

# Kiel oni mezuras la aĝon de stelo?

la 23-an de marto 2000

Kelkfoje, oni legas pri stelo kiu havas iun aĝon, pri junaj kaj maljunaj steloj, ktp. La leganto certe foje demandas kiel oni scias - kiomas la aĝo de stelo. Tiu artikolo pritraktas tiun aferon.

## 1. La aĝo laŭ la astronomia vidpunkto

En astronomio, multaj datenoj ne estas rekte mezureblaj. Memkompreneble, steloj kaj aliaj ĉielkorpoj ne povas esti prenataj en la laborejon por ke oni povu mezuri ilian mason, radiuson, temperaturon, ĥemian konsiston, ka. Tamen, la plimulto el tiuj kvantoj eblas mezuri per nerektaj datenoj. Ekzemple, per la koloro de la stelo oni povas malkovri ties temperaturon, per la flukso de infraruĝa radiado oni trovas la radiuson, la maso estas mezurebla se la stelo estas en orbita duopo, la ĥemia konsisto estas kalkulata pere de intenso de la strioj (*spektraj linioj*) en la stela spektro.

Ĝenerale, la eraro de tiuj mezuradoj atingas 40% aŭ pli. Tion oni nomas *astronomia precizeco*. La mezuradoj estas tiel precizaj kiel oni povas ilin fari kaj estas pli bone havi mezuron tian ol nenian. Tamen, la aĝo de la stelo ne povas esti kalkulata sen la antaŭa kalkulo de unu el tiuj kvantoj. La aĝo suferas dufoje de la tiel nomata "*astronomia (ne)precizeco*".

Do, kiam oni diras pri stela aĝo, kelkfoje oni diras pri mezuro kiu ordigas pli malpli laŭaĝe la stelojn.

## 2. Malsamaj teĥnikoj por stelaĝmezurado kaj malsamaj aĝoj

La aĝojn oni devas mezuri laŭ la spektra klaso de la stelo kaj siaj disponigitaj datenoj. Kompreneble, la mezuro de la aĝo de nia Suno diferencas de la teĥniko por aliaj steloj, eĉ se tiuj estas sunsimilaj steloj. La Suno estas tre proksime de ni, kaj ties datenoj estas pli facile observeblaj ol tiuj de iu ajn stelo.

Ĉiu teĥniko posedas propran kronologisistemon, kaj la aĝoj mezuritaj per malsamaj teĥnikoj ne ĉiam estas rekte kompareblaj. La aĝo ricevas epiteton kiu montras la teĥniko uzita, kiel mi tuj parolos. Oni povas diri ke ĉiu teĥniko por stelaĝmezurado estas kompara metodo: oni komparas kelkajn datenojn de la stelo kun tiuj de teoriaj steloj kiu havas konitan aĝon.

La ĉefaj teĥnikoj por stelaĝmezurado uzas:

- La rilato inter la abundo de kelkaj radioaktivaj nukleoj.
- La komparo de la stela pozicio en evolua diagramo kiel la HR diagramo.
- La intenso de la kromosfera aŭ korona radiado.
- La rapido de la stela rotacio.
- La rapido de la stelo ĉirkaŭ la Galaksia centro.
- La abundo de kelkaj ĥemielementoj.
- La pulsa periodo de Miraoj.

Al tiuj teĥnikoj korespondas la radioaktivaj, izokronaj, kromosferaj (aŭ koronaj), rotaciaj, kinematikaj, ĥemiaj kaj pulsadaj aĝoj.

## 3. Radioaktivaj Aĝoj

Tiu teĥniko estas la plej preciza. Tamen ĝi estas aplikebla nur por meteorŝtonoj, ĉar bezonatas la kono pri la kvanto de malabundaj izotopoj en la materio kiu estos datumita.

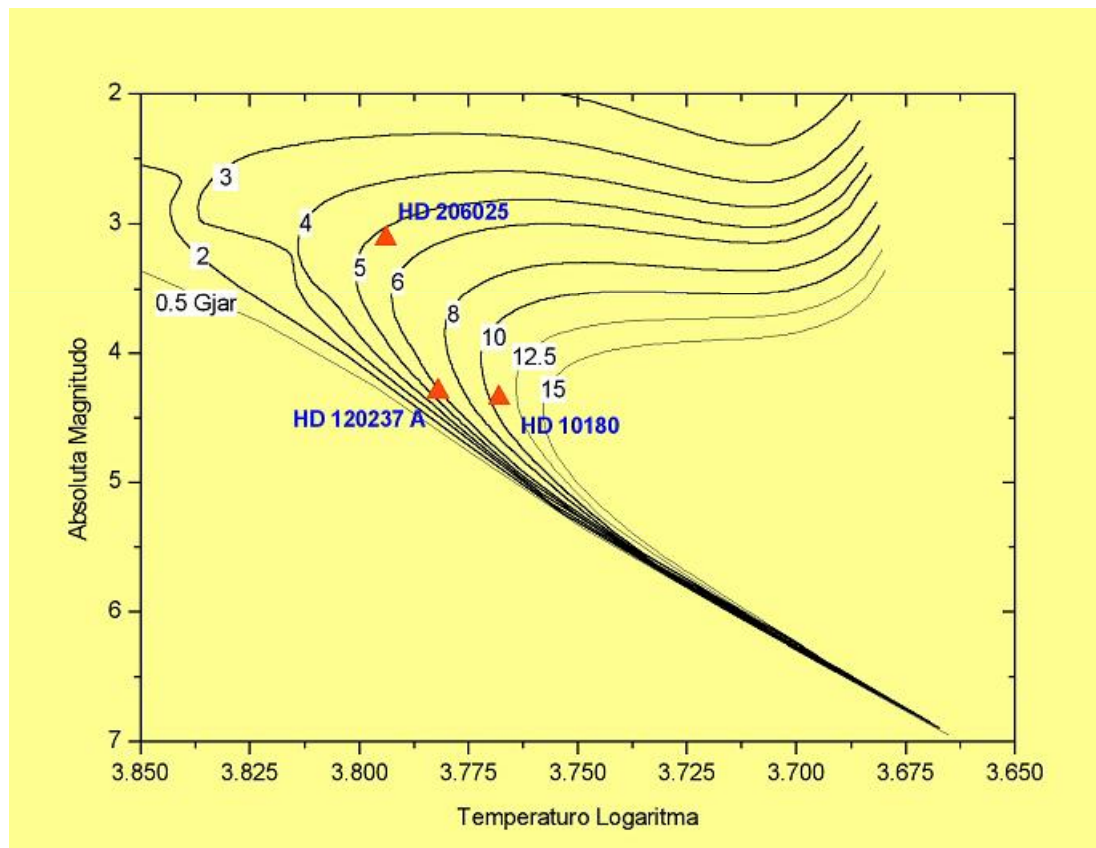
Kiel ni esperas, ke ĉiu meteorŝtono estis formita dum la formiĝo de la suna sistemo (escepte de iu hazarda interstela vojaĝanto kiu falos tie ĉi...), la aĝo de la meteorŝtonoj ekivalentos al la aĝo de la Suno k de la planedoj. Do, la nura stelo por kiu oni havas radioaktivan aĝon estas la Suno.

Aĝo estas mezurata per la komparo inter la abundo de radioaktiva izotopo kun tiu de stabila izotopo. La plej taŭga duopo de izotopoj por tiu teĥniko estas Rb-87 (la radioaktiva izotopo) kaj Sr-87 (la stabila).

Per tiu teĥniko oni trovas ke la aĝo de la Suno (kaj de la Tero kaj siaj frataj planedoj) estas 4.5 Gjar (1 Gjar = 1 miliardo de jaroj).

#### 4. Izokronaj Aĝoj

Tiuj aĝoj ricevas tian nomon pro la teĥniko kiun oni uzas por ilin kalkuli. Izokrono estas la nomo de teoria linio kiu kunligas punktojn, kiuj havas la saman aĝon en ia evolua diagramo. La steloj estas komparitaj al teoriaj izokronoj en evolua diagramo, ĝenerale la HR diagramo. La teoriaj izokronoj indikas kiuj estas la pozicioj de samaĝaj steloj. La bildo malsupre montras unu el tiuj komparadoj:



La bildo montras la komparo de tri steloj (HD 10180, HD 120237 A, kaj HD 206025) kun la izokronoj en HD diagramo. La nombroj flanke de ĉiu izokrono montras la aĝon de la steloj kiuj falas sur ĝi. Do, en tiu diagramo, la aĝo de HD 10180 estas ĉirkaŭ 11 Gjar, tiu de HD 120237 A estas 5.5 Gjar, kaj tiu de HD 206025 estas 5.2 Gjar.

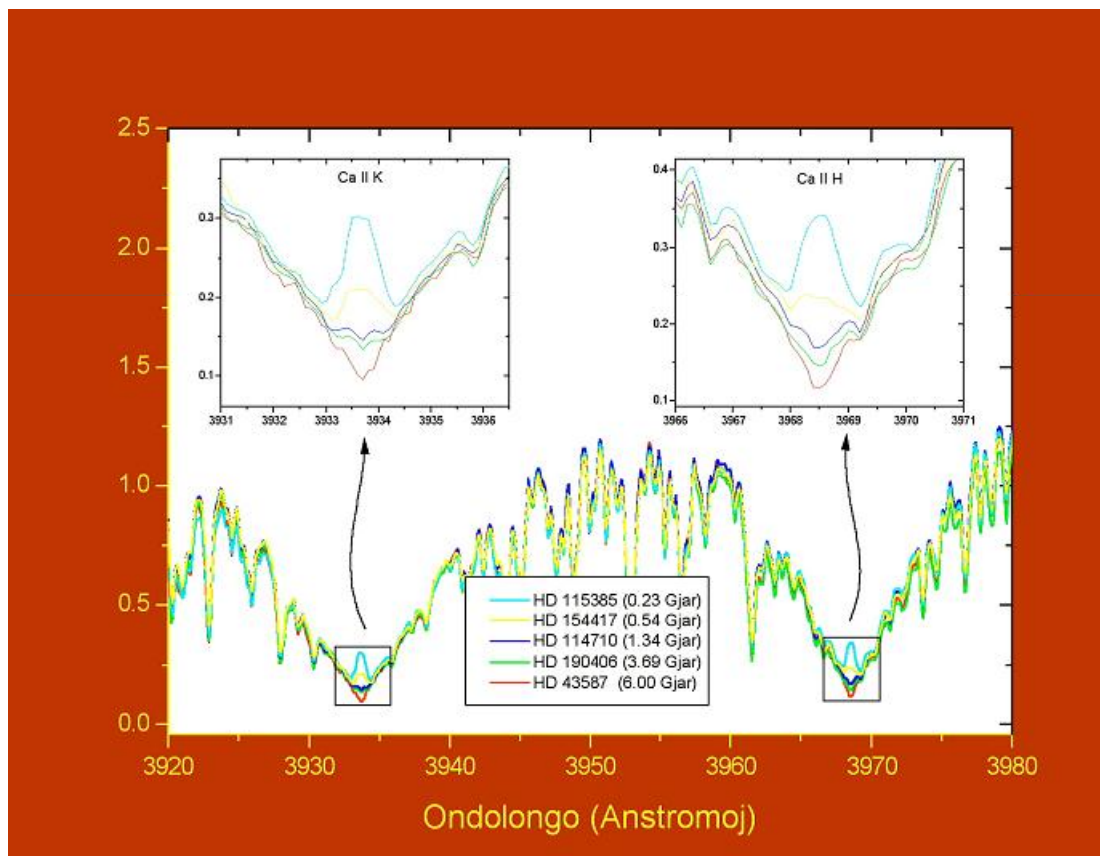
Ofte, la izokronoj estas kalkulitaj por antaŭelektitaj ĥemiaj konsistoj (kion ni ĵargone

nomas kiel metalkvanto), kaj oni bezonas kalkuli la aĝon de la stelo en pluraj aroj de izokronoj por interpoli la veran aĝon, ĉar la metalkvanto de la stelo preskaŭ ĉiam estas malsama ol tiu de la izokronoj.

Post la radioaktiva metodo, tiu estas la plej preciza teĥniko. Ĝi taŭgas por pluraj spektraj klasoj kaj ebligas facilan mezuradon. La plej granda problemo estas ke oni bezonas koni detalojn pri stela evoluo por la kalkulado de la izokronoj.

#### 5. Kromosferaj Aĝoj

Junaj steloj emicias tra kelkaj spektraj linioj pro la varmigo de siaj kromosferoj kaj koronoj far netermaj procezoj. Tiom pli juna estas la stelo, des pli ĝi emicias. Se ni mezuru tiun emisiintenson, ni havos ideon pli la juneco de la stelo.



La bildo supre komparas la spekrojn de 6 steloj en la spektraj linioj H kaj K de Ca II. La etaj elstarajoj en la centro de tiuj linioj (ankaŭ montritaj en apartaj bildoj ene de la ĉefa) estas emisiaj linioj. Vidu ke ĝia intenso malkreskiĝas se ni komparu la spektron de HD 115385 (0.23 Gjar) kun tiu de HD 43587 (6 Gjar).

La plej granda problemo kun tiu teĥniko estas ke la kromosfera emisiado ne estas konstanta. La steloj havas periodon en kiu ĝi estas pli aktiva ol la meza aktivecnivelo, kaj periodoj dum kiuj ĝi estas kvieta. Plie, nur sunsimilaj steloj havas kromosfera emisiado proporcia al siaj aĝoj.

## 6. Rotaciaj Aĝoj

Kiam la stelo formiĝas, ĝi havas ĝenerale multan da rotacia momanto. Ĝi rotacias je rapidoj kiuj atingas eĉ 400 km/s (por la plej masegaj el ili). Sunsimilaj steloj povas komenci sian vivo rotaciantaj je 100 km po sekundo. La kromosfera emisiado kaj magneta bremsado igas la stelon perdi sian momanton kaj malrapidigi sian rotacion.

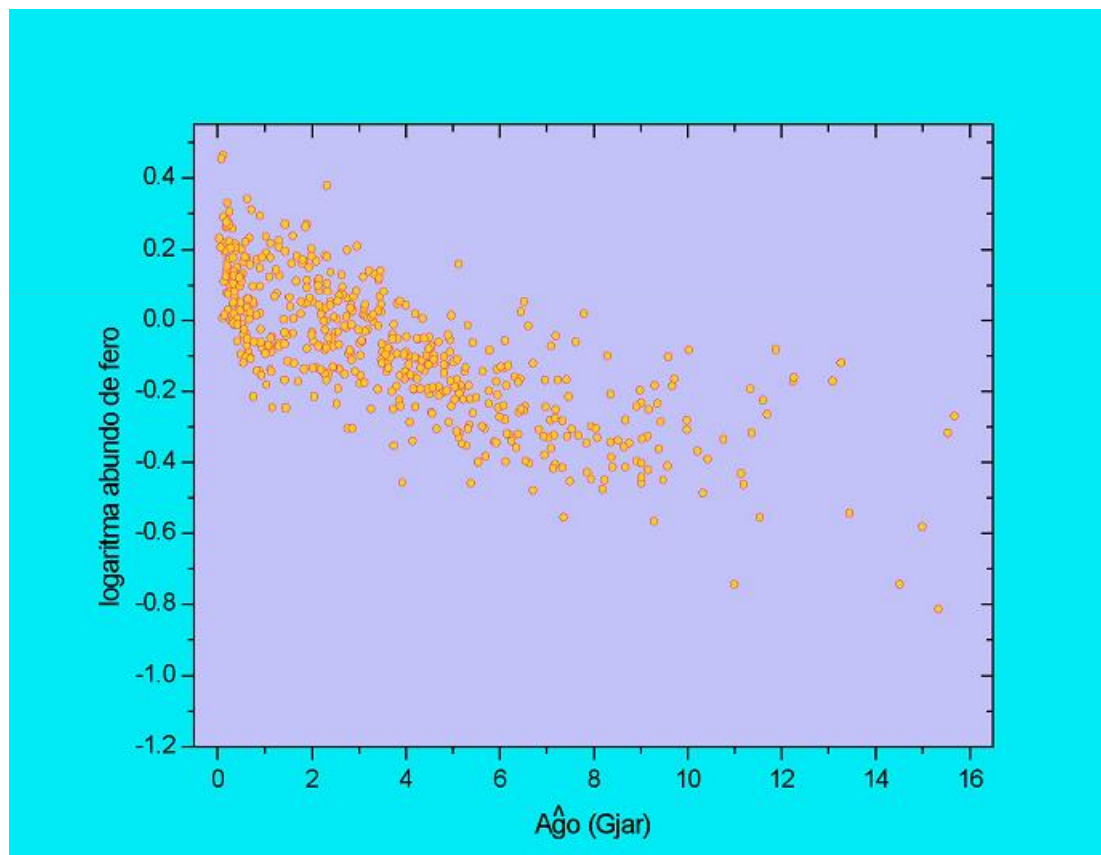
Teorie, per la rapidon de la rotacio, oni povas kalkuli la fazon de la vivo de la stelo kaj sian aĝon. En la praktiko, tiu kalkulado estas iom nepreciza kaj nur helpas la komparadon inter aliaj teĥnikoj.

## 7. Kinematikaj Aĝoj

En nia Galaksio, steloj formiĝas precipe en la galaksia ebena kie estas multon da gaso. Post ilia formado, ili prenas tute cirklan orbiton ĉirkaŭe de la galaksia centro. Tiu orbito povas esti reprezentata per kelkaj orbitaj parametroj: apogalaksia kaj perigalaksia radiusoj (la radiuso de la orbito en siaj punktoj de plej malgranda kaj granda alproksimiĝo al la galaksia centro), superebena altitudo, discentreco kaj inklinacio. Komence, la apogalaksia kaj perigalaksia radiusoj estas egalvaloraj, kaj la aliaj kvantoj estas nulaj. Post la pasado de la tempo, la stelo jam koliziis kun aliaj stelsistemoj kaj interstelaj nuboj, kaj ĝia orbito elipsiĝas. Estas eble kalkuli ĉirkaŭe la aĝon de iu stelo per la komparado de siaj orbitaj parametroj kun teorioj pri galaksia kinematiko.

## 8. Ĥemiaj Aĝoj

En alia artikolo, mi parolis pri la ĥemia evoluado de la Galaksio. Pro tiu evoluado, la ĥemia konsisto de la interstela gaso (kaj de la novaj formiĝantaj steloj) kreskas laŭtempe. Do, la ĥemia konsisto de stelo indikas ankaŭ de la stelo estas juna aŭ maljuna. La aĝo kiun oni kalkulas per tiu teĥniko estas ofte nepreciza, kompare kun izokronaj aĝoj, precipe tial ke oni ne scias ĉu la miksado de supernovaaj elĵetadoj en la interstelan medion estas homogenaj. Unu vantaĝo de tiuj aĝoj estas ilia universala aplikado inter la pluraj spektraj klasoj de la steloj.



La bildo montras la kresko de la abundo de fero ekde la komenco de la Galaksio (okazinta je la aĝo 16 Gjar) ĝis la nuna epoko. Tiu diagramo enhavas datenojn por 552 sunsimilaj steloj. Rigardu, ke la diso de la datenoj malhelpas precizan kalkulon de la aĝoj. Ekzemple, steloj kiuj havas logaritman abundo de fero = -0.4 povas havi aĝon de 4 ĝis 12 Gjar, sed la pli ebla aĝo estas  $7 \pm 2$  Gjar.

Rimarku alian kuriozan aferon. La logaritma abundo de fero de la Suno, en tiu diagramo, ekvivalentas al 0.0. Tamen la aĝo de steloj kiuj havas similan abundon estas  $2 \pm 2$  Gjar, kiu estas malgranda ol la suna aĝo (4.5 Gjar). Tiu montras ke la Suno ne estas tipa inter aliaj samaĝaj steloj, tial ke ĝi estas pli metalhava. Tiu suna netipeco estas unu el la ideoj ofte diskutitaj kiam oni bezonas ekspliki kial la vio aperis en la Tero.

## 9. Pulsadaj Aĝoj

La periodo de pulsado de asimptotbranĉaj gigantoj (ĝenerale Miraoj) estas rilatita al ties maso kaj lumintenso. Kiel tiuj steloj estas preskaŭ mortontaj (de astronomia vidpunkto, ne de homviva vidpunkto), la tempo kiun la stelo bezonis por atingi tiun evoluon povas esti kalkulata facile per stelevoluaj ekvacioj, kondiĉe ke oni konas la mason de la stelo (kiu estas kalkulebla pere de la pulsperiodo).

## 10. Finaj Paroloj

Tiu artikolo montras ke la mezuron de stelaj aĝoj estas malfacila tasko. Malgraŭ tio, ili estas tre dezirinda en Astronomio, ĉar la stelaj aĝoj estas la kvantoj kiuj permesas ke la Astronomoj ne nur studu la nuntempan Galaksion, sed ankaŭ la junan Galaksion. Nur konante kiel okazis la evoluon de nia Galaksio, ni povas komenci respondi la famkonatajn demandojn: el kie ni venis?, kien ni iros?...

---

Skribita de Helio Jaques Rocha-Pinto:

*Vi rimarkos, ke mi faris senĉesan uzon de la fonemo ĥ, eĉ en kelkaj jam de-ĥo-al-ko-igitaj vortoj... Se vi deziras scii la kialon, legu tiun artikolon pri la uzo de de la fonemo ĥ en scienco:*  
<http://mujweb.cz/Kultura/malovec/FONEMOH.htm>

### Vortareto

**ĥemian konsiston:** la proporcio de ĉiuj elementoj en la materio de la astro.

**izokrono:** teoria linio kiu kunligas punktojn kiuj havas la saman aĝon (aŭ okazas en la samaj momentoj) en evolua diagramo.

**metalkvanto:** la proporcio de fero (kaj aliaj pezaj elementoj) en la astro.

**miraoj:** ruĝaj gigantoj kiuj spertas fazon de perioda pulsado.

---

Fonto: [http://www.esperanto.org/AEK/biblio/stela\\_agxo.htm](http://www.esperanto.org/AEK/biblio/stela_agxo.htm)

PDF-versio: L.S.