

# **SUPERNOOVADEST ÜLDSE JA TYCHO OMAST ERITI**

**Tõnu Viik**

## **Sissejuhatus**

1572. aasta 11. novembril toimus sündmus, mis tõi 25-aastase Taani kõrgaadli hulgast pärit Tyge Brahe (ehk siis ladinapäraselt Tycho) alkeemiasse kaldunud uurimisteelt ühe hoobiga tagasi. See juhtus nii, et kui ta keemialaborist õhtul koju läks, siis heitis ta pilgu harjumuspäraselt taevasse, mis imelikul kombel juhtus just selge olema. Kassiopelia tähtkujus märkas ta oma jahmatuseks Veenusest heledamat tähte, mida seal enne näha polnud. Täht oli isegi nii hele, et seda nägi ka päevavalgel. Kui Tycho oma jahmatusest üle sai, mõõtis ta tähe koordinaadid ja seda mitmel järgneval ööl, sest seda tähte nähti palja silmaga 17 kuud järjest (tol ajal teleskoopi veel ei tuntud). Tycho vaatlustest selgus, et see hele täht on kindlasti Kuust kaugemal, seega siis tähtede maailmas, mis aga Aristotelese õpetuse kohaselt pidi olema muutumatu. Seega tolelaegsete arusaamade kohaselt oli tegu ilmvõimatu sündmusega. Mis aga purustas vanad ja kivistunud arusaamad.

Loomulikult tekitas sündmus tohutut huvi ja Euroopas hakkas ilmuma selle uue tähe kohta kõige veidramaid kirjutisi. Tycho jälgis alguses sündmusi kõrvalt, ega tahtnud kuuldaagi sõprade soovitusel oma vaatlusandmed publitseerida. Ta nimelt pidas niisugust tegevust kõrgaadlikule ebasobivaks. Aga kui publikatsioonid uue tähe kohta aina muinasjutulisemaks muutusid, siis jäi Tycho mõtlikuks. Ja kui lõpuks tema sõber, Kopenhaageni ülikooli meditsiiniprofessor Johannes Pratensis teda veenis ning ka tema kasuema vend Peder Oxe survet avaldama hakkas, siis Tycho andis alla ja 1573. aastal ilmus temalt raamatuke "De Stella Nova" ehk siis "Uuest tähest". Niisuguse uue tähe tekkimist seletas Tycho kui õhukese heleda täheaine kondenseerumist ja



### **Tycho supernoova jäänus röntgenkiirtes**

näitas Linnuteel isegi tumeda augu, mis tema teooria kohaselt tähe tekkimisest alles jäi.

Muidugi polnud Tycho kaugeltki esimene seda tähte märkama - kes oli esimene, jääb igavesti saladuseks, kuid kuna ta määras selle tähe koordinaadid parima võimaliku täpsusega tol ajal ja pealegi sai temast suurim XVII- XVIII sajandi vaatlev astronoom, siis on loomulik, et täht sai Tycho nime. Selle sündmuse mõjul sai selgeks, et taevas on vaja täpset raamatupidamist - taevakehade koordinaate on tarvis määrata samuti nagu maa peal seda juba tehti. Ka Tycho sai sellest innustust ja tema erakordselt täpsete vaatluste najal avastas Johannes Kepler oma kolm kuulsat planeetide liikumise seadust, millele hiljem Isaac Newton andis range füüsikalise-matemaatilise sisu.

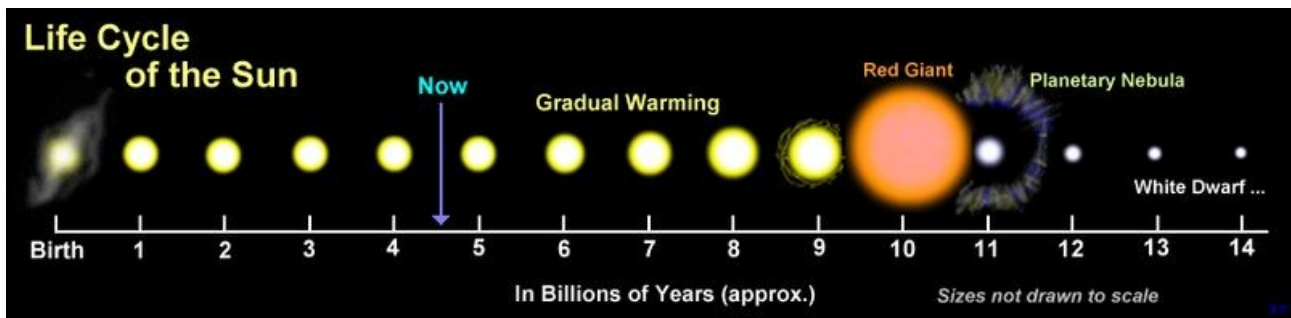
Praegu kannab see hiigelpahvatusest järelejäänud täht nime B Cassiopeiae või 3C 10 - heal lapsel ikka mitu nime. Ja veel, tänapäeva teadmiste valguses plahvatas see täht vahemikus 2. kuni 6. novembrini 1572, nii et Tycho jäi viis päeva oma vaatlustega hiljaks, kuid eks me kõik tea, kui pilvised on Põhjamaade ilmad novembrikuus.



**Tycho Brahe**

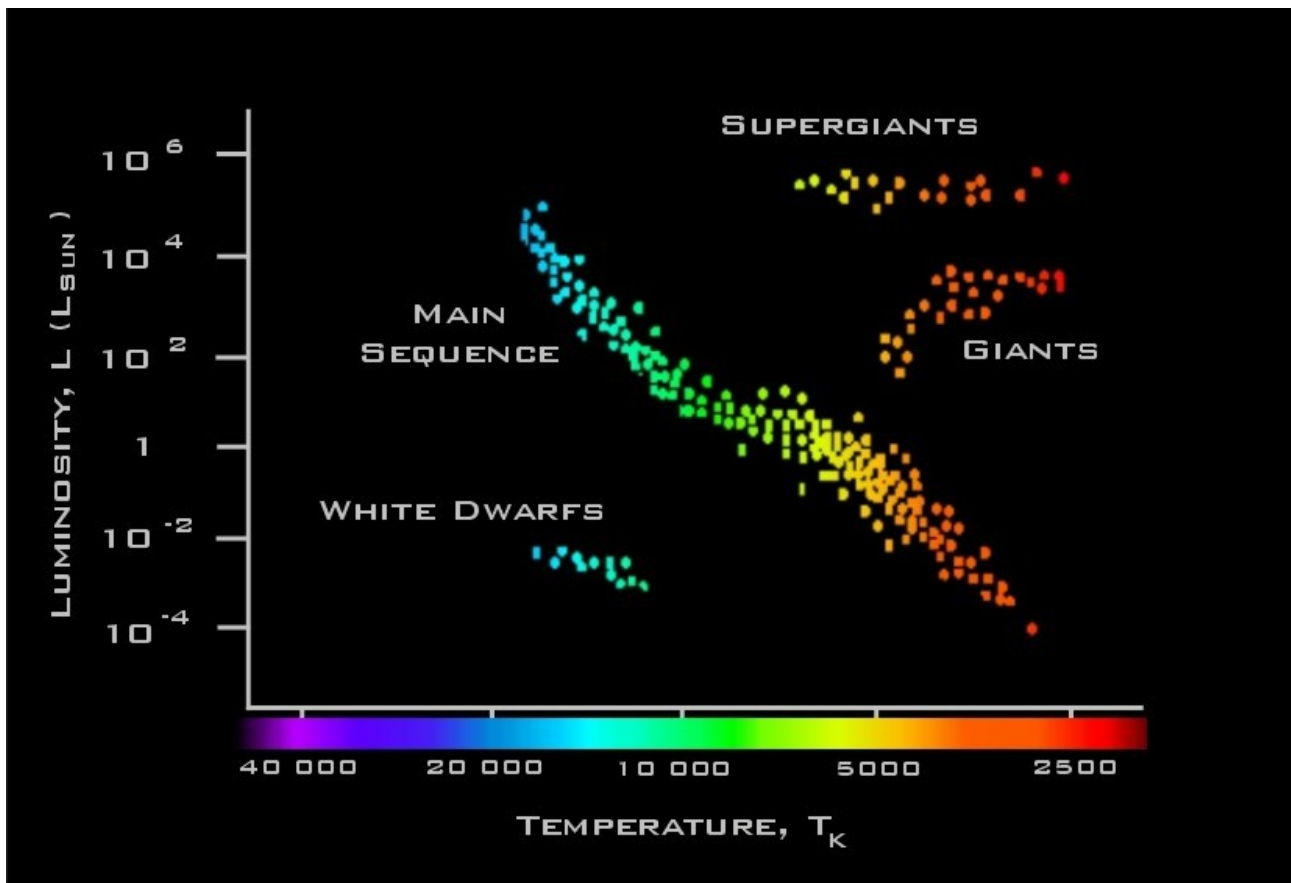
## **Mõnda tähtede elukäigust**

Sündmuse seletamiseks peame alustama natuke kaugemalt ja selgitama tähtede elukäiku. Ja enne veel, kui selle kallale asume, räägime siinkohal sellest, kuidas astronoomid üldse tähtede elukäiku tunnevad, sest asuvad ju need (peale Päikese muidugi) uskumatult kaugel ning me teame, et see elukäik võib kohutavalt kaua kesta, sest meie Päike on enam-vähem samasugusena paistnud viimased 4.5 - 5 miljardit aastat. Pole ju meil võtta nii vana inimest, kes seda mäletaks ja pole ka kedagi, kes oleks tähtedest aineproovi võtmas käinud! Õnneks on astronoomidel kasutada kaks ülivõimsat meetodit - need on spektraalvaatlused ja füüsika võrrandid. Tähevalguse lahutamisel erinevateks lainepikkusteks oleme me teada saanud praktiliselt kõik selle, mida me tähtede kohta teame - nende keemilise koostise, temperatuurid, rõhud, elementide ionisatsiooniastmed, aine liikumised tähtede väliskihtides jms. Ning oletades, et meile tuntud füüsika põhiprintsiibid ja võrrandid kehtivad ka mujal kui vaid Maa peal, on astronoomid neid rakendanud tähtede ehituse kindlakstegemisel. Ja mitte ainult seda, sest nüüd teame me väga palju selle kohta, kuidas tähed arenevad, st milline on nende



## Päikese evolutsioon

ehituse, keemilise koostise ja kõige muu muutumine ajas. Üks väga olulisi fakte, mida me teada oleme saanud, on see, et mida massiivsem on täht, seda kiiremini ta areneb ehk nagu astronoomid armastavad öelda, evolutsioneerub. Tänapäeval on astronoomid veendunud, et tähed tekivad gaasi ja tolmu pilvedest, mille mõõtmed ja massid on tohutu suured. Mingi gravitatsioonilise häirituse tõttu võib sellises pilves alata gravitatsiooniline kokkutõmbumine, mille tulemusena pilv kondenseerub soodsate füüsikaliste tingimuste puhul üheks või ka mitmeks täheks. Ja kuna kaugelt kõige levinumaks elemendiks Universumis on vesinik, siis koosnevadki tekkinud tähed põhiliselt vesinikust, mille aatom on lihtsaim võimalik - ühe prootoni ümber tiirleb üksainus elektron. Niisiis on tähed astronoomide arusaama kohasel põhiliselt vesinikust koosnevad hiiglaslikud gaasikerad, mille tsentris valitseb raskusjõu mõjul nii kõrge rõhk ja tihedus, et temperatuur on tõusnud seal kümnetesse miljonitesse kraadidesse. Selline temperatuur aga võimaldab vesiniku tuumadel, mis pole ju muud kui positiivselt laetud prootonid, üksteisele läheneda sellisele kaugusele, et tööle hakkavad tuumajõud, mis prootonid teineteise külge tõmbavad. Ja seda isegi hoolimata Coulombi seadusest, mis väidab, et elektriliselt samanimeliste laengute vahel toimivad tõukejõud! Kui nüüd seda protsessi terasemalt vaadelda, siis jääks isegi nendest kümnetest miljonitest kraadidest väheseks, et prootoneid liita, kuid siin tuleb appi kvantmehaanika, mis nn tunneleefekti abil lubab sel protsessil ometi toimuda. Hea küll, prootonid ühinesid - toimus termotuumareaktsioon, ja mis siis? Asi on selles, et Einsteini erirelatiivsusteooria kohaselt on mass ja energia peaaegu

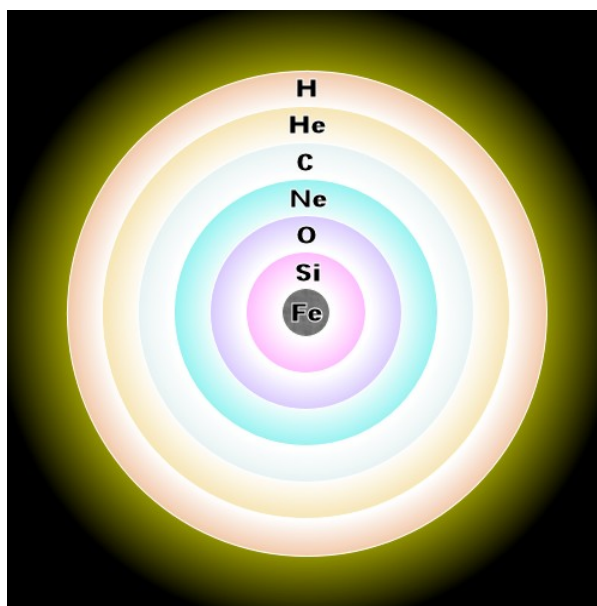


### Hertzsprung-Russelli diagramm

identsed. Ja kahe, või lõpuks nelja prootoni ühinemisel tekkinud heeliumi aatomi tuum on kergem, kui lihtsalt nelja prootoni masside summa. See vahe ongi see energia, mille abil kõik tähed, ka meie Päike, soojust ja valgust kiirgavad. Tõsi ta on, et need protsessid on tegelikkuses palju keerulisemad, kuid lõpptulemus on ikka sama.

Tähtede energiaallikas on meil selge, aga miks tähed raskusjõu mõjul kokku ei lange, sest gravitatsioon on ju vägev jõud? Olgu see gravitatsioon küll vägev, aga gaasirõhu gradient töötab sellele vastu, nii et lõpuks tasakaal nende kahe jõu vahel tekib ja täht stabiilseks jääb. Sellisena võib üks tavaline täht, nagu näiteks meie Päike, püsida miljardeid aastaid.

Kuid kõik tähed pole sugugi tavalised, mõned on juba palja silmaga vaadates palju heledamad kui teised. Muidugi on see enamasti tingitud sellest, et need heledamad tähed on meile lähemal, kuid mitte alati pole see nii. Sageli on



### **Tugevasti evolutsioneerunud suure massiga tähe ristlõige**

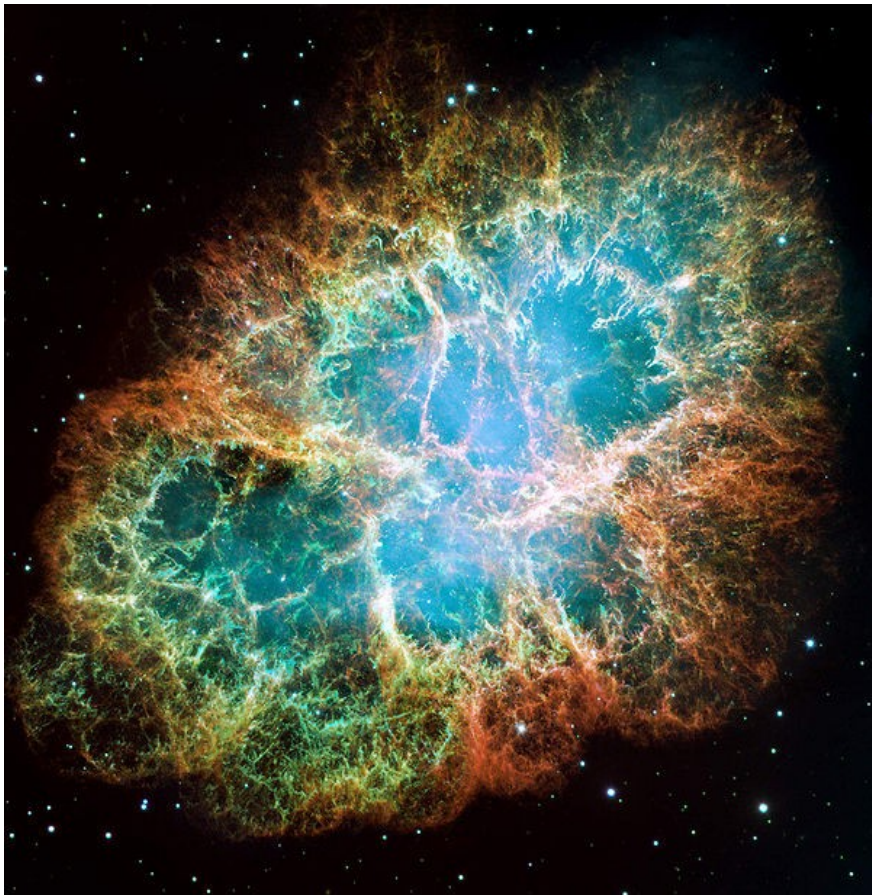
heledamad tähed ka palju suurema massiga kui vähem heledad.

### **Tähtede elutee lõpust**

Ütlesime, et tähtede elamise kiirus ja ka siis eluaeg sõltuvad nende massist. Kuid massist sõltub ka see, milline on nende elutee lõppvaatus. Kuid nagu inimeste eluski, nii ka tähtede elus sõltub palju sellest, kas neil on naabreid ja millised need naabrid on.

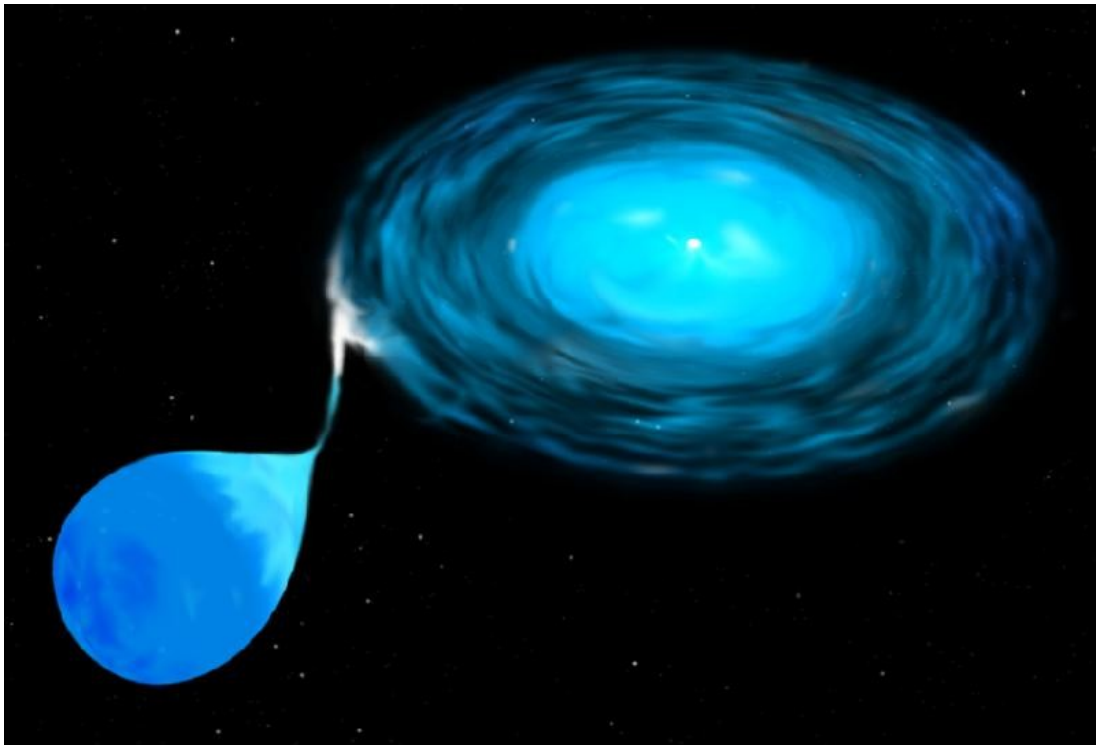
Nii umbes Päikese massiga tavaline üksiktäht areneb rahulikult, põletades vesinikku heeliumiks mitmed miljardid aastad, siis paisub punaseks hiidtäheks ja lõpetab oma elutee jahtuva valge kääbusena, milles enam termotuumareaktsioone ei toimu.

Suurema kui 8 Päikese massiga üksiktäht areneb aga hoopis teisiti. Alguses põletab ta oma keskosas vesinikku nagu iga teine normaalne täht (termin "põlemine" on siin ja edaspidi mitte keemiline hapnikuga ühinemisprotsess, vaid termotuumareaktsioon, so tuumade ühinemine). Selle tulemusena tekib sellesse alasse heeliumi tuum ja kasvab temperatuur, nii et heelium hakkab põlema süsinikuks ja hapnikuks. Samal ajal jätkab vesinik põlemist keskosa väliskihis, tootes aina rohkem heeliumi. Sees kasvab aina enam temperatuur ja



### **1054. aastal nähtud II tüüpi supernoova jäänus**

rõhk ning hapnik hakkab põlema räniks. Nii meenutab täht oma põlemiskihtidega sibulat. Ning see põlemine jätkub, kuni tuumas tekib raud, mis on juba selline element, mille tuumade ühinemiseks peab energiat kulutama, st seda ei vabane. Nii et rauaga termotuumareaktsioonid tähe keskosas ka lõpevad. Aga nüüd on temperatuur tähe tuumas nii kõrge (mõni miljard kelvinit), et tekkinud energiarikkad footonid hakkavad raua aatomituumi lõhkuma. Vabad elektronid, mis siiani aitasid tähte oma rõhuga tasakaalus hoida, hakkavad raskete aatomituumade prootonitega ühinema, andes neutronid ja palju neutriinosid, mis lahkuvad takistuseta tähest. Seejuures on tähe neutriinoheledus footonheledusest oma 10 miljonit korda suurem! Neutriinod viivad tähest minema tohutu energia, mida oleks vaja olnud tähe tasakaalus hoidmiseks ja nüüd kukub tuum vaba langemise kiirusega lihtsalt kokku. Tähe välimine osa pole esialgu sellest veel arugi



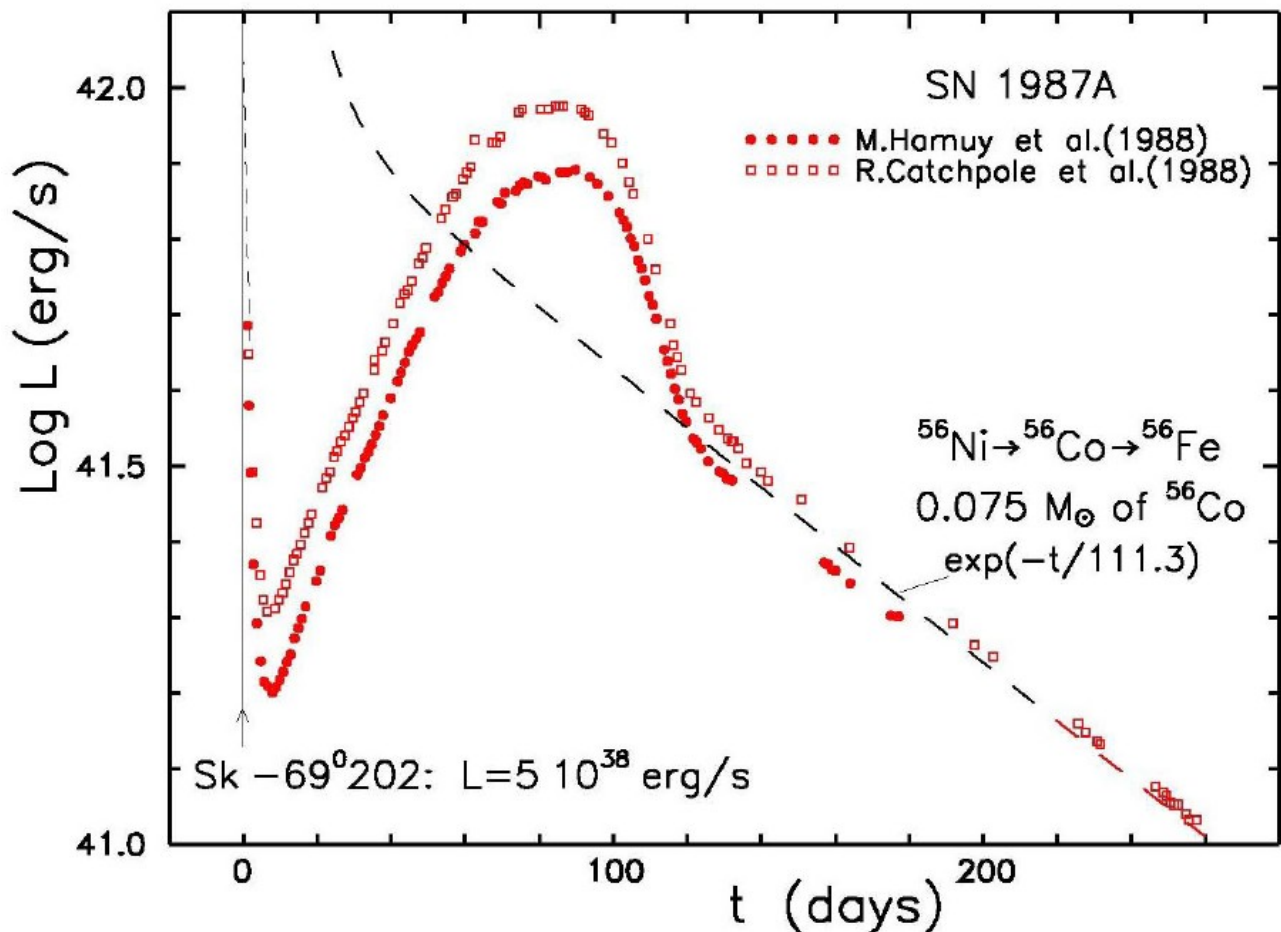
### **Kuidas valge kääbus (paremal) varastab naabri ainet**

saanud ja jääb tuuma kohale rippuma, kuid siis muidugi langeb tuumale järele. Sellise kollapsi käigus saavutatakse aine kiirus kuni 70 000 km/s. Tuuma aine muudkui langeb, kuni ta saavutab aatomi tuumaainest natuke suurema tiheduse, kuid siis kokkukukkumine peatub, sest tuumaainet kooshoidev jõud muutub tõmbuvast tõukuvaks. Ja siis jõuab väliskest oma langemisega äkitselt nagu tahkeks muutunud kokkukukkunud tuuma peale. Loomulikult ei jää väliskestal midagi muud üle kui pörkuda ja hiiglasliku kiirusega minema lennata, nii et endisest tähest jääb järgi vaid see tuuma osa, mis siis sõltuvalt tähe massist võib saada kas valgeks kääbuseks, neutrontäheks või hoopis mustaks auguks.

See kõik kokku ongi II tüüpi supernoova plahvatus.

Kõik see kirjeldatu käis siis **üksiku** massiivse tähe elu lõpu kohta. Osutus, et Tycho supernoova siiski ei olnud seda tüüpi plahvatus.

Astronoomid tunnevad veel teistsugust võimsat tähe plahvatust, mis võib toimuda lähiskaksiktähtedes (need on sellised kaksiktähed, kus tähtede kaugus on enam-vähem võrdne tähtede läbimõõduga). Nende hulgas on palju selliseid,



### Suure Magalaesi Pilve 1987. a. supernoova heledusköver

kus üks komponent on valge kääbus, kus, nagu öeldud, tuumareaktsioone enam ei toimu. India päritolu Nobeli preemia laureaat Chandrasekhar tõestas juba eelmise sajandi 30. aastatel, et valge kääbuse mass ei saa ületada 1.44 Päikese massi, sest suurema massi korral ei suuda gaasirõhu gradient vastu seista gravitatsioonile (see mass võib sõltuvalt valge kääbuse keemilisest koostisest olla ka nii väike kui 1.38 Päikese massi). Kui see valge kääbus on põhiliselt süsinikust ja hapnikust koosnev, siis naabrilt ainet varastades kasvatab ta oma massi kuni see saab vaid umbes 1% väiksemaks, kui Chandrasekhari piirmass. Rehkenduste kohaselt algab valgel kääbusel siis umbes 1000 aastat kestev konvektsiooni- ehk läbisegamisfaas. Loomulikult oli aine varastamise käigus tõusnud ka valge kääbuse temperatuur, nii et läbisegamisfaas lõpeb koletusliku plahvatusena, sest tähe keskosas tekib

süsiniku põlemise front, mis haarab terve tähe. Kui sama sünniks normaalses tähes, siis hakkaks täht kähku paisuma, et lasta endast läbi see tohutu vabanev energia. Kuid valges kääbuses on aine kõdunud ja sellise aine olekut reguleerivad seadused on teistsugused - rõhk seal temperatuurist ei sõltu, mis tähendab seda, et mõne sekundi jooksul muudetakse enamus süsiniku aatomitest reaktsioonide käigus raskemateks elementideks ning vabanev energia paiskab tähe laiali kiirusega kuni 20 000 km/s. Ja selles ürgjõuga katastroofis sünnibki Ia tüüpi supernoova, mille heledus on umbes 5 miljardit korda suurem kui Päikese oma.

Ia tüüpi supernoovasid kutsutakse ka standardküünlateks, sest kuna nende plahvatav mass on enam-vähem ühesugune Chandrasekhari piirmassi tõttu, siis nende heledus on ka enam-vähem sama. Mõõtes nende näivat heledust saame me teada nende kauguse, ja see on erakordselt tähtis asi, sest annab meile mõõdulindi, mille abil mõõta kaugusi nende galaktikateni, kus sellised küünlad süttivad. Just nende abil saadi hiljuti teada, et meie Universum paisub kiirenevalt.

Ning veel üks asi, mida tuleb rõhutada - supernoovad on need tähed, mis oma plahvatustega rikastavad maailma raskete elementidega. Ja igaühes meist on selliseid aatomeid, mis on pärit mõnest supernoova plahvatuselt.

## **Tycho supernoova**

Raadioteleskoopidega mõõdeti Tycho heleda tähe koordinaatidega määratud alalt lähtuvat kiirgust alates juba 1952. aastast. Alles 1960. aastatel leiti sealt Mt Palomari teleskoobiga ka optilises piirkonnas kiirgavaid aineleore. See on siis 1572. aastal vaadeldud 7500 valgusaasta kaugusel plahvatanud supernoova jäänus, mis aina kiirgab ja jätkab laialilendamist, praegu kiirusega umbes 9000 km/s.

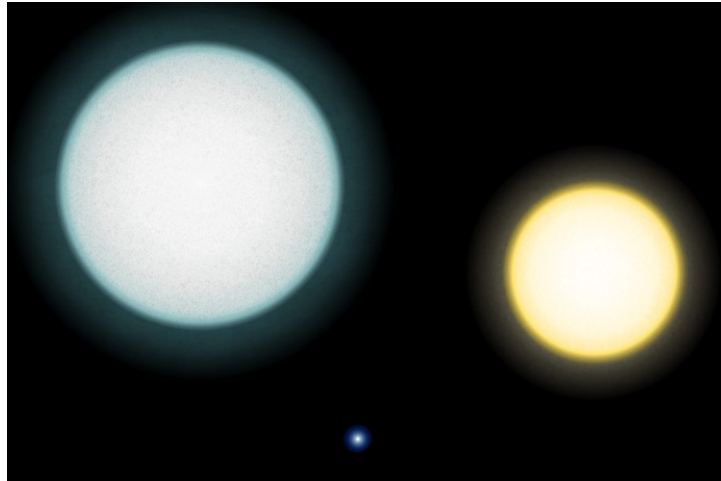
2004. aasta oktoobris ilmus ajakirjas Nature artikkel, et Tycho objekti naabruses leiti G2 spektriklassi täht, siis pea samasugune kui meie Päike. Selle kohta arvatakse, et see ongi plahvatanud valgust kääbusest ainevarga ohver - tema kompanjon lähiskaksüsteemist. Täht sai nimeks Tycho G. Vaatlused

kinnitasid, et ta oli enne plahvatust olnud kas peajada täht või siis allhiid ja et ta oli kaotanud oma väliskihete. Kõige kindlamalt osutab aga sellele, et ta oli plahvatava valge kääbuse naaber, see fakt, et ta liikumiskiirus on 136 km/s, mis on rohkem kui 40 korda suurem kui ta naabruses olevatel tähtedel. Nii võimsa müksu sai ta oma naabri plahvatuselt.

Tänavu septembris teatati veel ühest väga huvitavast vaatlusest seoses Tycho supernoovaga. Nimelt vaadeldi Jaapani Subaru teleskoobiga (diameeter 8.2 m, Mauna Kea, Havai) Tycho supernoova kiirguse spektrit plahvatuse haripunkti lähedal. See sai võimalikuks nii, et plahvatavalt tähelt lähtunud kiirgusvoog kohtas oma teel gaasudu, millelt peegeldus ja jõudis niiviisi suure hilinemisega Maale, kus astronoomid kiirguse kinni püüdsid. 436 aastat hiljem! Tycho spekter tõestas, et tegu oli tõepoolest Ia tüüpi kuuluva normaalse supernoovaga.

X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X

Me oleme kirjeldanud ülivõimsaid plahvatusi, mis kusagil kaugel on toimunud ja toimuvad. Aga mis siis, kui mingi täht siinsamas meie nina all plahvatab? Hea küll, me teame, et Päike on rahulik ja plahvatada ei kavatse, aga tähti on ju palju. Astronoomid on välja arvanud, et lähemal kui 26 valgusaastat plahvatav supernoova võib meid ilma jätta kaitsvast osoonikihist ja kui plahvatus veel lähemal toimub, siis läheks asi juba tõsiseks. Meie suureks õnneks selliseid tähti meie naabruses pole. Kõige lähemal asuv supernoova kandidaat on lähiskaksiktäht nimega IK Pegasi, mis asub 150 valgusaasta kaugusel. Ja selle plahvatuseni läheb veel tükk aega ning vahepeal liigub see süsteem meist kogu aeg eemale, seega vähendades veelgi ohtu.



**Lähim võimalik supernoova kandidaat IK Pegasi (pisike täht all keskel**

### **Kokkuvõtteks**

Mida kõigest sellest jutust meelde jätta?

Ilmselt seda, et teatud sobivate tingimuste puhul on tähed võimelised kohutava jõuga plahvatama ning et nad rikastavad selliste plahvatustega Universumit raskete elementidega, mida ka meie endi valmistamiseks vaja läheb.

Ja seda, et võib-olla andis Päikesesüsteemi tekkele hiiglaslikust gaasi- ja tolmupilvest algtõuke lähedal plahvatanud supernoova.

Ning vast ka seda, et Tycho supernoova tüüpi plahvatavate tähtede abil saame mõõta hiiglaslikke kaugusi Universumis, niiviisi rohkem teada saades oma kohast selles.