

Naloga o nevtronski zvezdi

Pri rentgenskih opazovanjih nevtronske zvezde z maso $1,4M_{\text{Sonca}}$ in polmerom 11 km so našli emisijsko črto z energijo 400 keV.

1. Kateri proces je povzročil to črto?
2. Na kateri višini nad površino zvezde se ta proces dogaja?

Rešitev:

Ključ do rešitve problema je odgovor na prvo vprašanje. Izbrati morate takšen proces, ki bi privedel do emisije fotonov s skoraj enako energijo, sicer črta ne bo izstopala v spektru. **Elektronski prehodi v atomih** niso primerni, ker so ustrezne energije prenizke. Lahko predpostavljamo, da govorimo o prehodu na skoraj v celoti ioniziran težki atom, vendar vemo, da ustrezne črte padejo največ v območje mehkih rentgenskih žarkov (z energijami za dva reda velikosti manjša navedene - **zavorno sevanje**) ali ugibati, da morajo biti karakteristične energije (**karakteristično sevanje**) takih prehodov za dva ali tri reda velikosti večje od značilnih energij običajnih prehodov v navadnih atomih (zaradi odsotnosti kemijskih elementov s številkami okoli 100 in več). Morda kdo pomisli na obstoj **ciklotronskih črt** v spektru nevtronskih zvezd (ki izhajajo iz gibanja nabitih delcev v najmočnejšem magnetnem polju), vendar je njihova energija tudi red velikosti manj, in kar je še bolj pomembno, to so **absorpcijske črte** in ne emisijske, kot je navedeno. Med **jedrskimi reakcijami** pa nastajajo γ -žarki, katerih energija je bistveno večja.

Obstaja pa še en proces, ki je po eni strani precej pogost, po drugi strani pa vodi do nastajanja fotonov približno potrebne energije. To je uničenje - **anihilacija** para elektron-pozitron. Vendar se mora v tem primeru oblikovati črta z energijo 511 keV (to je energija mirovanja elektronov), kar pomeni, da je sevanje opravilo **rdeči premik**

$$z = \frac{511\text{keV} - 400\text{keV}}{511\text{keV}} \approx \frac{1}{5}.$$

Kaj bi lahko bilo? Nevtronske zvezde se da opazovati celo v bližnjih galaksijah, tako da se **kozmoška narava rdečega premika** lahko takoj izključi, ker je prevelik. **Dopplerjev premik** se tudi ne prilega - saj bi se moral predmet premikati glede na nas s hitrostjo blizu svetlobne hitrosti.

Ostaja samo ena možnost - **gravitacijski rdeči premik** zaradi širjenja svetlobe v gravitacijskem polju. Pravzaprav, če sevanje nastane nekje blizu površine zvezde (kar posredno izhaja iz same formulacije problemskega vprašanja), potem to pomeni, da svetloba pride iz gravitacijskega potenciala, ki ga ustvari objekt, katerega polmer je le nekajkrat večji od Schwarzschildovega polmera in gravitacijski rdeči premik v takem položaju bi moral biti precej opazen.

Preostane ocena velikosti gravitacijskega rdečega premika, ki ga ustvarja objekt mase M za sevanje, ustvarjeno na razdalji r od njega.

$$z \approx \frac{\varphi}{c^2} = \frac{GM}{c^2 r}.$$

(kjer je φ gravitacijski potencial), iz razpoložljivih podatkov lahko takoj izračunamo r . Posledično je

$$r = 11km,$$

tj. **proces anihilacije elektron-pozitron poteka praktično na površini nevtronske zvezde.**

Opombe prevajalca:

1. **Gravitacijski potencial** φ na razdalji r je pravzaprav potencialna energija, preračunana na enoto mase, v težnostnem polju telesa z maso M . G je gravitacijska konstanta.

$$\varphi = \frac{W_p}{m}, \quad W_p = -\frac{GM}{r}$$

S predznakom $-$ spredaj hočemo povedati, da moramo opraviti delo, če hočemo telo odtrgati iz težnostnega polja tega telesa. Pri majhnih spremembah višine ta obrazec preide v osnovnošolskega za potencialno energijo

$$W_p = mgh.$$

2. Formula

$$z = \frac{\varphi}{c^2}$$

je relativistična, več o tem najdeš v spodnjih linkih. Tam najdemo relativistično enačbo za relativni rdeči premik

$$1 + z = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}}$$

Če to enačbo razvijemo v binomsko vrsto, dobimo ravno zgornjo formulo.

3. Anihilacija - elektron e^- in njegov antidelec pozitron e^+ se srečata in medsebojno uničita,

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma,$$

vsa njuna masa se spremeni v energijo po enačbi $W = mc^2$. Zaradi ohranitve gibalne količine ne more nastati en sam foton, temveč dva, zelo poredko celo trije. **Izračunaj**, koliko eV energije nastane, in rezultat primerjaj s podatki v nalogi.

Povezave:

[Gravitacijske leče](#)

[Rdeči premik](#)

[Gravitacijski rdeči premik](#)

prevedel V. Petruna, jan 2019