 - Zer gertatuko zaio Eguzkiari?
- IV. Izar bikoitzak :
 - Sistema bitar bisualak
 - Sistema bitar espektroskopikoak
 - Sistema bitar eklipsatzaileak
- V. Izarrarteko ingurunea :
 - Azterketa optikoak 1) Gasak
 - 2) Partikula solidoak
 - Irrati azterketak 1) H II alderdiak
 - 2) H I alderdiak
- VI. Konstelazioak.

IZARREN EZAUGARRIAK .-

Gure ustean, zeruan ikusten ditugun izarrak, puntu argitsu batzu besterik ez dira, baina izarrak beraien artean ez dira berdinak, noski desberdinak baizik.

Esate baterako, Siriusen alboko izarrak (Sirius-B izenekoa) oso dentsitate handia du (poxpolu kaxa bat material horrekin beteko bagenu, tonelada batzu pisatuko lituzke); eta Betelgeuse izenekoa, berriz, digante gorria izanik, laborategietan egiten dugun hutsa baino hutsagoa da.

Bestelako adibide batzu ere eman ditzakegu : Betelgeuse bera Antares, Rigel eta abar izar diganteak dira (erradioa Eguzkiak baino 400 bider handiagoa dute), eta beste batzu izar nanoak dira (Sirius-B bezala), ozta lurra baino zerbait handiagoak direlarik. Kolorez ere desberdinak dira : batzu gorriak dira, beste batzu horiak, urdinak eta abar.

Hau ikusi eta gero, izarrak hobeto ulertzeko, ezaugarri hauk aztertzea garrantzizkoa izango dela pentsa dezakegu; eta egia da. Beraz, ezaugarriak aztertuko ditugu eta haien artean neur daitezkeenak hartuko ditugu.

Hauxek dira garrantzizkoenak :

- 1.- Masa
- 2.- Tamainua (Erradioa)
- 3.- Dirdira (Argitasuna)
- 4.- Mota espektrala (hemen tenperatura eta kolorea sartuko ditugu)
- 5.- Konposaketa kimikoa.

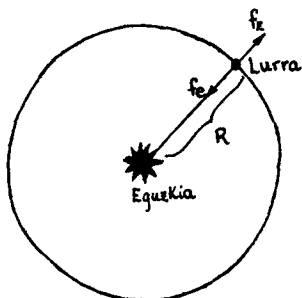
1.- MASA

Masa handiena daukaten izarrak beroenak eta argitsuenak dira. Baina, nola neur dezakegu izar baten masa?. Erantzuna labur eman daiteke :

"Bere erakarpen-efektua beste gorputz batetan aztertuz". Honela, eta Newtonen erakarpeneko legea aplikatuz, izarraren masa lortzen dugu.

Adibide gisa, Eguzkiaren masa aterako dugu. Kasu honetan, erreferentzia bezala erabiltzen dugun beste gorputz hori, lurra izan daiteke.

Lurraren ibilbidea (Eguzkiaren inguruan) ia zirkularra izanik, Eguzkirainoko distantzia (R) konstante dela kontsidera dezakegu.



$\begin{cases} f_e : \text{erakarpen - indarra} \\ f_z : \text{indar zentrifugoa} \end{cases}$

$$f_z = M_\delta \cdot a_n = M_\delta \cdot \frac{v^2}{R} = M_\delta \cdot \omega^2 \cdot R = M_\delta \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

Hemen, T delakoa, bira osoa egitean ematen duen denbora da, hots, biraketaren periodoa.

$\begin{cases} M_\delta = \text{Lurraren masa} \\ M_o = \text{Eguzkiaren masa} \end{cases}$

Higidura zirkularrean : $F = m \cdot a_n$

eta gure kasuan : $f_e = M_\delta \cdot a_n$

grabitazioaren lege unibertsala aplikatuz :

$$G \cdot \frac{M_\delta \cdot M_o}{R^2} = M_\delta \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

Beraz :

$$M_o = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{R^3}{T^2}$$

$\begin{cases} \pi = \text{Konstante famatua da : } 3'14 \\ G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nwm.}^2 \text{ kgr.}^{-2} \\ T = 365 \text{ egun} \end{cases}$

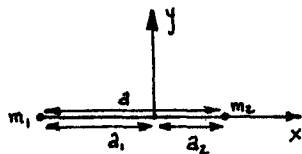
R geratzen zaigu eta berau nola neurtzen den jakiteko, 1. eranskina ikus daiteke.

Beraz, metodo honetaz Eguzkiaren masa neur dezakegu :

$$R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ Km.} \rightarrow M_o = \frac{4 \cdot (3'1415)^2}{6'67 \cdot 10^{-11} \text{ Nwm.}^2 \text{ kgr.}^{-2}} \cdot \frac{(1'5 \cdot 10^8)^3 \text{ m}^3}{(365 \cdot 360 \cdot 24)^2 \text{ seg}^2}$$

$$M_o = 2 \cdot 10^{30} \text{ kgr.}$$

Beste izarren masaren neurketa ez da hain erraza, ezin baititugu haien planetak aurkitu, geure formula aplikatzeko. Hala ere, izarren sistema bikoitz bat badugu, hau da, bi izar beren masa-zentruaren inguruan mugitzen badira, posible da aurreko metodoa egokitzea.



Hemen, masa - zentruaren koordinatuak $X_{mz} = 0$

eta $Y_{mz} = 0$ dira; beraz :

$$X_{mz} = 0 = \frac{m_2 \cdot a_2 - m_1 \cdot a_1}{m_1 + m_2}$$

eta hau geratzen zaigu : $m_2 \cdot a_2 = m_1 \cdot a_1$

Dagigun $m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2 = K$

$$\text{beraz } \begin{cases} a_1 = K/m_1 \\ a_2 = K/m_2 \end{cases}$$

$$a_1 + a_2 = a = K \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) = K \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2}$$

$$K = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot a$$

Orduan

Eta Keplerren hirugarren legea ezagutuz : $\frac{a^3}{T^2} = G \cdot \frac{m_1 + m_2}{4\pi^2}$

Lurraren kasuan $m_1 + m_2 = M_\odot + M_\oplus \approx M_\odot$. Eta honela lehen ikusi dugun

formula geratzen zaigu.

Geure formulara itzuliz, teleskopi batekin T eta a neur daitezke. Beraz, $m_1 + m_2$ lortzen dugu; eta a_1 eta a_2 , izar bakoitzaren ibilbide eliptikoak ezagutuz lortzen dira.

Guzti honekin m_1 eta m_2 lortzen ditugu.

Gainera, oso arrunta da horrelako sistemak aurkitzea. Modu honetako kasu asko aztertuz, astronomoek erlazio empiriko bat aurkitu zuten :

Izar-sistema bikoitzak edo bitarrak aztertzean, argitasunaren eta masaren arteko erlazio bat lortu zuten. Hauxe, prezeski :

$$L \propto M^4$$

Erlazio hau logikoa da : M handia bada, barruko presioa handia izango da : beraz, barruko tenperatura ere handia izango da eta, beraz, argitasuna handia.

Kausa honegatik, ezin da izar baten masa oso handia izan, zeren eta barruko temperatura oso handia izango baita eta beraz, izarra puskatu egingo baita.

Halegia, izar bat Eguzkia baino 10.000 bider argitsuagoa bada, beraren masa Eguzkiarena baino 10 bider handiagoa izango da.

Gonbaraketa hau eginez eta argitasuna ezagutuz (ikus 3. ezaugarria), izar guztien masa lor dezakegu.

Praktikan ikusten denez, masa guztiak tarte honetan sartuta daude :

$$M = [4,35, 50] M_{\odot} \text{ eta gehienak } [1,5, 25] M_{\odot} \text{ tartean}$$

Beraz, masa kontsideratuz, ez dago desberdintasun handirik beraien artean.

Taula honetan adibide batzu agertzen dira :

IZARRA	MASA (M _⊙)
β Orion (Rigel)	39
γ Lyra (Vega)	3,5
α Orion (Betelgeuse)	13,5
α Canis Major (Sirius A)	2,6
α Scorpius (Antares)	12
α Centaurus A	1,5
α Taurus (Aldebaran)	4
α Bootes (Arcturus)	4
α Canis Minor (procyon)	3,5
Kruger 60 A	0,3
Bernard-en izarra	0,2

2.-

TAMAINUA

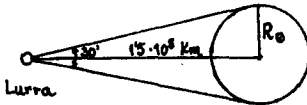
Hemen, berriz, izarren tamainuan dauden desberdintasunak oso handiak dira.

Tamainua neurtzeko, erradioa neurtzen dugu.

Hasteko, lehen bezala, Eguzkiaren erradioa neurtuko dugu. Baina lehenik, galdera bat dugu: Zergatik hartzen dugu beti Eguzkia?

Ba, gugandik oso hurbil egonik, neurgailu bezala erabiltzen dugulako.

Honela izango da :



Trigonometria aplikatuz : $\sin \frac{0.5}{2} = 0.0040 = \frac{R_0}{15 \cdot 10^8 \text{ km}}$

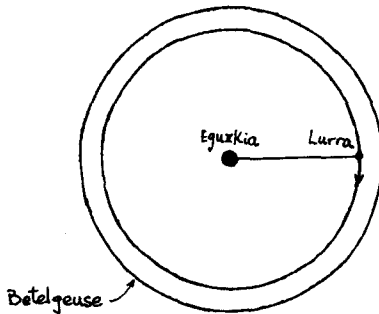
$R_0 = 0.7 \cdot 10^6 \text{ km}$

Beraz, Eguzkiaren kasuan erraz konpontzen da arazoa. Baina izarra urrunean badago, angelua oso txikia izango da eta ia neurtezina.

Nola neurtzen dugu, beraz, erradioa?

Kasu hauetan formula hau erabiltzen dugu :

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$



Argitasuna eta tenperatura, argiaren espektroa analisatuz lortzen ditugu.

Esate baterako, Betelgeuse -ren tenperatura $T_0 / 2$ da eta $L = 10^4 L_0$. Beraz $R = 400 R_0$.

Betelgeuse-ren barruan 10^8 Eguzki sartu ahal ditugu.

Eguzkiaren erradioa kontsideratuz, bana keta hau egiten dugu :

$R > 200 R_0 \rightarrow$ Izar diganteak

$R < \frac{1}{10} R_0 \rightarrow$ Izar nanoak

Gehienak ondoko tarte honetan sartuta daude :

$$R = \left[0.1 , 25 \right] R_{\odot}$$

Tamainu- desberdintasunak izarren eboluzioaren etapa desberdinei dagozkie. Hau gero aztertuko dugu.

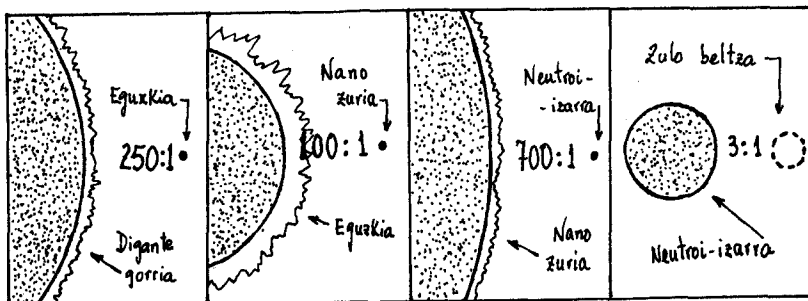
Orain, masa eta tamainua ikusi eta gero, dentsitatea neurtu ahal dugu.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{formula ezaguna da})$$

Oso interesagarria da, hau adibiderekin ikustea :

IZARRA	DENTSITATEA	IRUZKINAK
Eguzkia	1.5 gr/cm^3	Eguzkiaren dentsitatea ur likido-arena baino pixka bat handiagoa da.
<u>Betelgeuse</u> (digante gorria)	10^{-5} gr/cm^3	Hutsa baino hutsagoa da
<u>Rigel</u> (digante urdina)	10^{-2} gr/cm^3	Ikusten denez, ura baino ehun aldiz arinagoa
Nano gorri bat	25 gr/cm^3	Platinoaren dentsitatea 22 gr/cm^3 da.
Nano zuri bat	$10^{4.10^7} \text{ gr/cm}^3$	Poxpolu kaxa batek material horrekin tonelada bat pisatuko luke.
Pulsareak	10^{10} gr/cm^3	Neutroi-izarrak dira, beren ardatza- ren inguruan biratzen.
Neutroi-izarrak	10^{15} gr/cm^3	Nukleo atomiko batena baino dentsitate handiagoa. Hemen ez dago nukleorik. Gure poxpolu kaxak asteroide bat bezala pisatuko luke.
Zulo beltzak	10^{17} gr/cm^3	Benetan izugarria Hau gero aztertuko dugu.

Tamainuen desberdintasunak hurrengo eskema honetan adierazi ditugu.



Adibideak

IZARRA	DIAMETROA (Eguzkia : 1)
α Scorpius (Antares)	480
α Orion (Betelgeuse)	290
α Taurus (Aldebaran)	60
α Bootes (Arcturus)	30
α Lyra (Vega)	2,4
α Canis Mayor (Sirius A)	1,8
α Canis Minor (Procyon)	1,9
α Centaurus A	1
Krüger 60 A	0,34
Bernard-en izarra	0,16
Sirius B	0,034
Van Maanen-en izarra	0,007
α Auriga A (Capella)	12
β Pegasus	170
β Centaurus	11
μ Scorpius	3,2
β Auriga A	2,4
Wolf 1.055 B	0,01

3. DIRDIRA (ARGITASUNA)

Ezer baino lehen, argitasunaren kontzeptua aztertuko dugu. Argitasuna, denbora-unitatean izarraren gainaldeko geruza zeharkatzen duen energiaren fluxu osoa da. Eguzkiaren argitasunaren funtzioan ematen da; hots, izar baten argitasuna 10 bada, izar honek - Eguzkiak baino 10 bider argitasun handiagoa emititzen duela esan nahi du.

Beraz, Eguzkiaren argitasuna neurtu behar dugu.

Atmosfera kontutan hartzen ez badugu, minutu bakoitzean Eguzkitik 2 kaloria/cm^2 heltzen zaizkigu ($2 \text{ cal. cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$).

Eta Eguzkirainoko distantzia ezagutuz, formula ezagun hau aplika dezakegu.

$$L = 4 \pi R^2 I$$

Hemen

$$\left\{ \begin{array}{l} L : \text{Argitasuna} \\ 4\pi R^2 : \text{Eguzkiaren gain azalaren area.} \\ I = \sigma \cdot T^4 : \text{Azalera unitateko Eguzkiak ematen duen energia} \\ \quad I : 2 \text{ cal/min.cm}^2 = 1.400 \text{ watt/m}^2 \\ R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km (Eguzkirainoko distantzia).} \end{array} \right.$$

Azkenean haxe geratzen zaigu :

$$L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26} \text{ watt}$$

Izarren argitasunak tarte honetan daude :

$$L = \left[70.000, \frac{1}{1.000} \right] L_{\odot}$$

Argitasun handia dutenak, digante urdinak dira : izar hauk gazteak dira, zeren energia pilaka gastatzen ari baitira, eta erritmo horrekin energia gastatuz ezin baitira urte askotan bizi.

Izarren argitasuna neurtzeko, distantzia kontutan hartu behar da. Eguzkia izarrik argitsuena dirudi, hurbil baitago, eta Hilargiarekin (satelitea, hau da, gorputz solido izanik) berdin gertatzen da.

Eguzkia, Sirius izeneko izarra dagoen lekuan ipiniko bagenu, beraren dirdira - Siriusena baino 25 bider ahulagoa izango litzateke.

Dirdira, eta argitasuna bera, distantziaren bigarren potentziarekin txikituz doa (Eguzkia, orain dagoen lekuan baino 2, 3 edo 4 bider urrunago egon balitz, 4, 9, edo 16 bider ahulagoa izango litzateke). Orduan, Lurrean neurtzen duguna dirdira erlatiboa da. Nola neur dezakegu dirdira absolutua?

Demagun izarra distantzia finko batetan ipinita dagoela; batezbesteko distantzia hori, haxe da :

$$10 \text{ parsec} = 33 \text{ argi-urte} = 3 \cdot 10^{14} \text{ km.}$$

Izarren arteko argitasunen desberdintasunak hobeto konparatzeko, zenbaki adimentsional bat asmatzen dugu : "Magnitudea" deritzogu. Bi magnitude-mota daude noski : erlatiboa (m) eta absolutua (M).

$$m = -2.5 \log_{10} I - 13.9965$$

$$M = -2.5 \log_{10} L + 71.1928.$$

Halegia :

Izar baten magnitudea "X" bada eta beste batena "X + 2", lehena bigarrenaren baino $(2,5)^2 = 6$ bider argitsuagoa da; bigarrenaren "X + 5" bada - lehena $(2,5)^5 = 100$ bider argitsuagoa izango da.

Adibideak :

IZARRA	m	M	L
Eguzkia	-26,9	4,9	1
Procyon	0,37	2,7	7,6
Altair	0,77	2,3	10,9
Sirius A	-142	1,46	25
Vega	0,04	0,5	57,5
Arcturus	-0,06	-0,5	120
Antares	0,92	-5,4	10.300
Betelgeuse	0,41	-5,9	16.600
Rigel	0,15	-7,1	63.000

Sentikortasuna kontutan hartuz, hiru magnitude-mota daude :

Hau da, argitasuna haxe da

$$L = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \int_0^{\infty} E_{\lambda} \cdot d\lambda$$

$\int_0^{\infty} E_{\lambda} \cdot d\lambda$: Energiaren fluxua

Gure begien sentikortasuna handiagoa da kolore horiaren inguruan ($\lambda = 5.700 \text{ \AA}$). Ostera, plaka fotografikoen sentikortasun handiena kolore - urdinaren inguruan ($\lambda = 4.500 \text{ \AA}$); eta, bestetik, zelula fotoelektrikoek guztien kasuan sentikortasun berbera dute.

Honek esan nahi duena zera da :

Izar urdin bat aztertzen badugu ($\lambda = 4.700 \text{ \AA}$) plaka fotografikoentzat begientzat baino argitasun handiagoa duela. Izarra horia bada, alderantziz gertatuko da.

Horrela ba, zehaztasun handiagoa edukitzeko, izarraren magnitudea hiru koloretan neurtzen da; normalki : ultramore (U), urdin (B) eta hori (V) koloreetan (hiru - koloreetako fotometria deitzen da).

U, B eta V izarren magnitudeak badira, B fotografikoa eta V begiena izanik, beren kendura, $B - V$, ezaugarri kromatikoa deitzen da ($C = B - V$). Eta horren arau-era honela klasifikatzen dira izarrak.

$C < 0$ —————> izar urdinak

$C > 0$ —————> izar gorriak.

4.- MOTA ESPEKTRALA

Izarraren argi-izpiak prisma batetan zehar joan erazten ditugunean, argia bere koloreetan deskonposatzen da. Argi-izpiak pasa ondoren ikusten dugunari, espektro deritzogu.

Espektroa lerro ilunez eta kolorezko lerroz betetako plaka bat da; eta honek, astrofisikalarientzat hieroglifiko baten papera jokutzen du. Espektroaren bidez, izarren konposaketa kimikoa, abiadura, tenperatura eta abar azter ditzakegu.

Newton, Eguzkitiko argiaren espektroa aztertu zuenean, ez zen konturatu kolore bakoitzean mila lerro ilun mehe zeudenik.

Nola ikus daitezke lerro hauk?. Erantzuna erraza da : prismaren aurrean zirrikitu bat ipiniz. Hau William Hyde Wollastone-k egin zuen lehen aldiz 1.802 urtean.

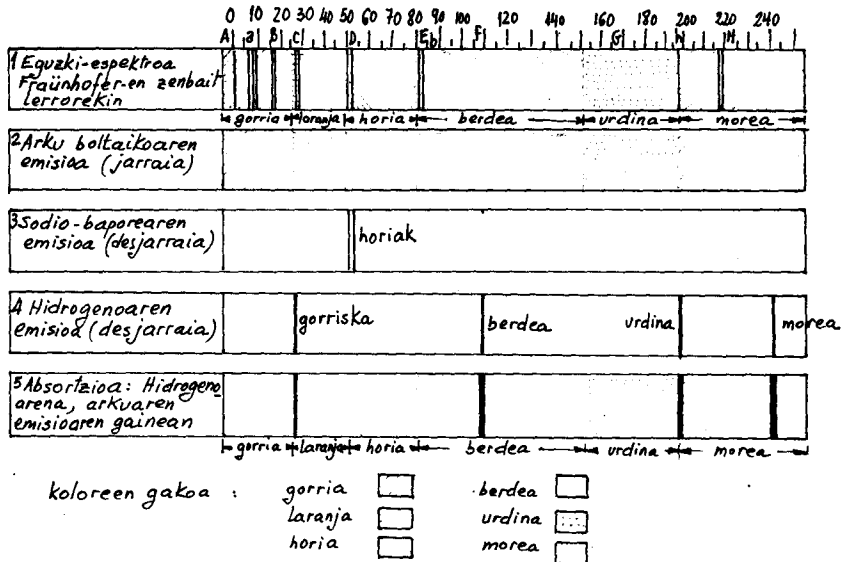
Geroago, 1.815. urtean, Joseph von Fraunhofer-ek lerro hauk garbi erakusten zituen espektroa lortu zuen, eta horregatik Fraunhoferren (edo absortziozko) lerroak deitzen dira.

Nondik datoz lerro ilun hauk?

Izatez, hau ongi ulertzeko, Mekanika Kuantikoa ikasi behar dugu; baina hitz gutxi tan, haxe da jatorria :

"Izar-atmosferen atomoen eta irradiazio elektromagnetikoen arteko interakzioagatik"

Elektroi batek irradiazioaren zati bat hartzen du eta energia honekin beste orbita batetara jauzten da. Gero orbita horretan geratzen da eta noski, orbita horren energia lehenarena baino handiagoa da; beraz, lehen orbitara itzultzeko bada, - lehen hartu zuen energia orain emititu egingo du eta energia horrek emisio-espektroa osotzen du (espektro-mota hau ez zaigu interesatzen).



Elektroien energia kuantifikatuta dagoenez gero, espektroen lerroak diskretuak dira. Hau da, energiak balore konkretuak hartuko du.

Demagun espektroa lortu dugula; orduan, izarretatik argiaren espektroak hartuz, izarren konposaketa kimikoa lor dezakegu.

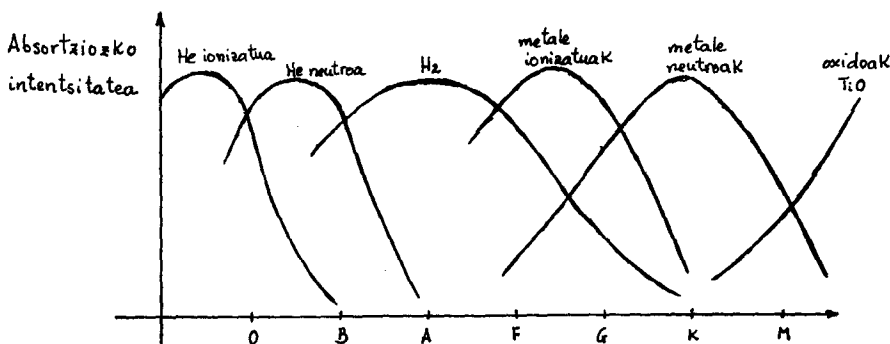
Honela, adibidez, Helioa Lurrean baino lehenago Eguzkian aurkitu zuten. Gero, Helioaren antzera beste elementu batzu ere aurkitu uste izan ziren; haietako famatuena, - "Koronio" eta "Nebulio" direlakoak dira.

Baina, noski, kimikarien "etxea" beteta zegoen eta ez ziren sartzen ahal taula periodikoan.

Adibidez :

G0, G1, G2,.....G9

Esan duguna grafiko honen bidez adierazten dugu :



Gainera, espektrorik bakoitzari kolore bat dagokio zeren eta erlazio bat baitago kolorearen eta tenperaturaren artean. Hauxe prezeski :

$$\lambda \cdot T = k_{te} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot ^\circ\text{K}$$

Honetaz, ezer baino lehen, tenperaturaren kontzeptua aztertuko dugu : Gas batetan, tenperatura handitzen badugu, gasa zabalduz doa eta zabalkunde hau egiten uzten ez bazaio, presioa handitzen da.

Molekulen kopurua ez da aldatzen, noski : orduan, molekula hauen energia zinetikoa handiagoa da eta beraz abiadura ere handia izango da.

Hau da, tenperaturak gorputz bateko molekulen agitazioa neurtzen du.

Esate baterako, izar baten barruan protoien batezbesteko abiadura 1 km/seg bada, hidrogenoaren tenperatura 1500° K gradutakoa izango da. Izar honek erre egiten ote du ? Hotz ematen ote du ? Ez dakigu, hemen tenperatura beste gauza bat da eta ez termometroarekin neurtzen duguna. Adibidez Betelgeuse izeneko izarraren dentsitatea 10^{-5} gr/cm^3 da eta beren tenperatura 3.000° K gradutakoa da; erre egiten ote du ? Ez dakigu, tenperatura oso altua da baina dentsitatea oso txikia. Baldintza horietan ez

dakigu, gure gorputzak zertzu zentzazio izanen dituen.

Hurrengo taulan laburpen bat egingo dugu.

Mota espektrala	Kolorea	Ezaugarri Kromatikoa	Gainaldeko temperatura
O	Urdina	-0,30	30.000 K
B	Urdina-Zuria	-0,15	30.000 K - 15.000 K
A	Zuria	0,00	15.000 K - 10.000 K
F	Zuria-Horia	+0,40	10.000 K - 7.000 K
G	Horia	+0,80	7.000 K - 5.000 K
K	Laranja	+1,20	5.000 K - 4.000 K
M	Gorria	+1,80	4.000 K - 3.000 K
N	Infragorria	?	3.000 K

OHARRA :

Neurketak egitean eta ondorioak ateratzean, kontutan hartu behar dugu Doppler efektua, zeren eta espektroa mugitu egingo baita, izarra mugitzen bada. Urruntzen ari diren izarren espektroak gorrirantz mugitzen dira eta hurbiltzen ari direnetakoenak urdinerantz desplazatzen dira.

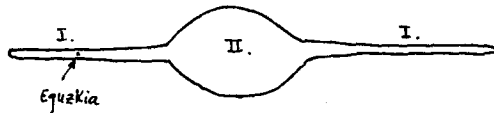
5.- KONPOSAKETA KIMIKOA

Orohar, izar guztiak hidrogeno eta heliozko hodeiak dira, baina elementu astunak ere ba dauzkate. Elementu horik estudiatzen baditugu, izarren adina kontutan hartu - behar dugu.

Unibertsoan bi izar-mota daude, lehen multzokoek 1- Mota delako multzoa osotuz eta bigarrenekoek, 2-Mota delakoa.

Bigarren multzokoak zaharrenak dira, hau da, lehenago jaio direnak. Hau dela eta, izenak alderantziz jarrita daudela pentsa dezakegu. Zergatik ez dira lehen multzokoak zaharrenak?. Beno, banaketa hau Walter Baade-k asmatu zuen 1.940-49 - hamarkadan eta honek ez zekien ezer izarren eboluzioari buruz, orduan arazo hori ez baitzen ezagun. Gainera, beraren ustez, Eguzkiak lehen multzoan egon behar zuen eta Baade-k, ez zekien Eguzkia izar gazte bat zenik.

Gure galaxia (galaxia izarrek osotzen dituzte), Frantses Bidea izenekoa, galaxia espiral bat da (galaxia gehienak bezala); eta galaxia bakoitzean bi izar-multzo - horik banandurik daude : lehen multzokoak galaxiaren besoetan aurkitzen dira - - eta bigarrenekoak erdigunean.



Desberdintasun hau gure ondoan dagoen galaxian (Andromeda izenekoa) aurkitu izan zen lehen aldiz.

Galaxia horretako izarren espektroa analisatuz haxe lortzen dugu :

Lehen multzokoek bigarrenekoek baino hamar bider karbono, oxigeno eta metale gehiago dute proportzioan. Hau da, lehen multzoko izarrek jaio zirenean, ba zeuden unibertsoan elementu batzu eta ez bakarrik Helio eta Hidrogenoa.

Gero multzo bakoitzean beste banaketa hau egiten da :

lehen multzoan	{	gazteak ————— izar oso gazteak
		erlatiboki zaharrak ————— izar gazteak
bigarren multzoan	{	erlatiboki gazteak ————— izar zaharrak
		zaharrak ————— izar oso zaharrak

Eguzkia izar gazte bat da, hau da, lehen multzokoa baina lehen multzokoan artean zaharra da.

Laburtuz :

1-motako izarren masan dagoen konposaketa, hauxe da gutxi gorabehera :

70% H, 28He eta 2% metaleak eta beste (C, N, O, Ne...ere sartuta)

Eta atomoen kopurua kontutan hartuz :

90% H, 10 % He eta 0,1% metaleak eta beste.

2-Motako izarren konposaketa ia berdina da, baina, esan dugun bezala, metaletan dagoen konposaketa hamar bider txikiagoa da.

HRTZSPRUNG-RUSELL-EN DIAGRAMA .-

Ezaugarriak ikusi genituen, argitasunaren, mota espektralaren, kolorean eta tenperatu raren arteko erlazio bat zegoela esan genuen.

Azken puntu honetan erlazio hau aztertuko ditugu.

Ejnar-Hertzsprung (1.873-1.967) holandarrek, eta Henry Norris Russell (1.977-1.957) ipar-ameriketarrak, bakoitzak bere aldetik lan eginez, argitasunaren eta gainaldeko tenperatu raren arteko erlazio bat lortu zuten.

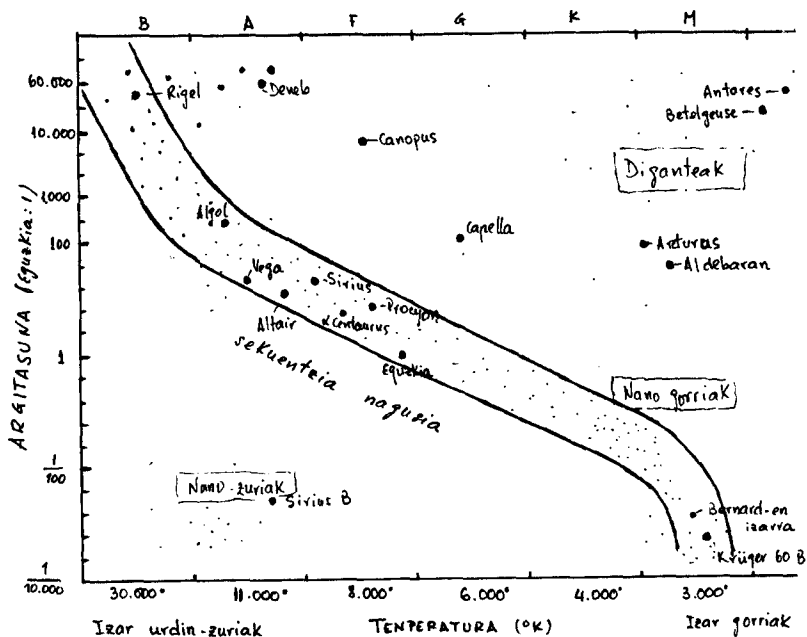


Diagrama hau izarren eboluzioa aztertzeko oso erabilgarria da, ia-ia ezinbestekoa.

Diagrama aztertzean, izarrek hiru multzotan banatzen direla esan daikete : sekuentzia nagusia, diganteen sekuentzia eta nanoen sekuentzia.

Izar gehienak (90%) sekuentzia nagusian daude.

Orain egin duguna, diagrama aipatzea bakarrik izan da; baina gero askotan erabiliko da.

Honekin, emandako ezaugarriekin eta beraien artean dauden erlazioekin, hurrengo kapituluan sartzeko prest gaude.

IZARREN EBOLUZIOA

IZAR BAT ZER DEN

Erantzuna erraza da : izarra espazioan dagoen gasezko esfera handi bati deritzogu, eta esfera honek argia emititzen du.

Beraren barnean, bi indar-mota burrututzen ari dira. Bata unibertaski ezaguna den grabitatearena (Newtonek aurkitu zuena). Honek, indar grabitazionalak, izarren masa bere barnerantz erakartzen du eta konprimi eratzen du; honela, izarren temperatura goratuz doa (gasek egiten duten bezala). Izarren barruan temperaturagatik eragiten den energiak bigarren indarra sortertzen du : "expantsio-Indarra".

Bi indar-mota horien arginpean funtzionatzen dute izarrek :

IZARREN JAIOTZA ETA EBOLUZIOA :

Gauza bat suposatzen dugu eta zera da : Unibertsoa lehertu egin zela hasieran - (Ikus 4. Gaia).

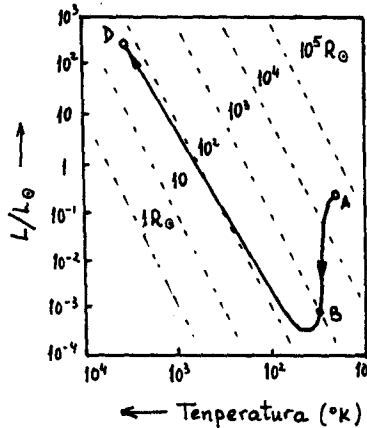
Orain pentsa ezazue unibertsoaren hasieran gaudela : unibertsoan dagoen elementu ia bakarra, hidrogenoa da (90%), enparadua helioa da eta beharbada 1% edo 2% deuterioa. Beraz, unibertsoa hidrogenozko hodei handi bat da ia-ia.

Esan dugun bezala, unibertsoa lehertu egin zen; orduan une horretatik aurrera gasezko hodeiaren temperatura guztiz altua da, bilioi bat gradu baino altuagoa, eta honela (temperaturagatik) hodeia arinki zabalduz doa. Gero, zabalkunde honek hodeia hozten du poliki (hau dena zenbait milioi urteren buruan).

Hozte-prozesuaren kauez eta indar grabitazionalagatik, energia zinetikoa txikituz doa eta gure hodeia zatitu egin daiteke (hemen barruko hidigurak ere kontutan hartu behar ditugu). Gero, zati hauk berezko indar grabitazionalagatik kondentsatu egiten dira eta historia errepikatu egiten da, hau da : zatiak zatitu egiten dira eta abar azkenean gure zatien diametroaren luzerak 4 ± 10 argi-urte ingurukoak dira. Hodei hauk hutsa baino hutsagoak dira; baina diametroa hain handia izanik, haien masa oso handia izan daiteke (adibidez, Eguzkiarena bezalakoa, hots, $2 \cdot 10^{33}$ gr)

Gero, grabitazioaren kausaz, hodeiak kondentsatu egiten dira eta honela berotuz doaz. Temperatura berezi batetara heltzen direnean, dirdira egiten hasten dira. Hasieran in-fragorria emititzen dute eta gero argi ikuskorra (normalki argi gorria).

Grafiko honen bidez, protoizarraren trajektoria dirdira egiten hasten den arte ikus dezakegu :



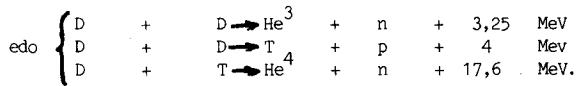
Lerro desjarraiak erradio desberdinei dagozkie. Ikusten denez, A puntutik aurrera - protoizarraren argitasuna txikituz doa (bitartean temperatura ez da aldatzen) ; gero, B puntutik aurrera, barruko higidurek protoizarra berotu egiten dute. Berotasuna kalerantz abiatzen da, gainalderaino heldu arte (D puntuan).

Taula honetan, hodeia (protoizarra) dirdira egiten hasten den arte zenbat denbora pasatzen den ikus dezakegu.

Hodeiaren masa (protoizarra)	Konprimitzen ematen duen denbora
20 bider Eguzkiarena	$3 \cdot 10^4$ urte
3 " "	$2 \cdot 10^6$ "
1 " "	$5 \cdot 10^7$ "
0,6 " "	$2 \cdot 10^8$ "
0,2 " "	10^9 "

Oraindik hodei hauei ez deritzegu izar. Gasezko hodeiak dira eta haien energi-
iturri bakarra, grabitazioa da. Oraingo diametroa Eguzkiarena baino 100 bider handiago
da.

Gas hauk konprimitu egiten dira eta kontrakzioagatik berotu egiten dira. Gero hidro-
genoa ionizatu egiten da eta hidrogenozko atomoak opako bihurtzen dira, kontrakzioa asti-
roagoa eginez. Baina kontrakzioa aurrera doa eta barruko tenperatura milioi batzu gradu-
takoa denean (deuterioa nahikoa bada), gauza garrantzizko bat hasten da : "Deuterioaren -
fusioa" :

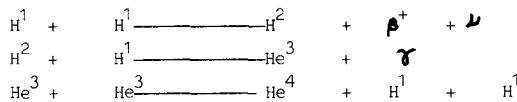


Hidrogenozko lehergailu bat sortu da : baina esan genuen bezala, hodeien deuterio-
-proportzioa oso-oso txikia zen. Beraz, arinki amaitzen da deuterioa.

Baina gure hodeia izar bihurtu da. Burruko tenperatura hamar milioi gradutakoa -
baino handiagoa da.

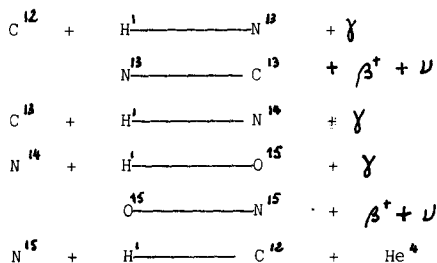
Zer gertatzen da orain ?

Tenperatura handi honekin hidrogenoaren arteko fusio nuklearra gertatzen da (tira !
hidrogenoa ionizaturik dagoenez gero, protoizko nukleoaz hitz egiten ari gara). Hain handi
den tenperaturari dagokion energia zinetikoari esker, aldarapen elektrikoa garaituz, protoien
arteko fusioa gerta daiteke. Honela **P-P** - deitzen den katea sortzen da :

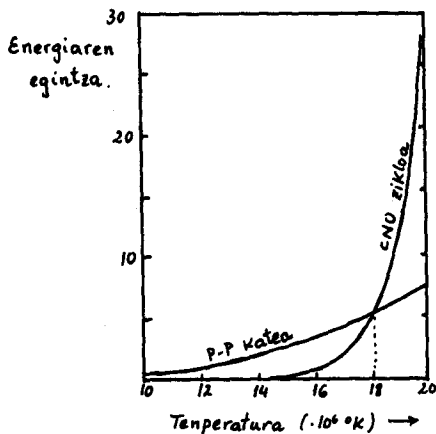


OHARRA

Izarraren tenperatura altuagoa bada eta elementu astunagoak badaude, beste kate bat
sortzen da : CNO zikloa :



Zizlo honek eta ikusi dugun kateak lan berbera egiten dute : lau protoirekin helioaren nukleo bat ematen dute. Grafiko honen bidez beraien arteko erlazioa ikus dezakegu :



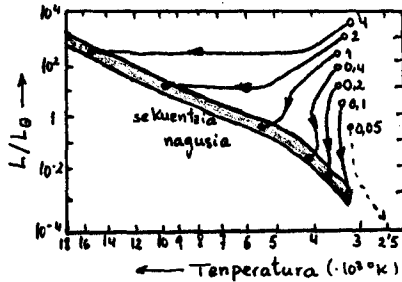
Azkenean, lau protoirekin Helioaren nukleo bat lortzen dugu. Nukleo hau lau partikula hauek osotzen dute : bi protoik eta bi neutroik. Eta bi positroi ere sortzen dira, azken biak bi elektroirekin deuseztatzen direlarik γ -izpiak eta neutrinoak ematen dituztelarik.

Kanpoko geruzek γ -izpi hauek hartzen dituzte eta gero (uhinluzera) handiagorekin ematen dituzte. Prozesua hurrengo geruzetan errepikatzen da, horrela segituz, izarraren gainalderaino heldu arte; han izpi batzuren uhin-luzerak argi ikuskorrari dagozkio; beste batzurenak izpi infragorriari eta ultramoreari dagozkio. Dena den, uhin-luzera gehienak - argi ikuskorrari dagozkio.

Une honetan, izarraren bolumena eta energiaaren egintza finkatzen dira, honela barnean dauden gasen ekspansio-indar kanpo-geruzen pisuarekin moteltzen delarik, hau da, indar grabitazionalarekin.

Une honetan izarraren "bizitza nagusia" hasten da eta Hertzsprung-Russell-en diagraman sartzen da.

Grafiko honen bidez, sekuentzia nagusirantz jarraitzen diren bideak ikus ditzakegu.



Eskuineko puntuak aurreko D puntuari dagozkio.

Sekuentzia nagusian izarrak zenbat denbora dauden adierazten da hurrengo taulan :

Izarraren masa	Denbora
20 bider Eguzkiarena	8. 10 urte
3 " "	5. 10 "
1 " "	10 "
0,6 " "	10 "
0,2 " "	10 "

Sekuentzia nagusian, energiaren egintzaren erritmoa indar grabitazionala konpentsatzeko nahikoa da. Beraz, izarraren diametroa eta argitasuna ez dira aldatzen ; eta gainera, biak masaren menpean daude.

Orain, izarraren ezaugarriak garrantzitsuena masa dela esan dezakegu : masak - presio grabitazionala mugatzen du; presioak barruko temperatura mugatzen du; tenperatura erreakzio nuklearraren erritmoa, honek barruko presioa eta argitasuna mugatzen ditu. Hau da, azken batez, masak mugatzen du izarraren izakera.

Izar gehienek Eguzkiak daukan masa baino zenbait gutxiago daukate, baina ez askoz gutxiago : txikiak $\frac{1}{20} \div \frac{1}{50} M_{\odot}$ tamainukoak dira.

Izarrak duen masa $M < \frac{1}{50} M_{\odot}$ bada, ezin du dirdira egin. Kasu honetan izarra konpresioagatik berotzen da bakarrik eta konprimitzen ari den bitartean, izarrak energia emititzen du; baina laster itzaltzen da.

Hala ere, masa nahikoa badu, erreakzio nuklearra hasteko tenperatura egokira heltzen da eta bere dirdira masaren menpean dago. Gainera, argitasuna masaren berreketa handi baten arauera aldatzen da adibidez, izarraren masa $10 M_{\odot}$ edo $20 M_{\odot}$ bada argitasuna ez da Eguzkiarena baino 10 edo 20 bider handiagoa, baizik eta 500, 1.000. 5.000 edo 50.000 bider handiago ere izan daiteke.

Hemen paradoxa bat sortzen da : izar handiek bizi laburragoak dituztela. Eta egia da, zeren, masa handia izanik, argitasuna oso handia izango baita eta honela energia asko emititzen baitute eta energia arinki gastatzen baita (ikus aurreko taula).

Dena den, esandakoa alde batetara utziz, helioarekin segituko dugu. Helioa izarraren barruan pilatzen da ereakzionatzen ez duen "errauts" bat bezala. Helio honek gero eta bolumen handiagoa betetzen du, eta izarraren barrualdean geratzen da; ez dago konbekzionik eta kanpoko geruzak ez dira nahasten. Errealki interesgarria da, energiaren egintza eta izarraren gainalderainoko garraioa oso prozesu astitsuenak direla pentsatzea.

Adibidez, gaur egun ikusten dugun argia, Eguzkiaren barruan duela milioi bat urte askatutako energiaren ondorena da (gutxi gorabehera). Eguzkia opakoa da eta beraren barnean ez dago ia konbekzionik. Argia sortuko duen energia gainalderaino heltzeko prozesua, hauxe izango da : geruza bakoitzean "erradioazio-absortzio" prozesuen errepikatze etengabea.

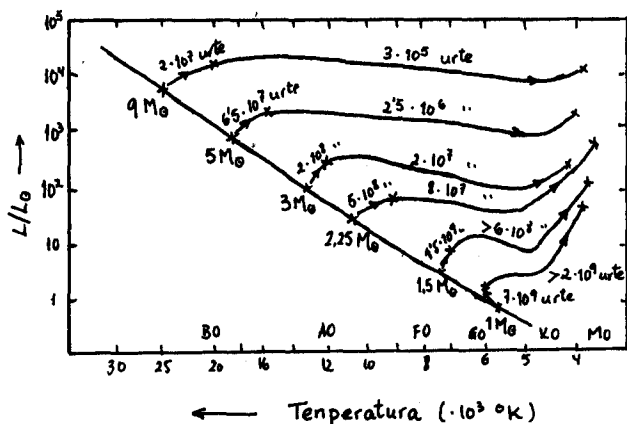
Helioa barruan geratzen da eta ez du energiari ematen. Beraz energia ematen duen geruza, apurka urruntzen da barrutik, oskol antzeko bat eginez.

Azal honek, gainaldera heltzean, bere energia, zuzenki, ingurualdean dauden gasei bidaltzen die.

Gas hauk expantsionatu egiten dira eta honen arauera izarraren diametroa arinki handitzen da. Beraz, hori gertatzean, izarra hoztuz doa; eta tenperatura aldatzean, kolorea ere aldatu egingo da; eta urdin edo hori edo zuri bazen, gorri bihurtzen da denborarekin.

Hau denau, hots, honelako izarren eboluzioa, grafiko honen bidez ulertuko dugu.

Grafiko honetan izarrak digante gorri batetan bihurtzen diren arte zenbat den-bora pasatzen den eta jarraitzen diren bideak zeintzu diren ikusiko dugu. Hasieran, izarrak sekuentzia nagusian daude; hurrengo puntuan, hidrogenoa izarraren barrutik egozten da eta hirugarrenean, helioa izekitzen hasten da.



Izar honi "DIGANTE GORRIA" deritzogu. Adibide batzu, Betelgeuse, Antares, Rigel eta abar izan daitezke.

Izarra hoztean, energiaren egintza moteldu egiten da eta orduan, indar garbitazio-nalak, iniziatiba hartuz, beste konpresio bat eragiten du. Barruko temperatura 100 - milioi gradutaraino heltzen da eta temperatura honekin, lehen "errautsa" zer helioa, orain erregarria bihurtzen da eta helioaren arteko aldarapena gaindituz, fusio nuklearrereko erreakzioak ditu. Honela, helioarekin lehenik, boroa eta gero karbonoa lortzen ditugu.

Karbonoa izarraren barruan pilatzen da, inguruan heliozko geruza duelarik; ondoan hidrogenozko beste geruza bat dago (geruza honen barnean hidrogenoa fusionatu egiten da

He emanez, eta helio hau alboan dagoen geruzara joaten da). Azken geruza ere, gainaldekoa, hidrogenozkoa da, baina hidrogeno hau ez da fusionatzen; azken hau bolumen - gehiena betetzen duena da.

Izarra Eguzkia baino askoz handiagoa ez bada ($M < 1,2 M_{\odot}$), fase honetan geratzen da; karbonoa sortzen da eta beharbada astunagoa den elementuren bat. Adibidez, helio eta karbono atomoak erreakzionatuz, oxigeno atomo bat emanik; eta era berean, S eta Si lor daitezke. Baina, normalki, karbonoa bakarrik egiten da.

Fase hau bukatzean, izar honek, tenperatura harditzeko, masa nahikoa ez duenez gero, beste konpresio bat sortzen da. Baina barnean ez dago energi iturririk; beraz, izarra kon^a primitzen, tenperatura handituz doa eta izarra zuri bihurtzen da.

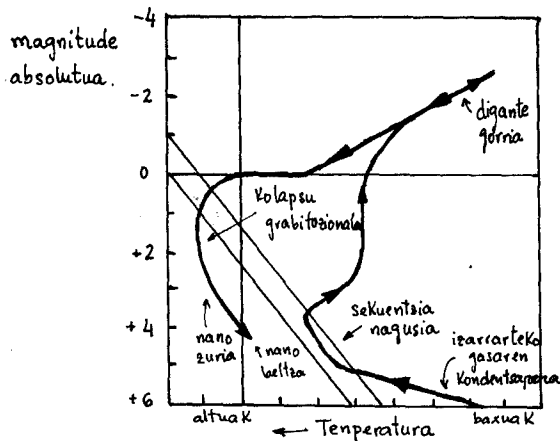
Honela sortzen dira "NANO ZURIAK" deritzegun izarrak.

Orain izarraren masa Eguzkiarena bezalakoa eta diametroa Lurrarena bezalakoa denez, nano zurien dentsitatea oso handia izan daiteke (Gutxi gorabehera $\sim 50 \text{ ton/cm}^3$).

Izar honek ez du barneko energi iturritik; beraz,, zenbait milioi urteren barruan, energia bukatzean, izarra nano beltz bezala geratzen da ikustezina eta guztiz trinko (gorputz solido baten gisa).

Hau izan zen (nano zuriak) teleskopioaren bidez lehenik aurkitu zen izar-mota ebo luzionatua. Adibide bezala, Sirius-B aipa daiteke.

Izar-mota`hauen eboluzioa grafiko honen bidez adierazten dugu.

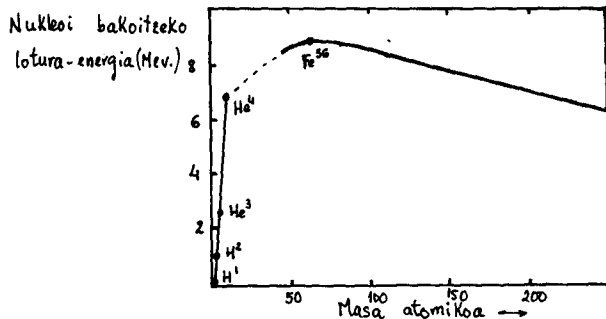


Orain, demagun izarra Eguzkia baino handiagoa dela. Heliok eragiten duen energiak eta gero konpresioak karbonoa fusioa erazten dute, oxigeno, Si, S eta abar sortuz, eta horrela burdinara (Fe 56) heldu arte, gero eta elementu astunagoak emanez. Gainera, - konpresioak temperatura handitzen du (10 K baino altuago).

Temperatura hau burdina lortzeko nahikoa da.

Elementu honek (Fe) garrantzi berezia du, zeren pisu atomiko txikiago daukaten elementuen fusioak energia ematen baitu eta burdinatik aurrera nukleoa fusionatzeko eta zenbaki atomiko handiagoa duten elementuak lortzeko, energia gehitu egin behar baita. Beraz, izarra Fe-56 egiten ari denean, beraren energi iturriak agurtu egiten dira. Momentu honetan izarraren zentruan burdina dago eta inguruko geruzetan Si, S, O, C, He eta H.

Hau denau, grafiko honekin ulertuko da :



Izarra energiaren eragite-mugaraino iritsi da, eta oraindik, indar grabitazionala beraren masa konprimitzen ari da. Izarrak, indar grabitazionala garaitzeko energia nahikoa ez duenean, barrurantz amildu egiten da eta konpresio oso handia jasaten du; honela, tenperaturak 3.000 milioi graduak gaindi ditzake. Temperatura handi honekin burdina desintegratu egiten da eta nukleo bakoitzetik heliozko 14 nukleo sortzen dira.

Sortzen den helioa, erregarria da eta beste geruzetan dauden elementuak ere (burdinak baino pisu atomiko txikiago dutenak) tenperatura honekin erregarriak dira. Eta, adibidez, oxigenozko masa handi batek (Eguzkiak duena bezalakoa adibidez) bi segundutan erre-akzionatzen du; beraz, izarra lehertu egiten da.

Interesgarria da gauza bat aipatzea : burdina desintegratzean, neutrino asko ematen direla. Neutrinoek ez dute erreakziorik egiten materiarekin; haien pausaguneko masa zero da; ez dute karga elektrikorik eta izarraren masa guztia errazki zeharka dezakete. - Beraz, erreakzio horietan sortzen diren neutrinoek, izarra zeharkatzen dute eta beraiekin batera energia daramate.

Izarrak, burdina fusionatzeko energia galdu duenean, bat-batean kolapsu bat jasaten du (globo bat bezala ziztatzen dugunean).

Izarraren zentruan konpresio handia gertatzen da eta errebote bat, talka-uhin bat. Uhin honek masaren 90%-a botatzen du espaziora (leherketa honi supernova deritzogu). Hau da, gasezko hodei bat tenperatura handiarekin eta itzelezko abiaduraz izarretik alde egiten du izarraren nukleoa agerian utziz.

Nukleo leherketa eta inplosioagatik oso konprimituta dago eta oraingo izarrak 20 - kilometrotako esfera bat betetzen du : beraz, dentsitatea 10^{15} gr/cm³ izan daiteke (nukleo atomiko batena bezala). Ia ez dago hutsunerik atomoen barruan.

Presioagatik elektroiak eta protoiak fusionatu egiten dira neutroiak emanez; horregatik, izar honi NEUTROI-IZARRA deritzogu.

Izar honek, hasierako momentu angeluarra kontserbatu behar du (izarra sistema isolatu bat bada), eta orduan, adibidez, hilero bira bat eman bazuen (Eguzkiak bezala) orain, erradioa hain txikia izanik, 30 bira emango ditu segundu bakoitzean (hori formula hau aplikatuz frogatzen da; $v.M.R. = Kte$).

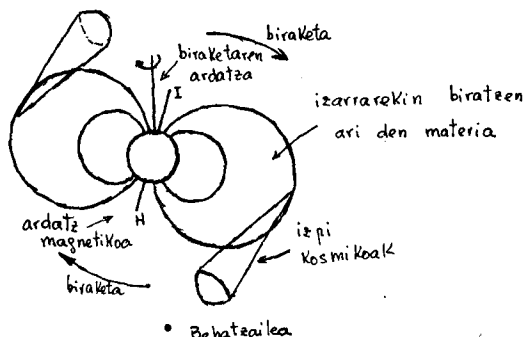
Eremu magnetikoa ere aldatuko da; izarra lehertu egin zenean ezin bazuen eremu magnetikoa izarretik kanpora bota, gainaldeko eremu hau oso handia izango da.

Eguzkiaren eremu magnetikoa beraren orbanen ondoan 10^3 gauss-etakoa da, gutxi gora-behera, eta Lurrarena $\frac{1}{2}$ gauss-etakoa; hala ere, neutroi-izarrarena 10^{12} gauss-etakoa (bilioi bat gauss) izan daiteke. Hau da, izarren gainaldea zeharkatzen duen eremu magnetikoaren lerroen fluxua ez da aldatzen, beraz $H.R = Kte$; eta R hain txikia izanik H oso handia izango da.

Izar honek partikulen azeleragailu baten papera jokatu du (abiadura angeluarra eta eremu magnetikoa hain handiak direlako).

Hain abiadura handiz biratzen ari den esfera honek, karga elektrikoa daukaten partikula guztiak, hurbilean badaude, harrapatu egingo ditu; eta gero, horik orbita espiraletan azeleratuak izango dira. Partikula hauen abiadura argiaren abiaduraren ingurura heldzean, espaziora jaurtikitzen dira (izpi kosmikoak).

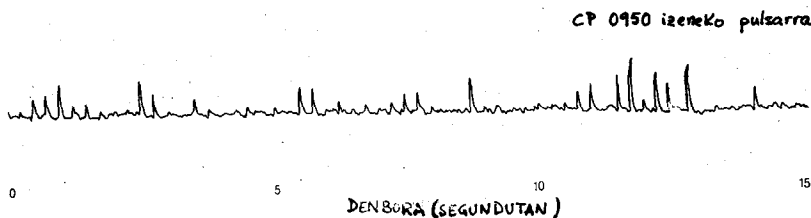
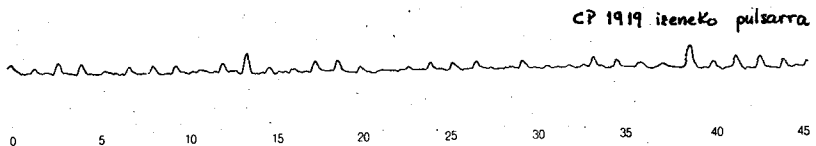
Beste gauza bat gerta daiteke, biraketaren ardatza eta ardatz magnetikoa berdinak ez badira: erradiakzioa plano batetan biltzen dela eta normalki, plano hau eta Lurraren orbitaren planoak ez dira kointziditzen. Beraz, biraketaren ardatzak egiten duena, ze da: bira bakoitzean erradiakzioa Lurrerantz abiatzen dela (faro baten gisa)



Kausa honegatik distirak bakarrik ikusten ditugu, hau da, izarrak pultsuak emititzen ditu.

Astrofisikalariek izar hauk aurkitu zituztenean (1.967. urtean), isilik geratu ziren, zeren eta leku horretan goimailako bizi inteligentea zegoela pentsatu baizuten.

Honelakoak dira pultsuak :



Izar hauk PULSARRAK (pulsating stars, ingelesetik) deitzen dira.

Izar hauen periodoa apurka-apurka handituz doa, eta azkenean geldi geratuko dela uste da; baina egun batzutan periodoa 10 segundu bakarrik handitzen da. Dena den, orain arte ez da ikusi geldirik dagoen pulsarrik.

Neutroi-izarraren masa $1,4 M_{\odot}$ baino handiagoa bada, indar grabitazionalak izarra konprimitu egiten du berriz eta diametroa txikitu egiten da, agian 10 Km edo pixka bat gehiago.

Izar honetan gauza harrigarri bat gertatuko da.

Hori ikusteko, iheste-abiaduraren formula lor dezagun (hau da infinituraino heltzeko izarretik botariko gorputz batek behar duen abiadura).

Energia osoa positiboa izan beharko da (edo gutxienez nulua), beraz energia zine-
tikoa grabitazionala baino handiagoa (edo berdina) izango da.

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 \geq G \cdot \frac{M \cdot m}{R}$$

$\left\{ \begin{array}{l} m : \text{iheste-abiadura kalkulatu nahi deneko gorputzaren masa} \\ M : \text{izarraren masa} \\ R : \text{izarraren erradioa} \end{array} \right.$

Azkenean hau geratuko zaigu :

$$v = \sqrt{\frac{2G \cdot M}{R}}$$

Demagun $M = 6,7 \cdot 10^{30}$ kgr ($3,4 M_{\odot}$) eta $R = 10$ km direla; orduan lortzen dugun iheste-
abiadura argiaren abiadura baino handiagoa izango da, eta dakigun bezala argiaren abiadura
iritsi ezina den muga bat da partikula guztientzat, haien pausaguneko masa ez-zero bada. -
Teorikoki ba daude argia baino azkarragoak diren partikula batzu (takbiak direlakoak);
baina hauk ez zaizkigu interesatzen haien masa eta luzera imaginarioak baitira.

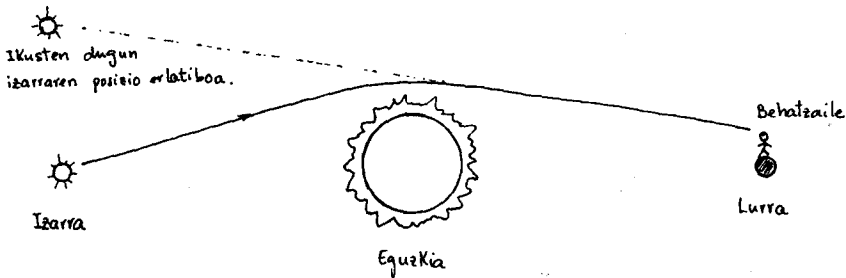
ez argia

Orduan ez partikulak ^{ez} dira irtengo izarretik kanpora, eta argia irteten ez denez,
izarra ikustezina izango da.

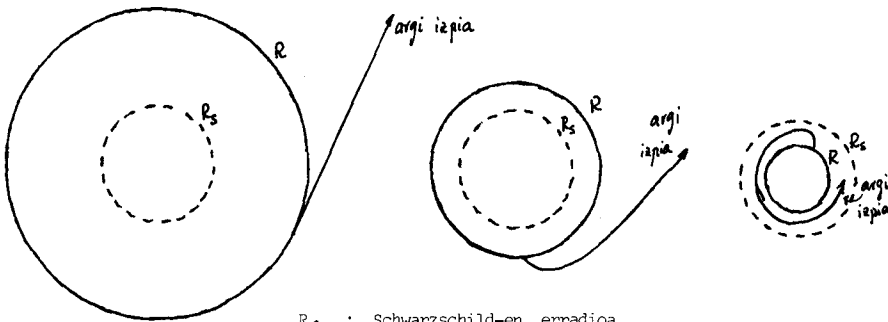
Izarraren erradioaren ingurutik dabiltzan partikulak, izarraren barruan eroriko dira
eta ez dira inoiz bertatik irtengo; honela, izarraren masa handituz joango da eta, beraz,
erradioa ere handiagoa izango da, hau da, izarra gero eta indartsuagoa izango da.

Erradio berezi honi Swartzchild-en erradioa deritzogu, eta hau xe da :

Izar berezi honen adierazpena Newton-en teoriaren bidez lortu dugu, baina Einstein-en
erlatibitatearen teoria orokorraren bidez lor dezakegu. Einsteinek zioen, argia gorputz
baten ondoan pasatzean (gorputz honen grabitatea handia bada), gauza arraro bat gerta-
tuko da : argiaren ibilbidea kurbatu egiten dela. Ikus irudia :



Zulo beltzen grabitatea oso handia da; beraz argiak ezin du zulo beltzetik irten.
Hurrengo irudian zulo beltzetan argiari gertatzen zaiona adierazten da eskematikoki.



R_s : Schwarzschild-en erradioa

R : Izarraren erradioa

Einstein-en teoriaren bidez lortzen dugun ondorioa eta Newtonenarekin lortutakoa berdinak dira.

Astrofisikariek uste dutenez, unibertsoaren masaren 90%-a zulo beltzetan aurkitzen da. Han erortzen diren partikula guztiak, ez dira inolaz bertatik irtengo, eta dakigunez, ez bakarrik iheste-abiadura lortezina delako baizik eta teoria orokorraren arauera eta espazio-denboraren estruktura kontutan hartuz, zulotik irtetea iraganera itzultzea izango litzaitekeelako (zeren eremu grabitatorio intentsu batetan denbora atzeratu egiten baita).

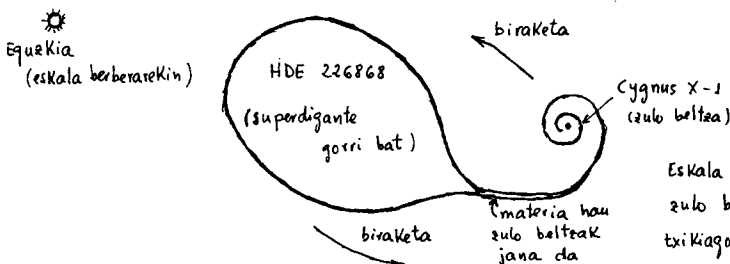
Demagun astronautaren bat zulo beltz batetaraino abiatzen dela eta segundu bakoitzean seinale bat emititzen duela.

Zulo beltzetik urrun badago ez da ezer gertatzen, baina hurbiltzen zaionean, Lurrean hartzen ditugun seinaleak gero eta maiztasun txikiagorekin etorriko zaizkigu, nahiz eta astronautak emititzen dituen seinaleak ez diren aldatzen, berarekiko noski, ~~Honetaz~~ ez dugu ezer gahiago esango).

Orain galdera bar datorkigu : Nora ote doaz zulo beltzen barruan erortzen diren partikulak? Egia esan ez dakigu ezer hortaz. Astrofisikariak orain ari dira lanean horretan. Fisikari batzuren eritziz, zulo beltzak materiaz beteta daude (superkonprimuta noski) baina beste batzuren ustean, partikula hark superespazioara (hiperespazioa) doaz; han "denbora" hitzak ez du zentzurik, Baina hau zientzia fikzioa da eta ez da erraz frogatuko. - Fisikari hauen ustean, unibertsoa kurboa izanik, zulo beltzak tunel batzuren sarrerak dira eta handik, superespaziotik, unibertsoa itzultzen dira berriro, baina beste leku batetan. Tunel hauen irteerak "zulo zuriak" izan daitezke (oraindik ez da horrelakorik aurkitu).

Zer izango ote dira zulo zuriak? Beharbada materi-iturriak; baina hau frogatu gabe dago eta hobeto izango da astrofisikariei lana uztea.

Eta honekin bukatzeko, adibide bat aipatuko dugu : Cygnus X - 1, HDE 226868 delako izarraren alboan dagoen objektu ikustezina.



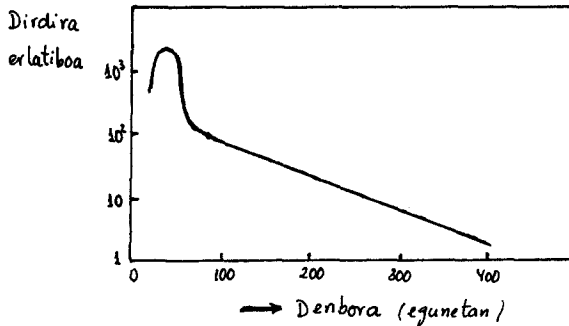
Eskala Kontutan hartuz zulo beltza 3.000 bider txikiagoa izan behar da.

HDE 226868 guztiz distorsionatuta dago eta kausa haonegatik hasi ziren astrofisika-riak horretaz lanean, eta zulo beltzen efektuak HDE -an aztertzean, konklusio hau ateratu zuten: zulo beltz bat dagoela, HDE superdigantearen masa irentsiz.

Izarrek neutroi-izar edo zulo beltz batetan bihurtzeko masa egokia ez badu, beste bide bat segituko du heriotzerarte, baina fenomeno hori ez da hain ikusgarria (astertua izan da).

Izarren eboluzioarekin bukatzeko, supernovak (latinetik dator :nova = berria; hau da izar berri bat agertzen denean) aztertuko ditugu (aipatuak izan dira lehen). Supernova - izar baten leherketari deritzogu.

Izar hauek Eguzkiak baino 1.000 milioi aldiz argitasun handiagorekin emiti dezakete. Lehen egunetan galaxia ^{luzerak} emititzen duena baino gehiago emititzen dute.

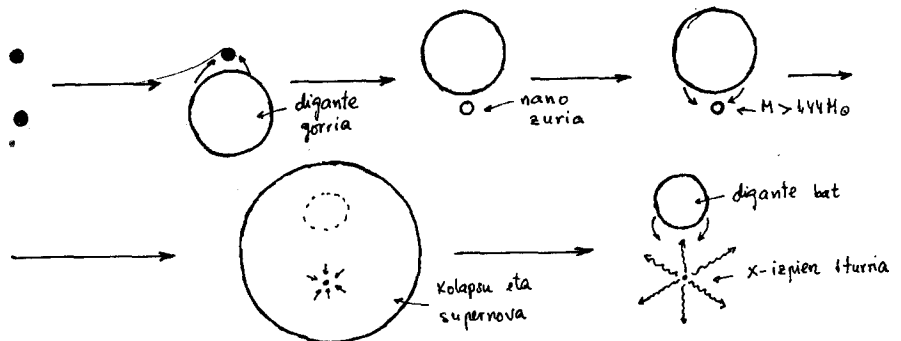


Leherketa hain izugarria ez bada, izar hauei "novak" deritzogu. Haien argitasuna Eguzkiak duena baino 100.000 aldiz handiagoa izan daiteke.

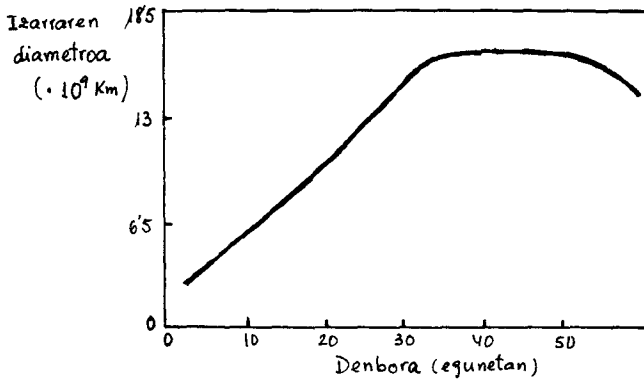
Leherketa bakoitzak izarren masaren 0,1%-a botatzen du espaziora; beraz, masaren soberakina botatzeko, beste leherketa batzuek jarraikiko dira eta azkenean nano zuria batetan bihurtuko da.

Kasu hauk (supernovak) izar bikoitzetan askotan gertatzen dira.

Izar bikoitza osotzen duten bi izarretako bat digante gorri batetan bihurtzen da. Besteak lehenengoaren masa zati bat hartzen du eta lehena nano zuria batetan bihurtzen denean, beste izarrean dagoen masaren zati bat hartzen du. Horrela $M > 1,44 M_{\odot}$ denean, bigarren izarra izar digante baten gisa geratzen da eta lehena X-izpien iturri baten gisa.



Supernova baten tamainuaren aldaketa, grafiko honen bidez adierazten dugu.

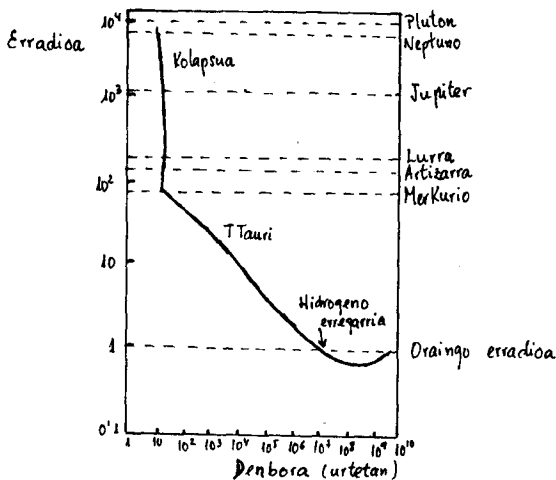


Leherketa hauk oso garrantzizkoak dira. Esan genuen bezala, unibertsoaren hasieran H eta He zeuden bakarrik eta leherketa hauen bidez beharrezkoak diren elementuak lortzen ditugu: nitrogenoa, karbonoa eta abar.

Kapitulu honekin bukatzeko adibide bat aztertuko dugu:

ZER GERTATUKO ZAIO EGUZKIARI?

Hasteko, Eguzkiaren jaiotza, grafiko honen bidez adieraziko dugu:



Eguzkiaren adina 5.000 milioi urtetakoa da, eta seguraski, dagoen bezala jarraitu da beste 5.000 milioi urtetan.

Denbora hau pasa ondoren, Eguzkia digante gorri batetan bihurtuko da : Hau da, beraren diametroa handituz joango da Merkurio eta Artizarraren orbitetaraino heldu arte; eta beharbada, Lurra ere Eguzkiaren barruan geratuko da. Eta barruan geratzen ez bagara ere, berdin da, zeren Eguzkiaren energiaren askapena hain handia izanik, hurbile an dauden planetak lehertu egingo baitira.

Hau ez da egun batzutan gertatuko, baina hasten denean, ezingo da gelditu.

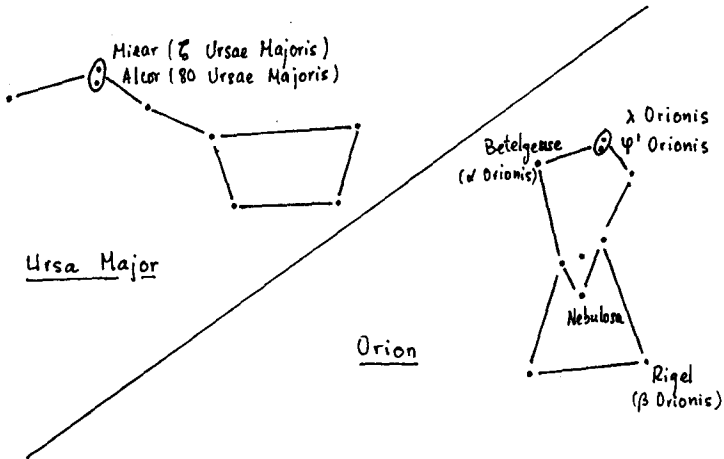
Eta Koranak (liburu sakratuak) esaten duena, egia bihurtuko da : "Azken judizioaren egunean Eguzkiak Lurra kiskaltuko du lantza eta erdiko distantziatik" (Ba dugu prozesu hau aurreratzeko metodo bat : izar txiki batzu leher eraziz, hau da, H-lehergailuak - lehertuz)

Arinago gerta daitekeen beste posibilitate bat ere ba dago : Eguzkia lehertzen bada (hau da, supernova bat), orduan minutu gutxitan desagertuko ginateke. Eta supernova Eguzki sistemaren inguruetan gertatzen bada, beharbada gauza berbera gertatuko da, zeren supernovatik datozkigun -izpiek efektu biologiko garrantzitsuak egingo baitezkitute.

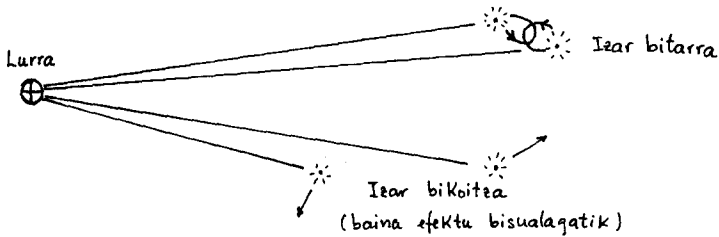
Beharbada honela desagertu ziren dinosauroak.

IZAR BIKOITZAK.

Izar guztien artean ia erdiek sistema bikoitzak edo konposatuak osotzen dituzte. Bi izar elkarretik hurbil daudenean izar bikoitz bat osotzen dutela esaten da. Adibidez; Ursae Majoris-en eta Orionis-en, esate baterako, izar bikoitzak daude.



Izatez, bakarrik interesatzen zaizkigu benetako izar bikoitzak hau da, beren masa-zentruaren inguruan biratzen ari direnak. Izar hauei bitarrak deritzugu. Besteak ez - zaizkigu interesatzen, benetako izar bikoitzak ez baitira. Ikus irudia.



Haien masa-zentrua barizentrua deitzen da.

Izarren higidura orbitalak aztertuz, izarrek izar bitar bat osotzen dutela kontura tzen bagara, orduan sistema honi sistema bitar bisuala deritzogu

BITAR ESPEKTROSKOPIKOAK

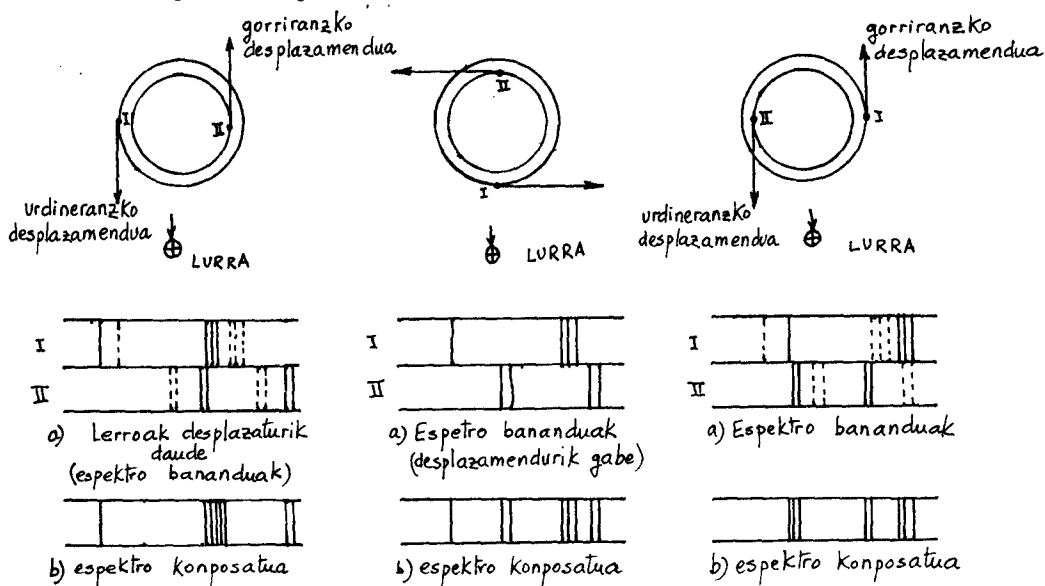
Kasu batzutan sistema bitarra osotzen duten izarrak elkarretik oso hurbil daude edo izarrak oso urrun daude guregandik eta orduan, itxuraz, biak batera daude eta ezin dira haien higidurak ondo ikusi.

Kasu honetan espektroa analisatu dakigu izar bikoitzak direla eta honegatik sistema bitar espektroskopikoa deritzogu.

Izarrek beren masa-zentruaren inguruan biratzen ari dira eta kausa honegatik, Lurretik urruntzen ari deneko argiaren espektroa urdinerantz mugituta egongo da eta hurbiltzen ari denekoa gorriantantz.

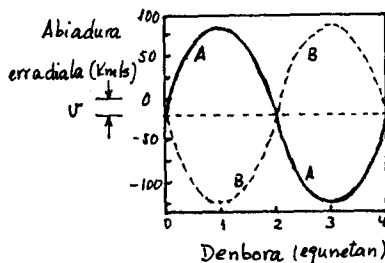
Demagun izarren ibilbideak, masa-zentruaren inguruan, zirkularrak direla. Lerro puntuztatutak laborategietan lortzen direnak dira (mugitu gabeak) eta etengabeko lerroak, izarrek ikusiz lortzen direnak dira (mugituta daude). Gauza bat suposatzen dugu: Izarrek osotzen duten planoak eta Lurrean dagoen behatzailearen planoak berberak direla.

Hauxe geratzen zaigu:



Beraz, bi izarren abiadura erradialen aldaketagatik ezagutzen dira sistema bitar espektroskopikoak.

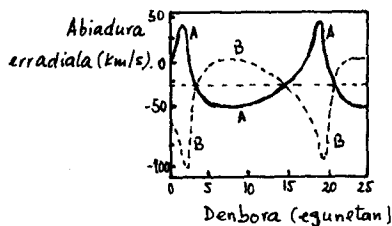
Adibidez, B-Aurigae-en kasuan hauxe lortzen dugu:



Ibilbideak ia zirkularra dira eta biraren periodoa 4 egunetakoa da.

v_r : Sistema osoaren abiadura Lurrarekiko.

Baina θ -Aquilae delakoaren kasuan, izarren ibilbideak eliptikoak dira. Orduan hauxe geratzen da:



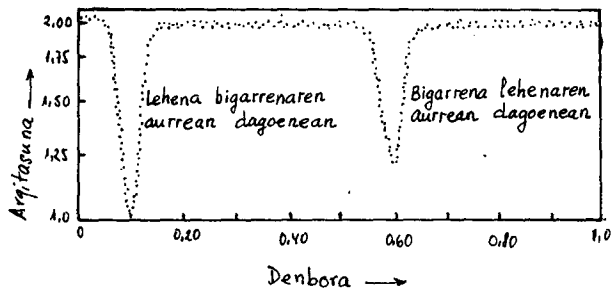
Biraren periodoa 17 egunetakoa da.

SISTEMA BITAR EKLIPSATZAILEAK

Biraketaren planoa eta behatzailearen planoa berbera direnean, kasu berezi bat da zeren eta orduan izar baten atzean bestea ezkuta baitaiteke. Honelako sistemari bitar eklipsatzaileak deritzogu. Abiadura erradiala aldatu egingo da, bai, baina horrez gainera, dirdira erlatiboa ere alda daiteke.

Aldaketa hau neurtu egin daiteke eta honela argi-kurba izenekoak lor ditzakegu.

Hauxe da WW Aurigae-rena

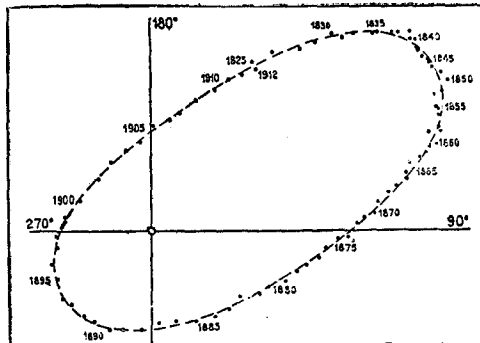


Antzekoa da Algol deritzon izarra (B-Persei). Betidanik famatua : bi egun eta - hogeitabat ordu bakoitzean dirdiraren magnitude bat galtzen du (itzaltzen da) eta gero denbora berean galdutako dirdira errekupe ratzen du.

Beta-Persei "Deabruaren izarra" izenarekin ezaguna izan zen (Perseo eta Medusa - famatua erlazonaturik daude; Perseok Medusa hil zuen). Eta Algolek arabieraz "banpiroa" esan nahi du. Ikusten denez, mitologiak ba du zerikusirik zientziarekin.

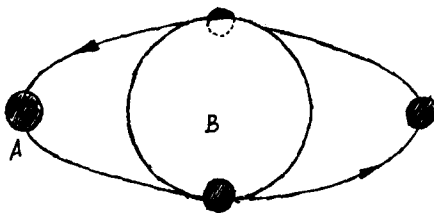
Orain sistema bitar eklipsatzaileen erradioaren neurketa aztertuko dugu. Hau baino lehen, gauza bat aipatuko dugu : Normalki, sistema bitar baten higidura hobeto adierazteko, higidura "erlatiboa" marrazten dugula. Hau da, izarretako bat geldi dago eta bestea beraren inguruan biratzen ari da.

Hau xe prezeksi :

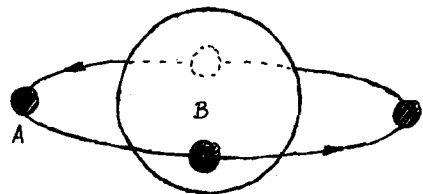


70 Ophiuchi-ren orbita erlatiboa . Periodoa = 87 urte

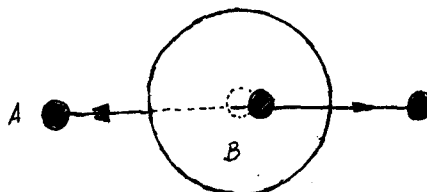
Sistema bitarraren orbita ikuspenaren lerroarekiko makurtuta dago eta horren arau- era, eklipseak hiru eratakoak izan daitezke. Ikus irudiak :



Eklipse partziala

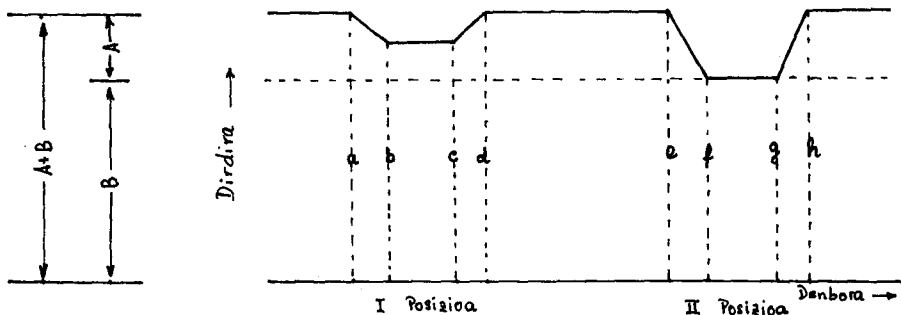


Eklipse osoa



Eklipse zentrala

Denagun eklipse zentral bat dugula. Orain, izarren argitasunak eta erradioak eza-
gunak badira, argi-kurba teorikoki lor dezakegu. Ondorioa, hauxe da :



I Posizioan, A delako izarra (hau da, izar txikiena) B delako izarren aurrean dago; eta II Posizioan, A izarra B izarren atzean dago. Beste aldetik, a puntuaren ezkerrean eta d eta e puntuaren artean, izarrak banandurik daude. Beste puntuetan, bi izarretako bat eklipsatuta dago (osoki edo partzialki).

Orduan a eta e puntuaren arteko orbita erlatiboaren periodoaren erdia da; beste aldetik, a eta b (edo e eta d eta abar) puntuaren arteko denbora eta A delako izarren bere diametroak duen luzera inguratuzko ematen duen denbora, berdina da. Beraz :

$$\frac{t(b) - t(a)}{2 [t(e) - t(a)]} = \frac{A\text{-ren diametroa}}{\text{Orbita erlatiboaren luzera}}$$

eta hauxe geratzen zaigu :

$$t(b) - t(a) = 2 R_A$$

edo modu berean :

$$t(d) - t(c) = 2 R_B$$

B delako izarra hartzen badugu :

$$t(c) - t(a) = t(d) - t(b) = 2 R_B$$

Hemen, orbita erlatiboa zirkularra dela eta izarren esferikoak direla suposatzen behar dugu.

IZARRARTEKO INGURUNEA

Orain arte, planetez eta izarrez hitz egitean, unibertsoan dagoen materia kondensatuari dagokiona ikasi dugu. Unibertsoan ba daude izarrena baino dentsitate txikiagoa daukaten materiak, Eguzkitik datozkigun gasak edo izarrak osatu zituzten gasak adibidez.

Izarren posizioak hobeto ulertzeko, izarren artean dagoen materia hori aztertu beharko dugu.

AZTERKETA OPTIKOAK

Teleskopo handiekin, XVIII. eta XIX. mendeetan, objektu oso handiak aurkitu zituzten zeruan zehar; haien diametro angeluarrak neurgarriak ziren (ez izarrenak bezala): objektu hauk NEBULOSAK deitzen dira. Haietako batzu, izarrez betetako multzoak izan daitezke, eta ezin ditugu haien izarrak bakoiztu; edo modu berean, galaxiak era izan daitezke, (Andromeda adibidez). Nebulosa hauk argitsuak dira eta hau normala da, haien osagaiak izarrak izanik.

Hala ere, ba daude "emisio-nebulosak" ere, eta hauk materia hedatu eta argitsuzko hodeiak dira. Hauen arteko bi Orionis Nebulosa Handia eta M 20 (Messier-en Katalogoan 20 zenbakia du nebulosa honek) izan daitezke.

Beste aldetik, ba daude absortziozko izararteko materialezko hodeiak, "nebulosa ilunak" deituak; hauek beren atzean dituzten izarren argia itzaltzen dute. Adibidez, gure galaxia aztertzean, alderdi argitsu bat ikusten da: "Frantses Bidea". Lerro argitsu hau izarrez osotuta dago, baina lerro honetan alderdi ilunak ere ba daude.

Zer gertatzen da horietan? Izar guxiago ote daude? Ez, izar horietatik datorri gun argia izararteko materiak hartzen du; nebulosa ilunak daudelako da. Adibide eza-gun bat "Zaldiaren Burua" (IC 434 . Index Catalogue) deritzon nebulosa (Orionis Konstelazioan) .

Guzti honekin bi galdera datozkigu. Zergatik izan daiteke materia hedatu hori - argitsu edo ilun?. Zeintzu dira nebulosaren konposaketa kimikoa eta egoera fisikoa?.

Lehen galderaren erantzuna, errazki eman daiteke. Izararteko materia hori izar batzuren ondoan badago, izarren emisioaren kausaz berotu egiten da, eta gero berezi batekin emitituko du. Uhin-luzera hori nebulosaren osagaiei dagokie. Gainera, izarretatik argia isladatu egiten da kanpoko koroan argi zodiakala emanez; honi "isladapen-nebulosa" deritzogu. Honela, izararteko hodeiaren materia, hotza eta absorbatzailea dela esan daiteke, izarren ondoan dagoena izan ezik.

Bigarren galderaren erantzuna zailagoa da. Konposaketa kimikoa nahasketa bat da: gasak eta partikula txikiak (agian grafitoa, metaleak, izotza eta abar). Azken hauei "hautsa" deritzegu.

Orain gasak aztertuko ditugu eta gero hautsa (partikula solidoak).

GASAK

Oso erraza da gasak identifikatzea. Horretarako, absortziozko espektroa bilatu behar dugu. Dena den, kontuz ibili behar dugu, espektro hau eta izarren argiaren espektroa ez nahasteko.

Nahastea ekiditea erraza da, zeren izarrek abiadura batekin desplazatzen baitira eta izararteko gasak beste batekin; beraz, espektroetan aurkitzen ditugun Dopplerren desplazamenduak desberdinak dira.

Izararteko hodeiaren osagai negusiak izarretan dauden elementuak dira eta molekula batzu ere ba daude, adibidez CN. Desberdintasun handiena zera da: litio, boro eta berilioren proportzioak handiagoak direla (izarretan, elementu horik desagertu egiten dira izarren bizitzaren hasieran).

PARTIKULA SOLIDOAK

Partikula hauen identifikazioa zailagoa da, ez baitira espektroetan agertzen; orduan, nola dakigu partikula horik daudela?. Partikula hauek argia hedatzen dute eta honela - izarretatik datorkigun fluxua handitzen dute. Infragorriaren ingurua aztertzean, solidoen emisioa agerian dago: adibidez Si O delakoarena. Argi ikuskorrekin, ostera, emisioa hau ez da detektatzen.

Gainera, partikula hauek izarretatik datorren argi-kantitatea urritzen dute. Urripen hau konposaketa kimikoaren eta hodeiaren luzera eta dentsitatearen menpean dago, baina ez uhin-luzeraren menpean. Honela, adibidez, fotoi urdinak absorbitu egiten dira gorriak - bezala, baina argiak pixka bat gorriagoa dirudi. Hori, izararteko gorritapena deritzogu.

Orduan partikula solidoak ba daude, baina zeintzu diren esatea arrisku handikoa da (beharbada grafito, metaleak eta abar).

IRRATI - AZTERKETAK

Dakigunez, irratiari dagozkion uhin luzerak 0,1 mm-tik gorakoak dira (irrati-uhin laburrak, zenbait metroarako tartean daude); horregatik, izararteko ingurunea zeharka - tzean, ez dira aldatzen. Kausa honegatik irrati-azterketak azterketa optikoak baino - hobeak edo zehatzagoak dira.

Gainera, atomo eta molekulen espektroek ba dituzte lerro batzu, irratiaren uhin-luzerari dagokion alderdian. Beraz, azterketa espektralaren metodoak ere erabilgarriak dira hemen.

HIDROGENO IONIZATUZKO (H II) ALDERDIAK

Lehen objektu aztertuak, emisio-nebulosak izan ziren, hau da, materia berotua - (alboan dauden izarren bidez). Haien orrati-uhinen emisioak aztertzean, etengabeko emisi a (bremsstrahlung efektuagatik; hau da, elektroi askatuak ioi baten ondoan pasatzean, erradiazioa eta λ guztietako fotoiak emititzen dira) eta emisio-lerroak agerian geratu ziren.

Lerro hauk hidrogenoari dagozkio, baina hidrogeno honen elektroiaren energia nukleorena baino handiagoa da eta, beraz, elektroiak nukleoa utz dezake. Ikusten denez, izar baten inguruan dagoen materia, oso berotuta dago (hidrogenoa ia guztiz ionizatuta baitago). Temperaturak $8.000 \div 12.000$ °K gradutakoak dira. Alderdi honi H II deritzogu.

Materia hau ez dago ondo aztertuta; beraren izakera eta gas normalena desberdinak dira, zeren materia honen dentsitatea oso txikia baita ($10^2 \div 10^4$ partikula zentimetro kubiko bakoitzean); eta honela baldintza arruntetan gertagaitzak diren erradiazio-prozesu batzu sortzen dira.

Gainera, materiaren barruko higidurak kaotikoak dira eta abiadurak soinuarena baino handiagoak; eta, bestalde, talka-uhin hauen aerodinamika ez da ondo ezagutzen.

HIDROGENO NEUTROZKO (H I) ALDERDIAK.

Izarrarteko materia, izar baten ondoan ez badago, hotz egongo da eta, beraz, hidrogenoa neutro geratuko da.

Alderdi hauei H I alderdiak edo hidrogeno neutrozko alderdiak deritzugu. λ -optikoetan ez dira emisio-lerroak agertzen; ezaugarri nagusia izarretatik argiaren absorptzioa da. Egoera guztiz desberdina da irrati uhin-luzeratan; partikula solidoek ez dute absorptziorik egiten temperatura hain baxu denean, baina hidrogenozko atomoek, nahiz eta tenperatura $10 \div 100$ °K gradutakoa izan, 21 zentimetrotako uhin-luzera duen lerro bat emititzen dute. Zergatik lerro finko hori?

Bai elektroiak eta bai hidrogenoaren nukleoaren protoiak "spin" bat dute direkzio berberarekin (paraleloak) edo alderantzizkoarekin (antiparaleloak).

Spin-konbinaketa biek energia elektroniko desberdina daukate; elektroi batek beraren spina aldatzen badu, beraren energia ere aldatuko da. Aldatuko den energia, $\lambda = 21$ cm daukan fotoi bati dagokio. Honelako fotoi bat emititzen da (edo absorbitu egiten da) spin-alderantzaketa bakoitzean (hau denau, hidrogeno neutroa energia minimoaren egoeran dagoenean). Honelako, fotoien emisioa gure galaxiaren direkzio guztietan aurkitzen da.

Orain dela gutxi, beste lerro batzu aurkitu izan dira. Adibidez, 1.963. urtean, -OH molekuletatik datozenak. Kimikariaren ustez, erradikal hau ez da egonkorra laborategietan lortzen diren baldintzetan. Beraren espektroak lerro asko dauzka irrati-frekuentzian. Izaitez, lortutako intentsitatea lortzen duen mekanismo bakarra, laserra da. Laser aparatu batetan elektroiak orbita batetik energia txikiagoa daukateneko orbita batetara jauzten dira, λ berbera daukaten fotoiak emitituz. Astrofisikariek ez dute oraindik hau ondo ulertzen; adibidez, nola itzultzen dira elektroiak hasierako orbitara? eta honelako beste galdera batzu erantzun gabe daude.

Gero, 1.968. urtetik aurrera beste molekula-motak era aurkitu izan dira: amoniakoa (NH_3), ur-lurrina (H_2O), formaldehidoa (HCHO), azido zianhidrikoa (HCN), azido formikoa (HCO_2H), zianoetilenoa (HC_3N), alkohol metilikoa (CH_3OH) eta abar.

Izarrarteko materiaren konposaketa hain desberdina izanik, alderdi batzuetako baldintzak oso arraroak izango dira (tenperatura altuekin eta abar). Hodei hauetan egiten dira izarrak.

Gainera, materia gehiago duten alderdiak oso gazteak diren izarrez beteta daude. Alderdi horietan T. Tauri izeneko izarrak oso arruntak dira (izar hauk formatu gabe daude, ez dira sekuentzia nagusira heldu).

Kapitulua bukatzeko, galdera asko geratzen zaizkigu. Adibidez : nondik dator izarren-
teko materia ? Zein da honen banaketa? Zergatik osotzen ditu hodeiak? Hurrengo kapitulu-
etan eratzungo ditugu, geure ezagupenen muga barnean.

KONSTELAZIOAK

Kristo aurreko XIII. mendean, babiloniarrek konstelazio zodiakalak asmatu zituzten. Dena den izena latinetik dator (zodiacus = abere) zeren konstelazioak abereen itxurazkoak baitziren; beraz, izena beranduago ipinia da. Lehen Aries-ekin hasiz eta gero Taurus, Leo eta abarrekin segituz, hamabiak osatu arte.

Hauxek dira :

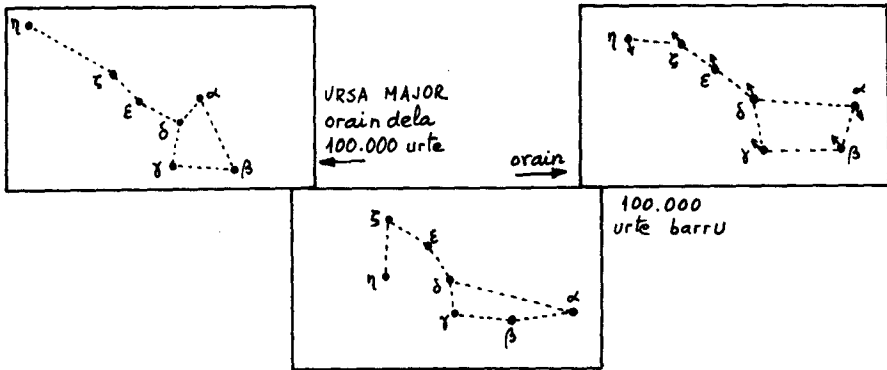
Latin izena	Genitiboa	Laburdura	Igoera zuzena	Deklinazioa
Aries	Arietis	Ari	02 Ordu	20 gradu
Taurus	Tauri	Tau	05	20
Gemini	Geminorum	Gem	07	25
Cancer	Cancri	Cnc	09	20
Leo	Leonis	Leo	10	20
Libra	Librae	Lib	15	-15
Virgo	Virginis	Vir	13	00
Scorpius	Scorpii	Sco	17	-30
Sagittarius	Sagittari	Sgr	18	-30
Capricornus	Capricorni	Cap	21	-15
Aquarius	Aquarii	Aqr	22	-05
Pisces	Piscium	Psc	00	00

Irudi hauk imajinatzea ez da erraza.

Geroko konstelazioak grekoek, erromatarrek eta arabiarrek asmatu zituzten eta haien izenak beti mitologiako izenak edo kondairen izenak izan ziren (Andromeda, Perseus, Centaurus, Pegasus, Hercules, etab.)

Babiloniarrek ikusi zutenarekin konparatuz, konstelazioen itxura ez da ia aldatu; baina izarrek mugitzen ari direnez gero, denbora luzeak hartuz aldatuz doaz.

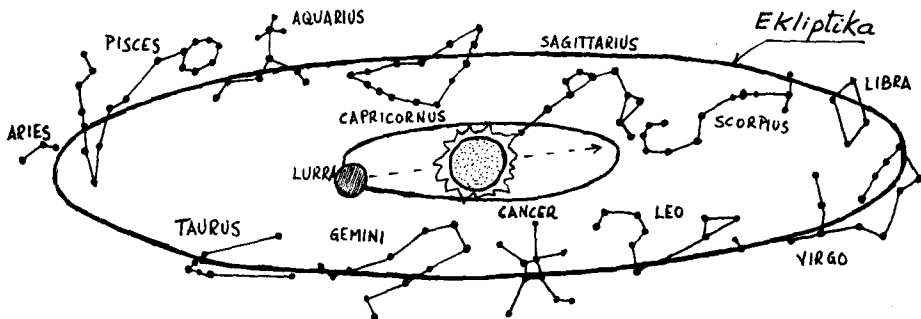
Adibidez :



Zergatik ez dira denak elkarrekin mugitzen? Denak elkarrekin ez daudelako; hau da, batzu hurbilak dira eta besteak, urrunak (gerukiko eta haien artean ere). Honegatik - tontakeria bat da Leo izeneko konstelazioa leoi itxurazkoa dela pentsatzea (izarrak ez baitaude elkarren ondoan) eta tontakeria handiagoa Leo delako zeinu zodiakalaren azpian daudenak, leoi baten ezaugarriak dutela esatea. Superstizio bat izan arren, - sasizientzia bihurtu egin da : "Astrologia".

Zer da zeinu zodiakal baten azpian jaiotzea? Eguzkia biratzen ari da gurekiko (gu geldo gaudela suposatuz) eta ibilbide hori, ekliptika izenekoa, konstelazioa guztien parean joaten da. Eguzkiari begiratzen badiogu eta beraren atzean dagoen konstelazioa Leo bada, Leo zeinu zodiakalean gaude. Berdin gertatuko da Hilargiarekin eta beste planetekin ere (beti Lurratik begiratur).

Ikus irudia :



Konstelazioak oso erabilgarriak dira, zerua aldetan banatzeko (88 konstelazio nagusi daude; beraz, 88 zatietan banatzen da zerua). Konstelazio batetan izarretako argitsuena hitzarekin adierazten da, bigarrena β eta abar.....

Ipar poloan dauden konstelazioak, konstelazio borealak deitzen dira eta Hego - poloan daudenak (ikustezinak guretzat) konstelazio australak.

Hauxek dira denak :

A KONSTELAZIO BOREALAK

Latin izena	Genitiboa	Laburdura	Igoera zuzena	Deklinazioa
Andromeda	Andromedae	And.	01 ordu	35 gradu
Aquila	Aquilae	Aql.	20	05
Auriga	Aurigae	Aur.	05	40
Bootes	Bootis	Boo.	15	30
Camelopardalis	Camelopardi	Cam.	06	70
Canes Venatici	Canum Venaticorum	CVn.	13	40
Cassiopeia	Cassiopeiae	Cas	01	60
Cepheus	Cephei	Cep	21	65
Coma	Comae	Com	13	20
Corona Borealis	Coronei Borealis	CrB	16	30
Cygnus	Cygni	Cyg.	20	40
Delphinus	Delphini	Del.	21	15
Draco	Draconis	Dra.	18	60
Equuleus	Equulei	Equ.	21	10
Hercules	Herculis	Her.	17	30
Lacerta	Lacertae	Lac.	22	40
Leo Minor	Leonis Minoris	L Mir.	10	35
Lynx	Lyncis	Lyn.	09	35
Lyra	Lyrae	Lyr	19	35
Ophiuchus	Ophiuchi	Oph.	17	-10
Pegasus	Pegasi	Peg.	22	20
Perseus	Persei	Per.	03	40
Sagitta	Sagittae	Sag.	20	20
Serpens	Serpentis	Ser.	16	00
Triangulum	Trianguli	Tri.	02	35
Ursa Major	Ursae Majoris	UMa.	11	50
Ursa Minor	Ursae Minoris	UMi.	15	75
Vulpecula	Vulpeculae	Vul.	20	25

B KONSTELAZIO AUSTRALAK

Latin izena	Genitiboa	Laburdura	Igoera zuzena	Deklinazioa
Antlia	Antliae	Ant.	10 ordu	-30 gradu
Apus	Apodis	Aps.	17 "	-75
Ara	Arae	Ara	17 "	-55
Caelum	Caeli	Cae	05 "	-40
Canis Major	Canis Majoris	C Ma	07 "	-25
Canis Minor	Canis Minoris	C Mi	07	05
Carina	Carinae	Car	09	-60
Centaurus	Centauri	Cen.	13	-50
Cetus	Ceti	Cet.	02	00
Chamaeleon	Chamaeleontis	Cha	11	-80
Circinus	Circini	Cir.	16	-65
Columba	Columbae	Col.	06	-35
Corona Australis	Coronae Australis	CrA	19	-40
Corvus	Corvi	Crv.	12	-20
Crater	Creteris	Crt.	11	-15
CruX	Cruscis	Cru.	12	-60
Dorado	Doradus	Dor.	05	-60
Eridanus	Eridani	Eri	03	-40
Fornax	Fornacis	For.	03	-30
Grus	Gruis	Gru.	22	-45
Horologium	Horologii	Hor.	03	-50
Hydra	Hydrae	Hya.	10	-10
Hydrus	Hydris	Hys.	01	-70

Latin izena	Genitiboa	Laburdura	Igoera zuzena	Deklinazioa
Indus	Indi	Ind.	20	-50
Lepus	Leporis	Lep.	05	-20
Lupus	Lupi	Lup.	15	-45
Mensa	Mensae	Men.	06	-75
Microscopium	Microscopii	Mic.	21	-35
Monoceros	Monocerotis	Mon.	07	00
Musca	Muscae	Mus.	13	-70
Norma	Normae	Nor.	16	-55
Octans	Octantis	Oct.	Hego	poloa
Orion	Orionis	Ori	05	00
Pavo	Pavonis	Pav.	20	-60
Phoenix	Phoenicis	Pic.	20	-45
Pictor	Pictoris	Pic.	07	-60
Piscis Austrinus	Piscis Austrini	Ps A	23	-30
Puppis	Puppis	Pup.	07	-35
Pyxis	Pyxidis	Pyx.	09	-30
Reticulum	Reticuli	Ret.	04	-70
Sculptor	Sculptoris	Sci.	01	-30
Scutum	Scuti	Sct.	19	-10
Sextans	Sextantis	Sex.	10	00
Telescopium	Telescopii	Tel.	18	-45
{ Triangulum Australe	{ Trianguli	Tr.A.	16	-65
	{ Australis			
Tucana	Tucanae	Tuc.	22	-60
Vela	Velorum	Vel	09	-50
Volans	Volantis	Vol.	08	-70

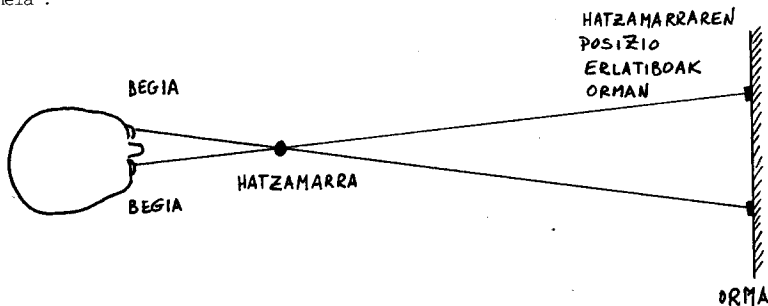
Eta hau planeta guztiekin gertatzen da; baina oraindik ez dakigu R zenbat den. Ezagutzen dugun gauza bakarra, adibidez planetaren batetik Eguzkirainoko distantzia beste batetatikoa baino zenbait aldiz handiago dela da.

Orduan distantziaren bat lortzen badugu, besteak ezagunak izango dira.

Keplerren legearen bidez R eta R' erradioen arteko erlazio bat dugu; beste erlazio bar lortzen badugu, R eta R' ezagunak izango dira. Adibidez, Lurretik Martitzerainoko distantzia lor dezakegu, hau da $|\vec{R}' - \vec{R}|$, paralaxia aplikatuz.

Zer da paralaxia? Errazki adierazten da. Ipin ezazu hatzamarren bat zeure begien aurrean. Zeure etxean bazaude eta begi bat ixten baduzu bestearekin zeure hatzamarra-ri begiratzuz, berau zure aurrean dagoen ormake leku batetan agertuko da; eta beste - begiarekin gauza berbera eginez, hatzamarra beste leku batetan egongo da. Zergatik?. - Begiak banandurik daudelako.

Honela :

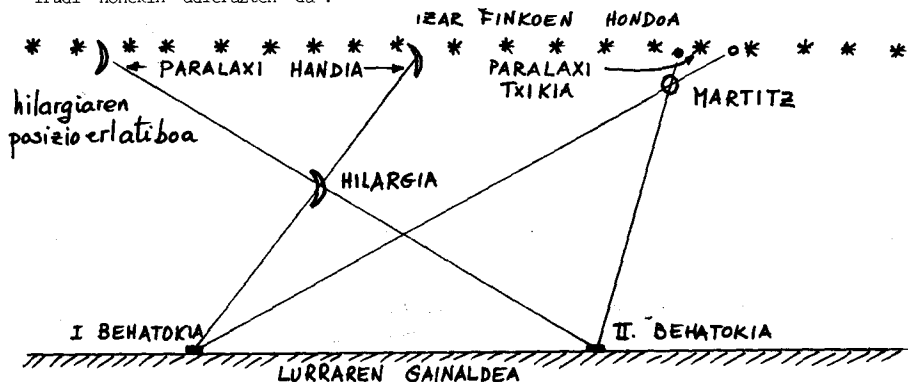


Begiak bananduagoak badaude, hatzamarren posizio erlatiboak ere bananduagoak egongo dira eta modu berean, hatzamarra zurekiko hurbilago badago.

Gure kasuan, begiak Lurraren gainaldeko bi leku desberdin izango dira, hatzamarra Martitz eta orma izar finkoak (izar hauk oso hurbilak daude gurekiko, beraz paralaxiaren

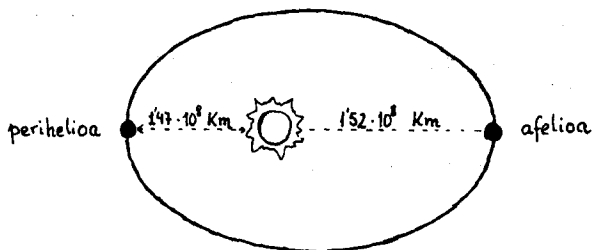
kausazko desplazamendua neurtezina izango da, nahiz eta behatokiaren arteko distantzia oso handia izan).

Irudi honekin adierazten da :



Lehen neurketa 1671. urtean egin zen (1.608 urtean Galileok asmatutako teleskopioaren bidez). Behatzaileetako bat, Jean Richer (frantsesa), Guianara joan zen eta bestea, Giovanni Domenico Cassini (italo-frantsesa), Parisen geratu zen. Izar finkoen hondoan ikusten den Martitzen desplazamendu erlatiboa eta Guiana eta Parisen arteko distantzia nerurtuz, Martitzerainoko distantzia lortu zuten. Datu honekin Eguzkirainoko distantzia neurtu zuten : 140.000.000 km.

Geroko neurketetan eta teleskopio hobeak erabiliz haxe lortu da :



Batezbesteko distantzia $147 \cdot 10^6$ km. da gutxi gorabehera.

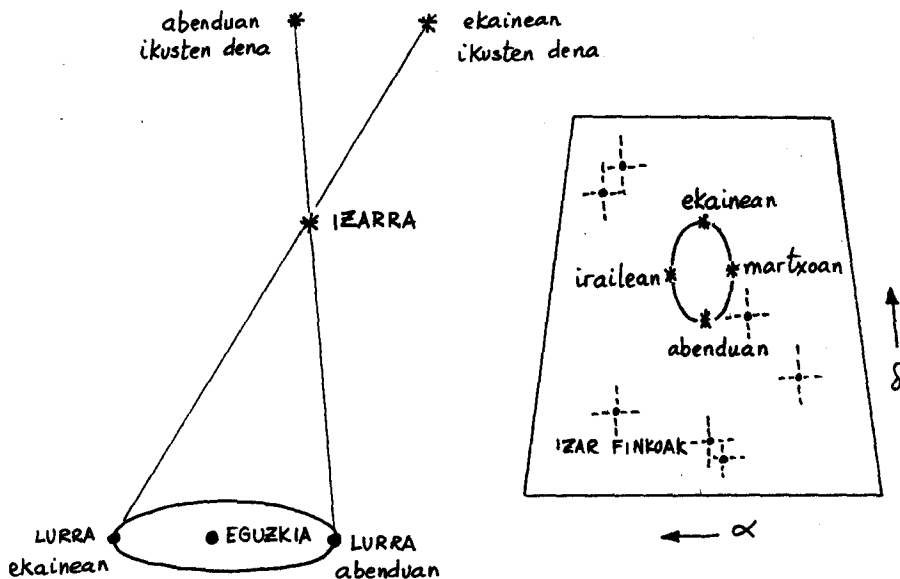
Distantzia honi unitate astronomikoa (A U : astronomical unity) deritzogu.

2. EDOZEIN IZAR

a) Izar Hurbilak

Orain Lurraren gainaldea txikiegia da paralaxiaren metodoa erabiltzeko baina behatokiaren arteko distantzia handiagoa bada, paralaxia aplikatu dezakegu. Neurketa bat Ekainean egingo dugu eta bestea Abenduan; beraz, bi neurketaren arteko distantzia 2 AU izango da (oso distantzia egokia paralaxia aplikatzeko). Bitartean izarra mugitzen ari da baina bere higidura neurtezina da eta arbuiatu dezakegu.

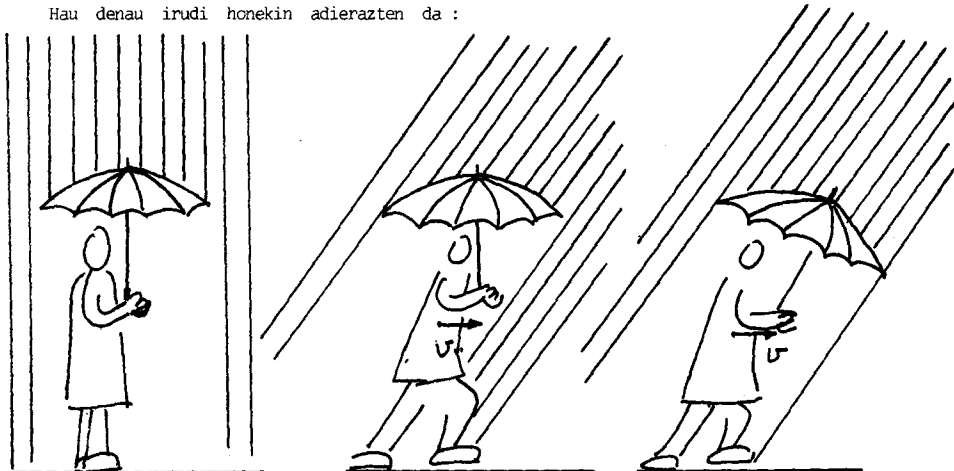
Hau denau irudi baten bidez honela adierazten da :



Lurra mugitzean, izarren posizioa aldatu egiten da, zeruan elipse txiki bat marraztuz. Dena den, hemen kontutan hartu behar dugu izarren aberrazioa, zeren eta aberrazioak beste elipse bat sortzen baitu. Zer da izarren aberrazioa? Hau 1.728. urtean Jane Bradley-ek aurkitu zuen. Efektu hau Lurraren higiduragatik ematen da, hau hobeto ulertzeko adibide bat ipiniko dugu.

Demagun euria ari dela. Euria bertikalki erortzen bada (ez dago haizerik) eta gizon bat euritako batekin leku berean geldi badago, orduan ez da bustiko. Baina aurrerantz ibiltzen hasten bada, tanta batzuk, euritakoaren barrera pasatuz, gizona bustiko dute. Hau ez gertatzeko gizonak egiten duena zera da : euritakoa inklinatu edo aurreratu. Korrika hasten bada, euritakoa inklinatuago egon beharko da.

Hau denau irudi honekin adierazten da :



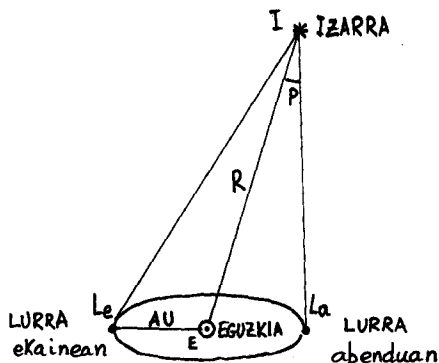
Gure kasuan euri tantak argi izpiak dira eta gizona Lurra da; beraz, astronomoak telekopioa inklinatu egin beharko du. Lurra geldi egon balitz telekopioak angelu bat formatuko luke; baina mugitzen denez gero, telekopioak beste angelu desberdin bat formatuko du. Bi angeluen arteko diferentzia aberrazioa da.

Efektu hau garrantzi handikoa da, horren kausaz izarra 40" desplaza baitaiteke zeruan.

Gero, Bradley-ek berak, beste higidura bat aurkitu zuen : Lurraren nutazioa; hau da, - Lurraren ardatzak bere posizioak aldatzen duela; eta honela izarren posizioak ere aldatzen direla.

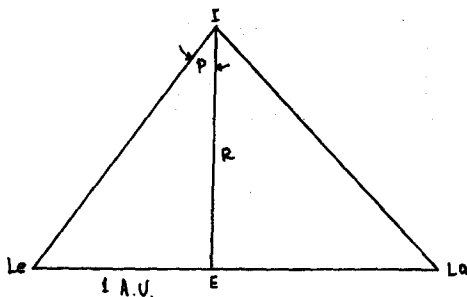
Beraz, aberrazioa eta nutazioaren efektuak kontutan hartu behar ditugu. Beste efektu bat ere ba dago : "izarraren higidura", baina hau neurtezina eta arbuigarria da.

Orain izarretarainoko distantziak lor ditzagun.



p angelua paralaxia deitzen da.

$\overline{LeLa}$ eta EI perpendikularrak badira, errazki lortuko dugu erantzuna.



R neurtu nahi dugu.

$$R = \frac{1 \text{ A.U.}}{\tan P}$$

eta p hain txikia izanik, $p \approx \tan p \approx \sin p$

beraz : $R = \frac{1 \text{ A.U.}}{p}$ (p θ_n eta θ_e -en bidez lortzen da).

Ohar modura, ikus dezagun unitate berezi bat :

$$p \text{ 1'' bada } p = 1'' \frac{2\pi}{360.60.60} \text{ rad.}$$

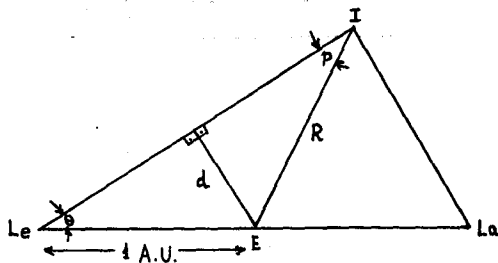
$$R = 206265 \text{ A.U.} = 1 \text{ parsec (paralaxi-segundu).}$$

Hots, segundu batetako paralaxiari dagokion distantzia. Unitate hau asko erabiltzen da izarrekin.

Adibideak :

IZARRA	DISTANTZIA		PARALAXIA (Segundutan)
	ARGI-URTE	PARSEC	
ALPHA CENTAURI	4,29	1,32	0,743
BERNARDEN IZARRA	5,97	1,84	0,548
WOLF 359	7,74	2,38	0,429
SIRIUS	8,7	2,67	0,377
61 CYGNI	11,1	3,42	0,296
PROCYON	11,3	3,48	0,287
KAPTEYN-EN IZARRA	12,7	3,87	0,256
VAN MAANEN-EN IZARRA	13,2	4,06	0,239
ALTAIR	15,7	4,82	0,205

L_e L_a eta EI perpendikularrak ez badira :



$$d = 1 \text{ A.U.} \sin \theta$$

$$R = \frac{1 \text{ A.U.} \sin \theta}{P \text{ (rad)}}$$

Friedrich Wilhelm Bessel izan zen, metodo hau aplikatu zuen lehena.

b) IZAR URRUNAK

Izarrek urrunean badaude, paralaxia neurtzezina da ($p \approx 0$ eta teleskopio one-
nekin bakarrik 0,02 segundu neur daiteke).

Honelako distantziak neurtzeko erabiltzen den metodo onena "paralaxi espektrosko-
pikoa" da. Izar baten energiaren fluxua neurtzen da. Lurrean neurtzen dena haxe da :

$$\phi_{LURRA} = \frac{k}{r^2}$$

Bi izar berdín hartzen baditugu, neurtzen ditugun fluxuak distantzien menpean
egongo dira; beraz :

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

Bata distantzia bat ezaguna bada, beste ere ezaguna izango da. Baina nola esan deza-
kegu bi izar berdinak direla?. Espektroak analisatuz, hau da, espektroak berdinak badira
(absortziozko lerroak etab.), izarrek berdinak direla diogu.

Bukatzeko adibide batzu ipiniko ditugu :

IZARRA	DISTANTZIA
Formal haut	22,6 argi-urte
Vega	26,5 "
Arcturus	36 "
Capella	45 "
Aldebaran	68 "
Regulo	84 "
Achernar	118 argi-urte
Betelgeuse	520 "
Antares	520 "
Rigel	900 "
Deneb	1.600 "

B I B L I O G R A F I A

- I.S. SHKLOVSKI. "Universo, vida e intelecto".
Editorial MIR. Moscu 1976.
- L. OSTER. "Astronomia moderna"
Editorial REVERTE 1978.
- LLOYD MOTZ "El Universo" 1975
- JAGJIT SINGH "Teorías de la cosmología moderna"
Alianza Universidad 1968.
- ASKOREN ARTEAN "Cosmología, actualidad y perspectivas"
Colección Labor 213. 1973
- ISAAC ASIMOV "El Universo"
Alianza Editorial 458
- F. ZIGUEL "Los tesoros del firmamento"
Editorial MIR. Moscu
- B.A. VORONTSOV-VELIAMINOV "Problemas y ejercicios prácticos de astronomía" Editorial MIR, Moscu 1979.