

## **Gole singularnosti, konkurencija crnim rupama**

Crne rupe su na velika vrata ušle u modernu znanost sa Schwarzschildovim rješenjima Einsteinovih jednačbi gravitacije. Debate o njihovom postojanju ili nepostojanju traju i dalje, ali nedavni uspjeh u njihovom promatranju ju, čini se, privodi kraju. Kolaboracija Event Horizon Telescope (EHT) je 2019. objavila prvu sliku materije upadajuće u supermasivnu crnu rupu u centru galaksije M87 i nedugo nakon toga je ponovila sličan uspjeh sa centrom naše Galaksije, objektom Sgr A\*. Manje je poznato da zapravo još nismo do kraja sigurni da se u tim slučajevima radi o crnim rupama, debata još traje!

Za veliku masu u središtima galaksija, reda veličine miliona i, ponekad, milijardi masa Sunca, sakupljenu u vrlo malom području, veličine unutrašnjeg dijela Sunčevog sustava, nemamo boljeg objašnjenja nego da se radi o vrlo kompaktnom objektu. Ali osim supermasivne crne rupe postoji i druga mogućnost: gola singularnost. Zanimljivo je da je to rješenje manje poznato znanstvenicima i općoj javnosti, iako su rješenja jednačbi Einsteinove Opće teorije relativnosti (1915) koja ukazuju na mogućnost njihova postojanja, bila objavljena gotovo istovremeno sa Schwarzschildovim rješenjima (1916) za nerotirajuće crne rupe: Hans Reissner je 1916. dao rješenje za električki nabijene kompaktne objekte, a isto je neovisno postigao i Gunnar Nordström 1918., kao i još nekoliko istraživača. Metriku koja opisuje to rješenje danas nazivamo Reissner-Nordström metrikom. Kasnije je nađeno mnogo sličnih rješenja i bez uvođenja naboja, npr. uvođenjem vrlo brze rotacije kompaktnog objekta.

Zbog svojih intrigantnih svojstava, gole singularnosti prisutne su u teorijskim istraživanjima od supermasivnih crnih rupa do elementarnih čestica-u jednoj od ranih verzija takvih teorija elektron je opisan kao električki nabijena gola singularnost!

Rješenja za gole singularnosti se razlikuju od Schwarzschildovih time da nemaju horizont događaja, nego sfernu ili spljoštenu ljusku područja nulte gravitacije na nekoj konačnoj udaljenosti od centra, tako da je unutar tog područja gravitacija usmjerena prema van. To znači da i svjetlo može izaći prema vanjskom promatraču, pa je moguć direktni pogled u singularnost, gdje je gustoća ekstremno velika. Otuda i pridjev "gola" u nazivu, jer nije zakrivljena horizontom događaja, kao što je to slučaj kod crne rupe, koji onemogućava vanjskom promatraču da vidi što je unutar tog horizonta.

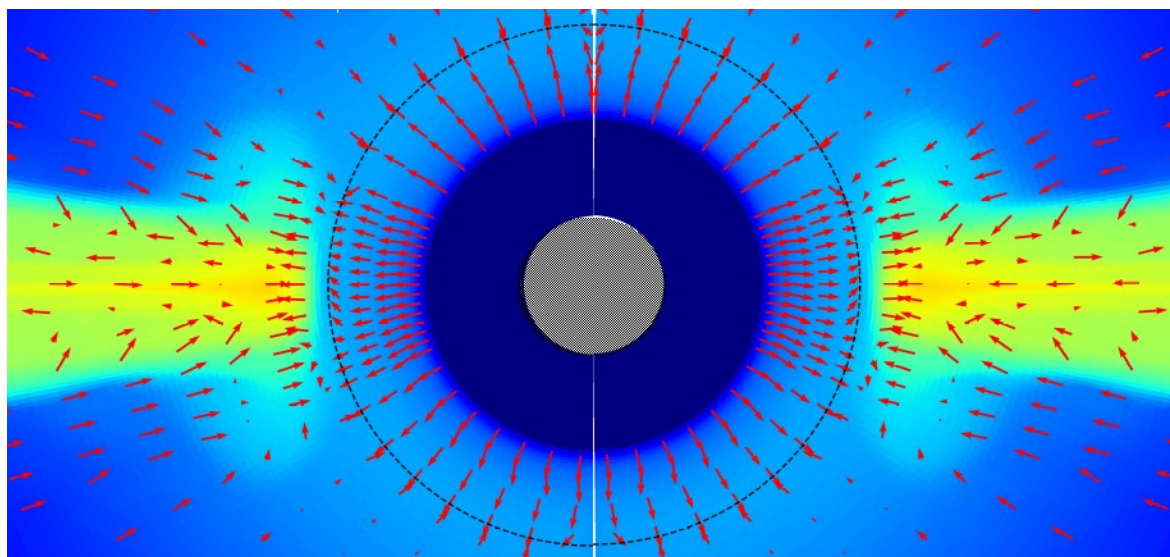
Treba razlikovati голу singularnost, koja je točka u prostor vremenu, od Einstein-Rosenovog mosta, gdje se prostor-vrijeme iskrivljuje u lijevak, koji s druge strane izlazi u isti takav lijevak. Tako se uglavnom u znanstvenoj fantastici rješava putovanje svemirom brzinama većim od brzine svjetlosti: materija se prelje iz jednog dijela svemira u drugi, kao da napravimo rupu u stranicama atlasa i kroz nju prelijemo tintu među stranicama. Promatrač s izlazne strane takvog mosta bi vidio bijelu rupu iz koje bi materija samo izlazila a ne i ulazila-takve objekte u svemiru astronomi još nisu pronašli.

Kolaboracija EHT je sliku crne rupe dobila tako da su napravili tisuće numeričkih simulacija crnih rupa i statističkim metodama usporedili promatračke podatke dobivene mrežom radioteleskopa postavljenih na velike udaljenosti, reda veličine promjera Zemlje, da se postigne što veća rezolucija. Među tisućama računalno dobivenih slika odabrana je kombinacija koja najviše odgovara promatranjima. Neki istraživači iz te kolaboracije su uočili da je moguće da bi simulacije golih singularnosti mogle dati vrlo slične rezultate, što bi značilo da za sada nemamo načina da promatranjima utvrdimo koja pretpostavka je točna, ona sa crnim rupama ili sa golim singularnostima. "Houston, imamo problem!". Potrebno je provjeriti promatračke rezultate i sa rješenjima za gole singularnosti.

Istraživačka grupa u kojoj radim u Varšavi se, u suradnji sa jednim od članova iz tima EHT, prihvatila zadatak i već smo izvršili analitičke izračune i niz simulacija golih singularnosti sa diskom materije oko nje i radimo na tome da nađemo detalje koji su različiti kod crnih rupa i golih singularnosti. Promatranjima i uočavanjem tih razlika, moglo bi se konačno nepobitno utvrditi da li su u središtima galaksija crne rupe ili gole singularnosti.

Jedan primjer rezultata simulacije električki nabijene gole singularnosti je prikazan na slici, sa naznačenim promjerom nulte gravitacije. Zanimljivo je da se oko područja nulte gravitacije formira zadebljanje u disku, tvoreći torus materijala. Zračenje iz tog područja bi moglo razriješiti dilemu bar što se tiče ove vrste golih singularnosti, jer takvog područja nema u simulacijama sa crnim rupama. Ovakva rješenja sada još treba provući kroz obradu u kojoj ćemo uključiti zakrivljenje prostor-vremena u blizini velike mase i napraviti predviđanje za promatrani intenzitet zračenja. Konačnu riječ će, naravno, imati promatranja, kad će naši rezultati biti uspoređeni s onima iz stvarnih promatranja.

Slika: Preliminarni rezultat simulacije za disk oko električki nabijene gole singularnosti, sa rastućom gustoćom materije prikazanom u obojenoj skali od plave, preko žute prema crvenoj, vektorima koji pokazuju smjer brzine i kružnicom koja naznačuje područje nulte gravitacije. Unutar tog područja gravitacija djeluje u obratnom smjeru, izbacujući materiju prema van.



Napomena: "Vega Horizonti" ovdje ima priliku prikazati novi, još neobjavljeni sadržaj. Autor članka radi s grupama u Poljskoj i Češkoj koje rade na tim istraživanjima i rezultat sa slike je prva simulacija tankog diska oko nerotirajuće gole singularnosti u pseudo-potencijalu sa geometrijom područja nulte gravitacije jednake onom kod Reissner-Nordström metrike.