



Ali živimo znotraj ogromne črne luknje?

Uvod

Masivne zvezde, ki presežejo petkratno maso Sonca, končajo svoje življenje v eksploziji supernove. Eksplozija zapusti za seboj črno luknjo. Črna luknja je objekt, katerega privlačna sila ne dopušča niti svetlobi, da bi zapustila njeno površino. Zato je ta objekt temen.

Tu bomo pogledali različne stališča o tem, kaj se dogaja v okolici črne luknje. Tu se srečata dve, v tem trenutku še vedno skregani fizikalni teoriji, to sta kvantna mehanika in splošna teorija gravitacije.

Einstein in Hilbert sta zapisala enačbe splošne teorije gravitacije ob koncu leta 1915. Prvi primer rešitve enačb je objavil Karl Schwarzschild. Ta je v jeku prve svetovne vojne na ruski fronti leta 1916 dobil v roke še sveže Einstein-Hilbertove enačbe splošne teorije relativnosti.

Njegova rešitev predvideva sfero okoli črne luknje, od koder ni povratka, ker je ubežna hitrost enaka svetlobni hitrosti. Ta sfera se imenuje dogodkovno obzorje. Polmer dogodkovnega obzorja se imenuje Schwarzschildov polmer. Za črno luknjo z maso M je ta enak $R_s = 2GM/c^2$, kjer je G gravitacijska konstanta in c svetlobna hitrost.

Singularnost v središču črne luknje

Schwarzschildova rešitev predvideva, da je vsa snov črne luknje združena v točki v njenem središču. Tu bi bila gostota snovi neskončna. Vendar ne obstaja taka fizikalna teorija, ki bi razložila to stanje snovi. Kako predvideti, kaj se dogaja v resnici znotraj črne luknje?

Naredimo miselni poizkus z dvema raziskovalcema. Eden lebdi nad črno luknjo, medtem ko se drugi prepusti prostemu padu proti dogodkovnemu obzorju.

Tisti raziskovalec, ki bi se prepustil prostemu padu proti črni luknji, na začetku ne bi občutil nobene sile. Po Einsteinovem principu ekvivalence bi bil njegov koordinatni sistem ekvivalenten koordinatnemu sistemu mirujočega opazovalca. Če bi bila črna luknja dovolj velika, ne bi niti opazil, kdaj bi prečkal mejo brez povratka (dogodkovno obzorje). Problem bi nastal, ko bi se dovolj približal središču, tu bi ga raztrgale plimske sile zaradi nehomogenega gravitacijskega polja.

Raziskovalec, ki bi lebdel nad črno luknjo, bi opazil, da se hitrost tistega, ki prosto pada proti obzorju črne luknje, v začetku veča. Delci svetlobe, fotoni, pri

premagovanju gravitacijskega polja izgubljajo energijo. Zato bi signali, ki prihajajo od prosto padajočega opazovalca, postajali vedno šibkejši, valovna dolžina bi se povečevala. Račun pokaže, da v koordinatnem sistemu tistega, ki lebdi nad črno luknjo, drugi opazovalec nikoli ne doseže dogodkovnega obzorja.

Po posebni teoriji relativnosti bi se padajočemu, katerega hitrost se povečuje, začel čas upočasnjevati, ko bi se približal svetlobni hitrosti.

Torej imamo dva popolnoma različna pogleda dveh opazovalcev. Kako razrešiti dilemo? Ko bi padajoči prečkal dogodkovno obzorje, ne bi mogel več sporočati svojih izkušenj drugemu. Svetova opazovalcev bi postala popolnoma ločena v prostoru in času. Tako ne bi mogli izvedeti, kaj se dogaja na drugi strani dogodkovnega obzorja.

Hawkingovo sevanje

Črna luknja ni popolnoma črna, ampak seva tako imenovano Hawkingovo sevanje, imenovano po odkritelju, britanskem znanstveniku Stephenu Hawkingu. Zaradi tega črne luknje hlapijo. Temperatura črne luknje je odvisna od njene mase in je tem višja, čim manjša je njena masa. Zato bi črna luknja v zadnjem stadiju izparela v eksploziji.

Kaj se dogaja na dogodkovnem obzorju? Ameriški znanstvenik Leonard Susskind pravi, da je tam dogajanje zelo pestro. Opisal ga je kot brbotajoč hologram z visoko temperaturo. Po njegovem se vsa informacija ob nastajanju črne luknje zapiše na njenem dogodkovnem obzorju v nekakšnem hologramu, dvodimenzionalni sliki tridimenzionalnega sveta. Za to ima oporo v teoriji Jacoba Bekensteina o entropiji črne luknje.

Kako to, da je tam temperatura tako visoka? Svetloba, ki jo seva črna luknja, prihaja iz bližine dogodkovnega obzorja. Svetloba bi morala imeti na začetku veliko večjo energijo, ki jo je nato izgubljala pri premagovanju gravitacijskega polja.

Kaj pravijo računi?

Temperatura črne luknje z maso M je enaka $T = \hbar c^3 / (8\pi G M k_B)$, kjer je \hbar reducirana Planckova konstanta in k_B Boltzmannova konstanta. Težni pospešek črne luknje na njenem dogodkovnem obzorju je enak $g = c^2 / R_s$ in je premo sorazmeren s temperaturo $g = 4\pi k_b / \hbar T$.

Kolikšen je polmer črne luknje z udobnim (zemeljskim) pospeškom $g = 9.807 \text{ m/s}^2$ na svojem

V A B I L O

Vabimo vas na redni mesečni sestanek Astronomskega društva Javornik, ki bo v torek 18.04.2023 ob 18^h. Sestanek bo potekal na daljavo prek povezave <https://private.vid.arnes.si/ykak-zn4p-prif>. Glavni del sestanka bo predavanje:

Komet C/2023 A3 Tsuchinshan-ATLAS

V januarju odkriti komet obeta, da bo v jeseni leta 2024 postal lepo viden s prostim očesom, mogoče pa je celo, da bomo deležni predstave primerljive s kometoma Hale-Bopp in Hyakutake.

Več informacij o kometu in napovedih njegove svetlosti najdete na povezavi <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/anticipating-comet-tsuchinshan-atlas-c-2023-a3/>, prispevek pa na povezavi <https://www.youtube.com/watch?v=lh7of2EnqKo>.

Vabljeni!
Bernard Ženko

Dodatne informacije o tem in preteklih predavanjih najdete na <http://www.adj.si>.

dogodkovnem obzorju? Ta je enak $R_s = 0.993$ ly (svetlobnega leta). To pa je ravno krivinski polmer svetlobnega žarka na površini Zemlje, ki ga ukrivlja zemeljsko gravitacijsko polje. Kolikšna bi bila temperatura in polmer črne luknje mase Sonca in Zemlje? $T_\odot = 6.17 \cdot 10^{-8}$ K, $T_\oplus = 0.02$ K in $R_{S\odot} = 2954$ m, $R_{S\oplus} = 0.0089$ m. Obe temperaturi sta globoko pod temperaturo sevanja mikrovalovnega ozadja, ki je okoli 2.7 K. Črni luknji bi začeli hlapeti šele, ko bi temperatura sevanja ozadja padla pod temperaturo Hawkingovega sevanja.

Temperatura velike črne luknje je izredno nizka. V kolikšnem času bi črna luknja izhlapela? To pa je proces, ki traja dolgo, zelo dolgo. Čas izhlapevanja črne luknje z maso M je približno $2.1 \cdot 10^{67} (M/M_\odot)^3$ let. Starost našega vesolja pa je le $1.37 \cdot 10^{10}$ let.

Kolikšna sta polmer in temperatura črne luknje, ki ima maso 80 kg? Polmer bi bil $1.188 \cdot 10^{-25}$ m, kar je 10^{11} del polmera protona, medtem ko bi temperatura bila $1.53 \cdot 10^{21}$ K. Mi smo varni, ne moremo postati črne luknje.

Ali res živimo znotraj črne luknje?

Poglejmo še, kako velika bi bila črna luknja, kamor bi stlačili celotno vidno vesolje. Polmer vidnega vesolja, to je tistega dela celotnega vesolja, ki ga lahko opazujemo, je okoli $8.8 \cdot 10^{26}$ m, to je okoli 93 milijard svetlobnih let. Kolikšna pa je masa vidnega vesolja? Ta je ocenjena na $1.5 \cdot 10^{53}$ kg. Tu je upoštevana le običajna (barionska) masa, ki tvori le 4.9% vse mase

vesolja. Koliko bi bil polmer črne luknje, če bi zbrali vso barionsko maso vidnega vesolja? Ta bi bila okoli 13% premera celotnega vesolja. Če pa upoštevamo še temno snov in temno energijo, je rezultat okoli 2.6 premera vidnega vesolja. To bi pomenilo, da se celotno vidno vesolje nahaja znotraj ogromne črne luknje.

Leta 1929 je ameriški astronom Edwin Hubble z opazovanjem dognal, da se vesolje širi. Ker je hitrost oddaljevanja galaksij večja, čim bolj so te oddaljene od nas, potem na neki razdalji postane hitrost oddaljevanja galaksij enaka svetlobni hitrosti. Ta meja bi bila dogodkovno obzorje, gledano od znotraj. Kako pa to, da se pri širjenju vesolja galaksije oddaljujejo od nas z nadsvetlobno hitrostjo? Omejitev za hitrost gibanja velja za gibanje glede na prostor, ta omejitev pa ne velja za širjenje prostora samega.

Svetlobna hitrost je hitrost kavzalnosti, to je največja možna hitrost izmenjave informacij med deli vesolja.

Kaj je res mogoče, da živimo znotraj črne luknje? Več o tem v prispevku <https://www.youtube.com/watch?v=A8bBhkhZtd8>.

Borut Jurčič Zlobec

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_EXu