Pád do černé díry a gravitační červený posuv

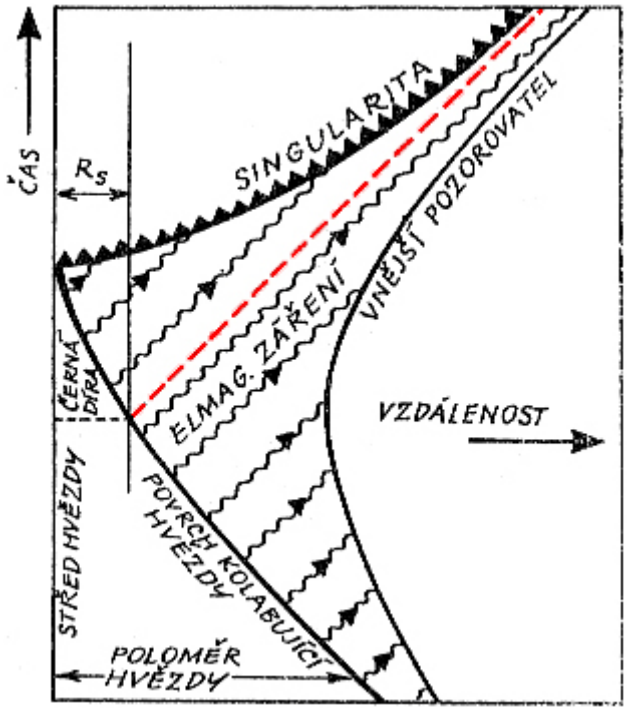
Výpočet Schwarzschildova poloměru R_S byl proveden na základě úvah klasické fyziky. Schwarzschild sám vycházel z rovnic obecné teorie relativity a na základě matematických úprav a fyzikálních odhadů mu vyšlo řešení, které popisovalo ryze relativistický objekt - černou díru. Prostoročas kolem černé díry je takovým způsobem zakřiven, že geodetiky v oblasti černé díry nejsou vůbec propojeny s okolním časoprostorem. Vzhledem k tomu, že elektromagnetické záření se šíří právě po geodetikách, nemůže záření z černé díry vycházet. Černá díra ale není oddělena od „našeho“ časoprostoru - stále totiž působí obrovskými gravitačními silami na své okolí.

Některé rysy černé díry a děje při vzniku černé díry dobře vystihuje **Kruskalův diagram** (viz obr. 100), který sestavil americký matematik a fyzik Martin David Kruskal (1925 - 2006). Na svislé ose Kruskalova diagramu je vynesen čas, na vodorovné pak vzdálenost od středu černé díry (resp. původní hvězdy). Levá dolní křivka značí povrch kolabujícího tělesa, pravá má tvar hyperboly a určuje pozici vnějšího pozorovatele, který kolaps pozoruje, ale sám se kolapsu neúčastní. Čárkovaná čára v diagramu představuje horizont událostí. Signály elektromagnetického záření, které jsou pravidelně z povrchu kolabujícího objektu vysílány, zachycuje s určitým časovým zpožděním vnější pozorovatel. S průběhem gravitačního kolapsu tyto signály přicházejí k vnějšímu pozorovateli se stále větším zpožděním.

> Pro elektromagnetické záření, které signál přenáší, je stále obtížnější se prodrat do „vnějšího“ časoprostoru. Signály jsou vysílány z povrchu kolabujícího objektu a ten se hroutí směrem dovnitř - do černé díry.

Současně se prodlužuje vlnová délka přicházejících signálů elektromagnetického záření, neboť signály ztrácejí svojí energii. Vnější pozorovatel tedy pozoruje výrazný **gravitační červený posuv**.

> Signály ztrácejí energii proto, že část energie musí vydat na překonání gravitačního pole černé díry. A menší energii elektromagnetického záření pak podle Planckovy kvantové hypotézy odpovídá menší frekvence, čili větší vlnová délka elektromagnetického záření.



Obr. 100

Tento jev je naprosto obecný a je pozorován jak u bílých trpaslíků, tak i u neutronových hvězd. U černé díry však jako u jediného dosud známého objektu vede k extrémní situaci: jakmile se

kolabující objekt smrští pod Schwarzschildův poloměr, žádné elektromagnetické záření již k vnějšímu pozorovateli nedorazí. Všechny signály zůstávají v černé díře a jsou pohlceny ve vzniklé prostoročasové **singularitě**. Už předtím ale signály přicházejí s tak velkým zpožděním, že se čas, který signál potřebuje k překonání vzdálenosti od černé díry k vnějšímu pozorovateli, limitně blíží nekonečnu a energie elektromagnetického záření signálů klesá k nule. Projevuje se zde tedy další důsledek teorie relativity - různé plynutí času z hlediska různých pozorovatelů. Časový úsek na kolabujícím objektu se jeví vnějšímu pozorovateli tím delší, čím později je z kolabujícího objektu vyslán. Signál vyslaný z kolabujícího objektu v okamžiku, kdy má kolabující objekt poloměr rovný Schwarzschildovu poloměru, k vnějšímu pozorovateli již nedoletí.

Tento poslední signál by k pozorovateli teoreticky dospěl v nekonečném čase.

Děje na kolabujícím objektu tedy vnější pozorovatel uvidí jako stále pomalejší a pomalejší, až se tyto děje nakonec zastaví. To nastane v okamžiku, kdy kolabující objekt bude mít poloměr rovný Schwarzschildovu poloměru.

Pro pozorovatele na kolabujícím objektu proběhne kolaps během několika sekund. Zmenšení tělesa pod Schwarzschildův poloměr by pro tohoto pozorovatele nebylo nijak výjimečnou událostí. Pouze by ztratil s konečnou platností nejen možnost návratu do vnějšího světa, ale i možnost podat ven z černé díry jakoukoli zprávu. Další pohyb pozorovatele by byl možný pouze ke středu černé díry, ale jen jednosměrně (tedy ne zpět). Gravitační síly a slapové síly zde nabývají takových hodnot, že rozdrtí a roztrhají jakékoliv těleso.

Horizont událostí černé díry představuje tedy jakousi jednosměrně propustnou membránu.

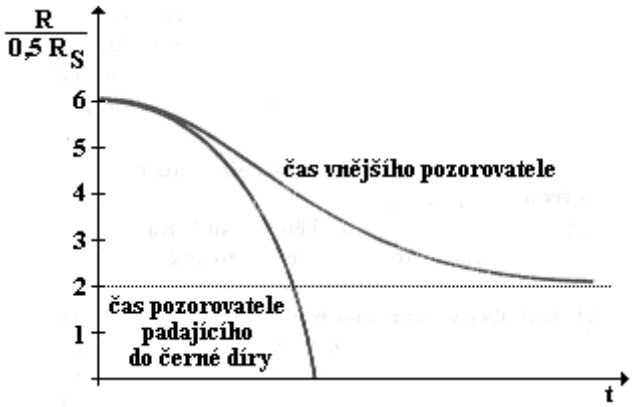
Slapové síly se uplatní již předtím, než padající pozorovatel projde horizontem událostí. Padá-li např. pozorovatel nohama napřed, bude na nohy působit větší gravitační síla než na hlavu.

Nohy jsou blíže černé díře a působí na ně proto větší gravitační síla.

V důsledku toho bude tento pozorovatel slapovými silami natahován ve směru hlava - nohy, zatímco v ostatních dvou rozměrech bude stlačován. Do černé díry tedy dopadne jako „nekonečně dlouhá nekonečně tenká nit“.

Pro gravitační rudý posuv platí: $z = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{1 - \frac{R_S}{R}}$, kde λ je vlnová délka elektromagnetického záření vyslaného ze vzdálenosti *R* od středu kolabujícího tělesa, λ' je vlnová délka, kterou naměří vzdálený pozorovatel (tj. vlnová délka prodloužená gravitačním červeným posuvem). Je-li záření vysláno ze vzdálenosti $R = R_S$, platí $\lambda' \to \infty$ a červený posuv je nekonečně velký.

Na základě toho, co bylo dosud uvedeno, by bylo možné se domnívat, že vnější pozorovatel nikdy černé díry neuvidí, neboť na dosažení Schwarzschildova poloměru je zapotřebí (z jeho pohledu) nekonečně dlouhý čas. Výpočty ale ukazují, že počáteční fáze kolapsu je i z hlediska vnějšího pozorovatele velmi rychlá a po velmi krátké době (řádově $10^{-5}\,s$) se poloměr kolabujícího objektu liší od hodnoty Schwarzschildova poloměru jen velmi málo a kolabující objekt je fakticky nepozorovatelný (viz obr. 101).



Obr. 101

Přímka procházejí bodem 2 na svislé ose a rovnoběžná s osou času přestavuje právě horizont událostí černé díry.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.