

Úloha V.S ... seriálová

6 bodů; průměr 2,33; řešilo 18 studentů

- a) Aktivní galaxie se na obloze stejně jako hvězdy jeví jako bodové zdroje. Zkuste navrhnout co nejvíce způsobů, jak rozlišit hvězdu a aktivní galaxii.
- b) Z rádiového pozorování kvasaru 3C 273 se zjistilo, že shluk hmoty v jetu se pohybuje od aktivního jádra s úhlovou rychlostí $\mu = 0,0008 \text{ rok}^{-1}$. Předpokládejte, že shluk se pohybuje v rovině oblohy kolmo na linii pozorování, vzdálenost je $d = 440/h \text{ Mpc}$, h je Hubbleova konstanta. Vyjádřete zdánlivou rychlost v_{zd} .
- c) Odvodte, pro jakou hodnotu úhlu φ bude β_{zd} maximální?
- d) Předpokládejme, že supermasivní černá díra v centru galaxie má účinnost 30%. Kolik energie vyzáří, pohltí-li objekt o hmotnosti Země?

Janapka.

Hvězda vs. galaxie

Máme-li k dispozici dostatečně dobrou technologii, mohli bychom aktivní galaxie od hvězd principiálně rozlišit tak, že kolem aktivní galaxie budeme pozorovat mlhavé halo, tedy samotnou hostitelskou galaxii. Takového výsledku je v principu možné dosáhnout s největšími dalekohledy na světě, jako je Gran Telescopio Canarias (GTC na La Palmě), Very Large Telescope (VLT v Chile) nebo Keck I a II (na Mauna Kea). Nicméně ne každý má k dispozici velký dalekohled. Principiálně lze aktivní galaxii od hvězdy rozlišit podle vyzařovaného spektra. Aktivní galaxie jsou pozorovatelné od rádiových vlnových délek až po gama. V případě hvězd nic takového nepozorujeme. Výjimkou jsou například pulsary nebo neutronové hvězdy, které můžeme pozorovat přes poměrně široké elektromagnetické spektrum.

V takovém případě nám pomůže spektrum samotných objektů. Spektrální čáry, které pozorujeme u aktivních galaxií, jsou neztotožnitelné s ničím, co bychom pozorovali u hvězd. U hvězd pozorujeme zejména spektrální čáry vodíku (neboť právě z něj jsou hvězdy tvořeny) a několika dalších těžších prvků, popřípadě u chladných hvězd, molekul. V aktivních galaxiích pozorujeme silně ionizované záření, které v hvězdách nemá co dělat. Samozřejmě roli hraje i vzdálenost. Spektra aktivních galaxií jsou posunuta do červené části spektra díky červenému posuvu. Hvězdy by na takovou vzdálenost nebyly pozorovány.

Další způsob, jak odlišit hvězdu a aktivní galaxii, je proměnlivost. Pozorujeme-li proměnlivé hvězdy, zjistíme, že proměnlivost je zpravidla periodická. V případě aktivních galaxií tomu tak není. Periodicita nebyla dosud pozorována (periodicita je způsobena pravděpodobně dopadem shluků hmoty na supermasivní černou díru, shluky nemusí mít stejnou hmotnost a díky tomu pozorujeme různé intenzity).

Kombinací těchto pozorovatelných parametrů můžeme poměrně snadno zjistit, zda-li se jedná o hvězdu nebo galaxii (a nepotřebujeme k tomu dokonce ani nejlepší dalekohledy světa).

Zdánlivě rychlá hmota

Představíme si, jak jsou promítnuty rychlosti a dojdeme k jednoduchému vztahu pro zdánlivou rychlost $v_{zd} = d\mu$. Po dosazení dostaneme hodnotu $1,67 \cdot 10^9 \text{ h}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 5,57c \text{ h}^{-1}$. Do tohoto vztahu vyjádření dosadíme Hubbleovu konstantu a dostaneme hodnotu $v_{zd} = 7,85c$. Shluk hmoty se tedy pohybuje skoro osmkrát rychleji než světlo. Taková rychlost je ve fyzice nepřístupná. Zamysleme-li se nad tím, kde je v úvaze chyba, zjistíme, že jsme předpokládali, že zhustek se pohybuje v rovině oblohy. Taková podmínka zjevně nemůže platit.

Maximum

Chceme znát, jaké nejvyšší nadsvětelné rychlosti budeme pozorovat ve zdánlivých rychlostech. V seriálu je uveden poměr β pro skutečnou rychlost, nás by zajímal pro zdánlivou

$$\beta_{zd} = \frac{v_{zd}}{c} = \frac{v \sin \varphi}{c(1 - \beta \cos \varphi)},$$

kde $\beta = v/c$. Vztah můžeme přepsat do tvaru

$$\beta_{zd} = \frac{\beta \sin \varphi}{1 - \beta \cos \varphi}.$$

Ptáme se, pro jaký úhel bude hodnota β_{zd} maximální, takže budeme derivovat:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \beta_{zd}}{\partial \varphi} &= 0, \\ \frac{\partial \beta_{zd}}{\partial \varphi} &= \frac{\beta \cos \varphi}{(1 - \beta \cos \varphi)} - \frac{(\beta \sin \varphi)(\beta \sin \varphi)}{(1 - \beta \cos \varphi)^2}, \\ \beta \cos \varphi(1 - \beta \cos \varphi) &= \beta^2 \sin^2 \varphi = \beta^2 - \beta^2 \cos^2 \varphi, \\ \varphi_{\max} &= \arccos \beta. \end{aligned}$$

Výsledek dosadíme do vztahu, který jsme derivovali a vypůjčíme si goniometrické identity

$$\sin(\arccos \beta) = \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Nakonec získáme vztah

$$\beta_T^{\max} = \frac{\sqrt{\beta(1 - \beta^2)}}{(1 - \beta^2)}.$$

Půjčíme-li si relativistickou notaci $\gamma = 1/(1 - \beta^2)$, pak můžeme výsledek přepsat jako $\beta_T^{\max} = \beta\gamma$. Co to znamená? I pro nějak extrémní rychlosti zhutků hmoty, nepříliš odkloněné od linie pozorování (např. $\varphi \approx \arccos \beta$), můžeme pozorovat nadsvětelné zdánlivé rychlosti, které přesahují rychlost světla v rádech γc .

Země ke snídani

Jedná se v podstatě o úplně jednoduchý problém převodu hmoty na energii, k čemuž nám slouží nechvalně známý relativistický vztah $E = mc^2$. V tomto případě vztah upravíme o účinnost μ , tedy $E = \mu mc^2$. Hmotnost země známe ($5,9742 \cdot 10^{24}$ kg), stejně tak známe rychlost světla. Po vyčíslení dojdeme k hodnotě $1,61 \cdot 10^{41}$ J. Pro srovnání, výbuch supernovy je v rádech 10^{44} J. Srovnáme-li to z pozemskými energiemi, tak zemětřesení, které zasáhlo Japonsko v roce 2011, mělo energii 10^{22} J, popřípadě roční spotřeba energie v celých USA je v rádu 10^{20} J.

Jana Poledniková
janap@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.