



Supernova SN Refsdal in gravitacijsko lečenje

Uvod

Kako je mogoče napovedati pojav supernove? Supernovo opazimo šele v poznejši fazi, ko postane dovolj svetla. Zato zamudimo zanimivo začetno fazo spremembe svetilnosti oziroma svetlobne krivulje sija supernove.

SN Refsdal je bila prva supernova, pri kateri so astronomi uspešno napovedali pojav njenega izbruha zaradi gravitacijskega lečenja.

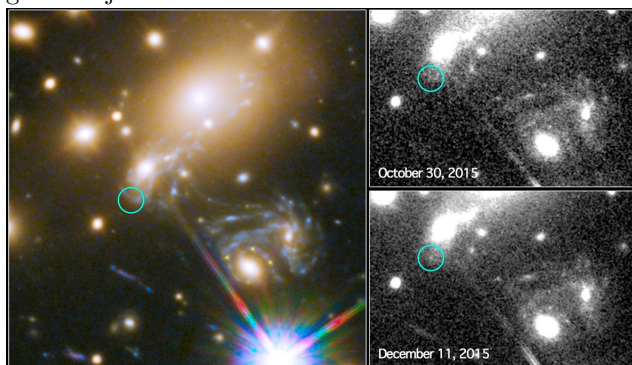
Kaj je gravitacijsko lečenje?

Po splošni teoriji relativnosti masa ukrivlja prostor in čas. Ko svetloba iz oddaljenega objekta potuje mimo zelo masivnega telesa, na primer jate galaksij, se njena pot ukrivi. Ta pojav imenujemo gravitacijsko lečenje.

Lahko se zgodi, da zaradi gravitacijskega lečenja dobimo sliko istega astronomskega objekta v več kopijah. Pri tem se svetloba objekta tudi zbira tako, da se svetlost objekta tudi poveča. Ker svetloba potuje po različnih poteh, nas posamezne kopije slike lahko dosežejo v različnih časih.

Supernova SN Refsdal

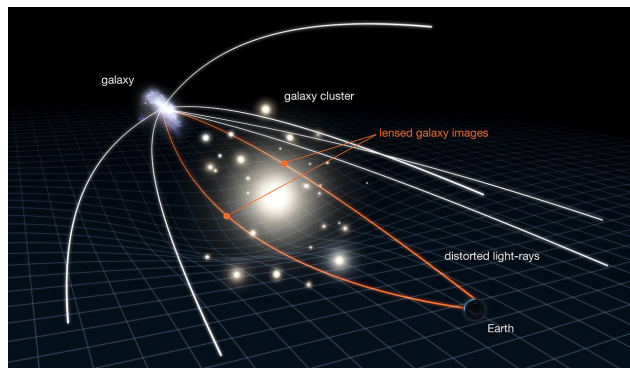
SN Refsdal je eksplodirala v galaksiji, ki je od nas oddaljena približno 9,3 milijarde svetlobnih let. Med supernovo in Zemljo leži masivna jata galaksij **MACS J1149.5+2223**. Gravitacijsko polje jate deluje kot gravitacijska leča.



Supernova SN Refsdal

Zaradi gravitacijskega lečenja so astronomi opazili sliko štirih kopij iste galaksije, v kateri se je pojavila supernova. Svetloba supernove je potovala do Zemlje po več različnih poteh. Nekatere poti so bile daljše in tudi sama gravitacija je povzročila dodatni časovni zamik (tako imenovan Shapirojev zamik).

Zato so posamezne slike iste eksplozije prispele na Zemljo ob različnih časih. Razlike so znašale od nekaj dni do približno enega leta. Prvič pa se je pojavila supernova desetletje prej, ko pa ni bila opažena.



Primer gravitacijskega lečenja jate galaksij

Na podlagi modelov porazdelitve mase v jati galaksij so astronomi leta 2015 izračunali, kdaj in kje se bo ponovno pojavila slika supernove.

Vesoljski teleskop **Hubble** je konec leta 2015 dejansko opazil izbruh ob približno napovedanem času.

Predavanje SN Refsdal na spletu NASA

Predavneje Veritasium

Supernova je poimenovana po norveškem astrofiziku **Sjurju Refsdalu**. Že leta 1964 je predlagal, da bi bilo mogoče z gravitacijsko lečenimi supernovami meriti pomembne kozmološke parametre. Njegova ideja je bila potrjena šele več kot petdeset let pozneje z odkritjem supernove SN Refsdal.

Supernova SN Refsdal je pomemben primer uporabe gravitacijskega lečenja v sodobni astronomiji. Opazovanje več slik iste supernove in njihovih časovnih zamikov je omogočilo preverjanje teoretičnih modelov gravitacije, izboljšalo razumevanje porazdelitve temne snovi in odprlo nove možnosti za raziskovanje razvoja vesolja.

Ukrivljanje svetlobe v gravitacijskem polju

Dimenzijska analiza ukrivljanja svetlobe v gravitacijskem polju

Pri prehodu svetlobnega žarka mimo masivnega telesa se zaradi gravitacijskega polja smer njegovega gibanja spremeni. Namen dimenzijske analize je določiti funkcijsko odvisnost odklonskega kota od osnovnih fizikalnih parametrov.

Predpostavimo, da je odklonski kot θ odvisen od gravitacijske konstante G , mase telesa M , hitrosti svetlobe c in najmanjše razdalje svetlobnega žarka od

MESEČNEGA SESTANKA JULIJA IN AVGUSTA NI

Bernard Ženko

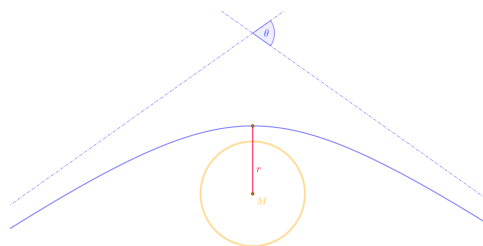
središča telesa (udarni parameter) r . Njihove dimenzije so

$$[G] = L^3 M^{-1} T^{-2}, [M] = M, [c] = LT^{-1}, [r] = L,$$

kjer je L dolžina [m], M je masa [kg] in T je čas [s].

Odklonski kot je brezdimenzijska količina. Predpostavimo odvisnost odklonskega kota:

$$\theta \propto G^a M^m c^d r^e.$$



Svetlobni žarek v gravitacijskem polju

Dimenzijska analiza

Dimenzije desne strani so

$$L^{3a+d+e} M^{-a+m} T^{-2a-d}.$$

Ker mora biti rezultat brezdimenzijski, morajo biti potenčni eksponenti vseh osnovnih dimenzij enaki nič:

$$3a + d + e = 0,$$

$$-a + m = 0,$$

$$-2a - d = 0.$$

Rešitev sistema je: $m = a$, $d = -2a$, $e = -a$.

Če izberemo $a = 1$, dobimo $\theta \propto \frac{GM}{rc^2}$ oziroma $\theta = k \frac{GM}{rc^2}$,

kjer je k brezdimenzijska konstanta.

Primerjava z natančnimi teorijami

Dimenzijska analiza ne določi vrednosti konstante k . V Newtonovem približku je $k = 2$, splošna teorija relativnosti napove $k = 4$.

Ta rezultat pri splošni teoriji relativnosti je bil potrjen pri opazovanju navideznega premika zvezd v ozadju ob Sončevem mrku leta 1919.

Sklep

Dimenzijska analiza pokaže pravilno funkcijsko odvisnost odklonskega kota, ne more pa določiti

brezdimenzijske konstante, zato ne loči med Newtonovim in rezultatom splošne teorije relativnosti. Za določanje tega numeričnega faktorja je potrebna fizikalna teorija gravitacije.

Borut Jurčič Zlobec

Efemeride avgust 2026

(Efemeride si lahko ogledate tudi v reviji Življenje in tehnika.)

datum	Sonce		Luna		čas
	vzhod	zahod	vzhod	zahod	
01.08.	05:44	20:32	21:45	08:35	CEST
05.08.	05:49	20:26	23:04	13:27	CEST
10.08.	05:55	20:19	02:27	19:12	CEST
15.08.	06:01	20:11	09:12	21:14	CEST
20.08.	06:07	20:02	15:04	23:13	CEST
25.08.	06:14	19:54	18:51	02:52	CEST
30.08.	06:20	19:44	20:27	08:46	CEST

Planeti:

- ★ **Merkur** je viden do sredine meseca in v ozvezdju Dvojčkov vzhaja okoli pol petih zjutraj.
- ★ **Venera** v ozvezdju Device sprva zahaja okoli desetih, konec meseca pa že ob devetih.
- ★ **Mars** vzhaja okoli dveh zjutraj. Sredi meseca se iz ozvezdja Bika pomakne v ozvezdje Dvojčkov.
- ★ **Jupiter** se v družbi Merkurja na jutranjem nebu prikaže sredi meseca, ko vzhaja okoli petih, konec meseca pa vziide okoli štirih. Nahaja se v ozvezdju Raka.
- ★ **Saturn** v ozvezdju Rib opazujemo od enajstih zvečer, konec meseca pa že od devetih.
- ★ **Uran** na začetku avgusta vzhaja okoli enih, konec meseca pa ob že enajstih. Giblje se v ozvezdju Bika.

V noči z 12. na 13. avgust nastopi meteorski roj Perzeidov s 100 utrinki na uro.

12. avgusta lahko opazujemo tudi Sončev mrk, ki bo iz Slovenije viden kot delni. Začne se ob 19:25, maksimum s približno 85% pokritostjo Sonca pa doseže ob 20:12, tri minute pred zahodom.

28. avgusta nastopi delni Lunin mrk, ki se začne ob 3:23 in s 93% pokritostjo doseže maksimum ob 6:12, enajst minut pred zahodom.

Urška Pajer

Javorniški Mesečnik izdaja Astronomsko društvo Javornik, Ljubljana / ISSN 1581-1379 / urednik Aram Karalič / izhaja v prvi polovici meseca / prejemajo ga brezplačno vsi člani Astronomskega društva Javornik / prispevke pošljite na naslov info@adj.si / **ROK ZA ODDAJO PRISPEVKOV JE 7. DAN V MESECU** / prispevkov praviloma ne lektoriramo / stavljeno v L^AT_EX