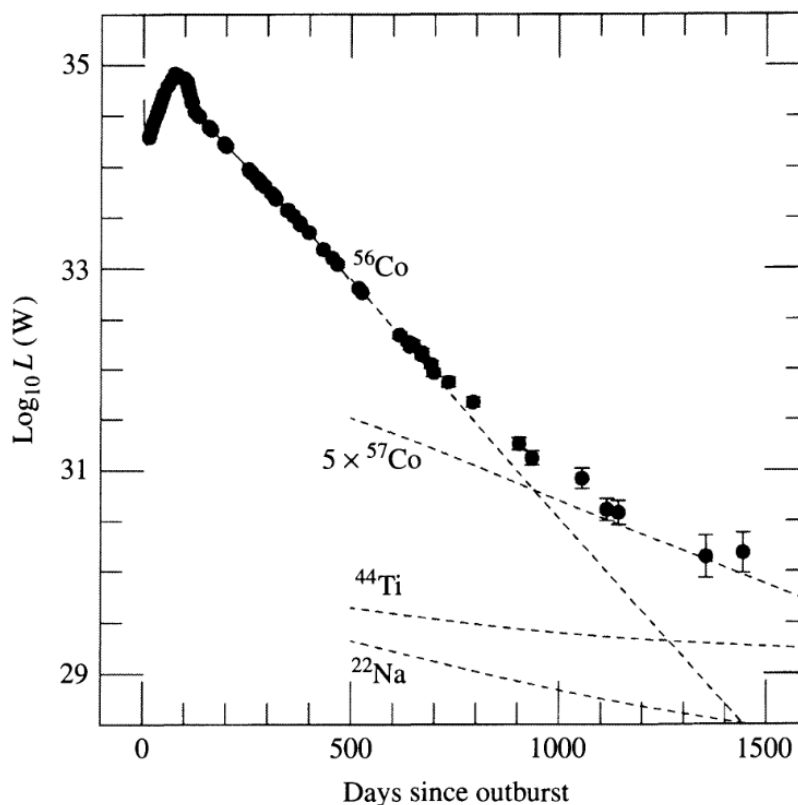


Astronomija i astrofizika II

3. Masivne zvijezde, supernove i provale gama zračenja

1. Odredite masu mirovanja ekvivalentnu energiji oslobođenoj u eksploziji supernove te izračunajte količinu željeza kojeg je u tom procesu moguće stvoriti oslobađanjem tolike količine nuklearne energije vezanja. Energija vezanja najstabilnijeg izotopa željeza-56 ($^{56}_{26}\text{Fe}$) iznosi 492.26 MeV po atomu dok je masa jezgre željeza 55.934939 u. Prilikom erupcije supernove oslobodi se oko 10^{46} J energije.
2. Prilikom kolapsa jezgre radijusa sličnog Zemljinom na radijus od samo 50 km, oslobađa se ogromna količina energije. Da li tako oslobođena energija može objasniti supernovu s kolapsom jezgre? Pretpostavite Newtonovu fiziku u procjeni količine energije oslobođene kolapsom. Radijus Zemlje iznosi 6370 km.
3. Odredite Eddingtonovu granicu za η Car i usporedite je s opaženim luminozitetom te zvijezde. U skladu s tom usporedbom, kakvo ponašanje očekujete? Masa η Car iznosi oko $120 M_{\text{Sun}}$, a luminozitet $5\,000\,000 L_{\text{Sun}}$.
4. Za vrijeme velike erupcije η Car, prividna zvjezdana veličina dostigla je vrijednost $m_V \sim 0$. Udaljenost do ove zvijezde iznosi oko 2300 pc, dok je apsolutni sjaj Sunca $M_{\text{Sun}} = 4.74$, luminozitet $L_{\text{Sun}} = 3.846 \cdot 10^{26}$ W, masa $M_{\text{Sun}} = 2 \cdot 10^{30}$ kg. Ukoliko je međuzvjezdana ekstinkcija ove zvijezde 1.7 mag, a bolometrijska korekcija gotovo jednaka nuli, odredite:
 - a. luminozitet η Car za vrijeme velike erupcije,
 - b. ukupnu količinu energije fotona oslobođenu kroz 20 godina velike erupcije,
 - c. količinu energije oslobođene u obliku kinetičke energije erupcije ukoliko je $3 M_{\text{Sun}}$ materijala izbačeno pri brzini od 650 km/s.
5. Kutna udaljenost od središta jednog od režnjeva η Car iznosi oko $8.5''$. Odredite vrijeme proteklo od velike erupcije ukoliko je brzina širenja režnjeva konstantna i iznosi 650 km/s.
6. Supernova tipa II nastala je kolapsom jezgre mase $1 M_{\text{Sun}}$ u zvijezdi mase $10 M_{\text{Sun}}$. Odredite konačan polumjer ostatka zvijezde nakon eksplozije supernove ukoliko je oslobođena energija dovoljna za izbacivanje preostale mase zvijezde od $9 M_{\text{Sun}}$ u beskonačnost. Pretpostavite da je sva oslobođena energija u kolapsu pohranjena u neutrinima i da je 1% neutrina apsorbirano u gornjoj ovojnici zvijezde kako bi omogućilo izbacivanje ostataka supernove. Polumjer superdiva mase oko $10 M_{\text{Sun}}$ iznosi oko $100 R_{\text{Sun}}$. Za superdiva čija je većina mase sadržana u središtu, srednji polumjer iznosi oko $1 R_{\text{Sun}}$. Sunčev polumjer iznosi $R_{\text{Sun}} = 7 \cdot 10^8$ m, a Zemljin polumjer 6370 km.
7. Odredite maksimalnu prividnu zvjezdanu veličinu koju očekujete za supernovu u Rakovici ukoliko je njezina udaljenost 2000 pc, a apsolutni bolometrijski sjaj u maksimumu tipičan za supernovu tipa II. Usporedite dobiveni sjaj sa sjajem Venere (-4 mag).
8. Procijenite vrijeme potrebno za homologni kolaps unutarnjih dijelova željezne jezgre masivne zvijezde što predstavlja početak supernove s kolapsom jezgre. Gustoća u središtu zvijezde mase $15 M_{\text{Sun}}$ iznosi $\rho_0 \sim 10^{13}$ kg/m³.
9. a) Odredite oblik svjetlosne krivulje supernove koju očekujete ukoliko je ona određena energijom oslobođenom u radioaktivnom raspadu izotopa koji ima konstantu raspada λ .
b) Pokažite da relacija $dM_{\text{bol}}/dt = 1.086\lambda$ proizlazi iz $d\log L/dt = -0.434\lambda$.

10. Odredite brzinu opadanja sjaja u svjetlosnoj krivulji supernove (u mag/dan) ukoliko je linearno opadanje takve svjetlosne krivulje uzrokovano radioaktivnim raspadom kobalta ($^{56}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{56}_{26}\text{Fe}$) sa vremenom poluživota 77.7 dana u izbačenom materijalu.
11. Raspadom jednog atoma $^{56}_{27}\text{Co}$ oslobodi se 3.72 MeV energije. Ako je u eksploziji supernove SN1987A nastalo $0.075 M_{\text{Sun}}$ kobalta raspadom $^{56}_{28}\text{Ni}$, odredite količinu oslobođene energije u sekundi uslijed radioaktivnog raspada kobalta:
- upravo nakon nastanka kobalta,
 - godinu dana nakon eksplozije supernove,
 - usporedite rezultate sa svjetlosnom krivuljom SN1987A.

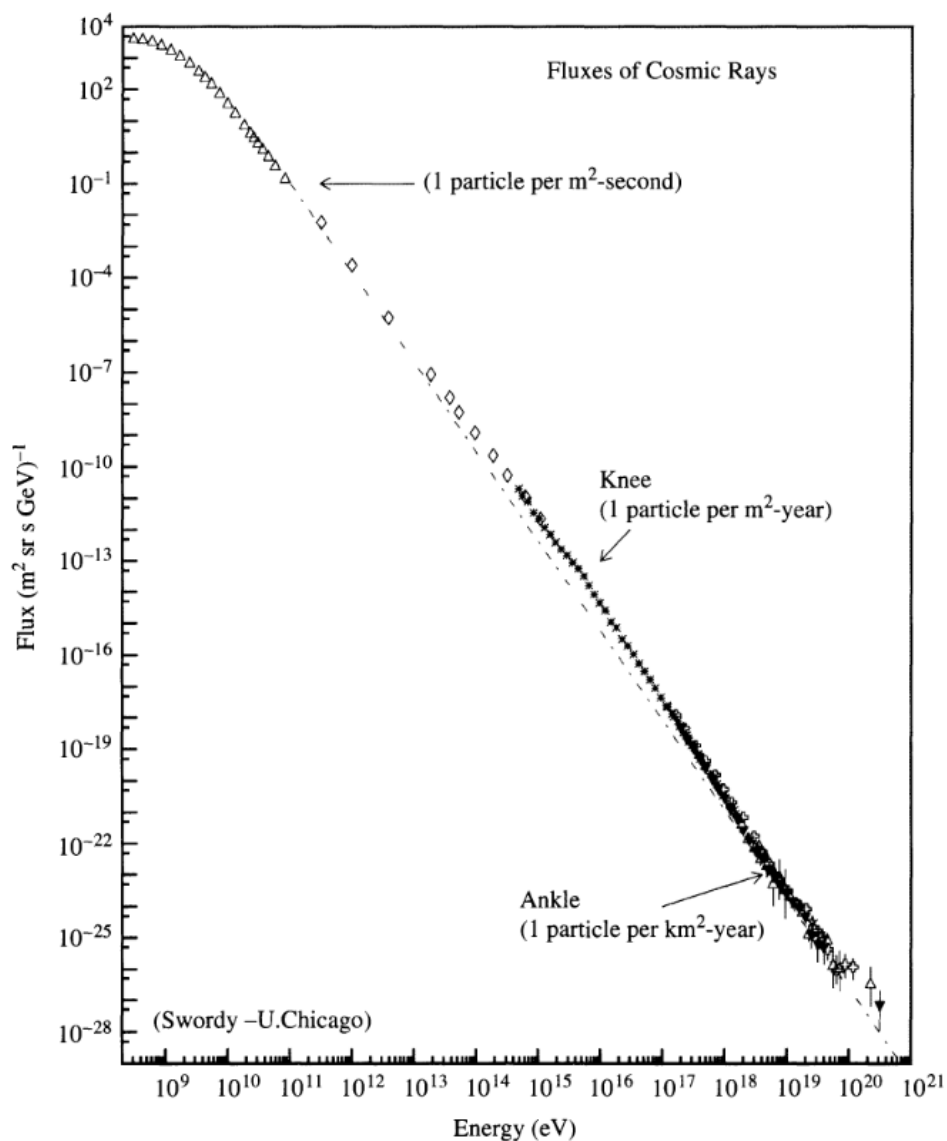


12. Tok neutrina sa supernove SN1987A na Zemlji je iznosio oko $1.3 \cdot 10^{14} \text{ 1/m}^2$. Odredite količinu energije oslobođenu kroz neutrine ukoliko je srednja energija neutrina 4.2 MeV. Udaljenost do Velikog Magellanovog oblaka iznosi oko 50 kpc.
13. Procijenjeno je da se u našoj galaksiji nalazi oko 100 000 neutronske zvijezde. Pokažite da se svaki izvor GRB-a mora ponavljati ako su opaženi GRB povezani s neutronske zvijezde u našoj galaksiji. Koliko će iznositi srednje vrijeme između svakog GRB-a ukoliko pretpostavljamo da svaka neutronska zvijezda stvara provala gama zračenja? Opažena učestalost GRB-a je jednom dnevno.
14. Pretpostavite da postoje dvije populacije GRB-ova s energijama E_1 i E_2 . Ako su izvori homogeno raspoređeni u svemiru s brojčanim gustoćama n_1 i n_2 , pokažite da je ukupan broj opaženih provala s fluencijom $\geq S$ proporcionalno sa $S^{-3/2}$.
15. Pokažite da čestice koje tvore kozmičke zrake s energijama većim od 10^{19} eV neće biti vezane za Mliječni put. Karakteristična skala duljine za Mliječni put iznosi oko 30 kpc. Kako se ponašaju čestice s energijama između 10^{16} eV i 10^{19} eV ? Odredite Lorentzov faktor za proton energije 10^{20} eV .

16. Netermalni spektar se često prikazuje s funkcijom oblika:

$$F = C E^{-\alpha}$$

Odredite vrijednost parametra α u području 10^{11} eV do 'koljena', te od 'koljena' do 'gležnja'.



17. Ukoliko je fluena nekog GRB-a iznosila 10^{-7} J/m², te uz pretpostavku da se izvor nalazi negdje u Oortovom oblaku unutar Sunčevog sustava, na udaljenosti reda 50 000 AU te da je emisija energije iz izvora izotropna, odredite energiju izvora. Odredite energiju izvora istog GRB-a ukoliko je izvor u nekoj dalekoj galaksiji na udaljenosti 1 Gpc.
18. Ukoliko je Larmorov polumjer značajno veći od skale udaljenosti djelovanja magnetskog polja, česticu više ne možemo smatrati vezanom za taj sustav. U međuzvezdanom prostoru magnetska polja imaju jačinu od oko 10^{-10} T. Koliko u tom slučaju iznosi Larmorov polumjer za proton energije 10^{15} eV?