



Teorie relativity - Černé díry

RNDr. Jaroslav Vrba PhD.

Úvod do černých děr

- Objekty s extrémní **gravitací**, které **zakřivují** prostoročas natolik, že z nich **nemůže** uniknout ani světlo
- Umožňují **testovat limity** obecné teorie relativity a kvantové mechaniky
- **Černé díry** jako fenomény nejen pro **vědu**, ale i pro populární kulturu a filozofii

Historie konceptu černých děr

- John Michell (1783): první **představa** „temné hvězdy,“ která má tak silnou gravitaci, že **světlo** nemůže uniknout (představoval si objekt s extrémní hustotou podle Newtonových zákonů)
- Karl Schwarzschild (1916): **první** přesné řešení **Einsteinových** rovnic pro zakřivení **prostor času** kolem kulového objektu (definice „Schwarzschildova poloměru“ černé díry)
- John Archibald Wheeler (1967): **popularizace** pojmu „**černá díra**,“ rozvoj teorie černých děr, především v kontextu kvantové mechaniky a obecné relativity
- Stephen Hawking: **přínos** v oblasti kvantových efektů černých děr (Hawkingovo **záření**, informační paradox)

Struktura černé díry

- Horizont událostí: hranice, odkud **není** návratu (rychlost úniku je **vyšší** než rychlost světla)
- Singularita: bod s nekonečnou **hustotou** a zakřivením prostoročasu, kde **končí** platnost klasických fyzikálních zákonů
- Ergosféra (pro rotující černé díry): oblast kolem horizontu, kde je prostoročas „**stržen**“ rotací černé díry (objekty v ergosféře jsou **strhávány** rotací a nemohou zůstat v klidu)

Astrofyzikální význam černých děr

- Role v galaxiích: **supermasivní** černé díry jsou v centrech většiny galaxií a **ovlivňují** jejich vývoj a strukturu
- Akreční disky: materiál **rotující** kolem černé díry se **zahřívá** na extrémní teploty, vyzařuje **záření** (černé díry jsou díky tomu jedny z nejsilnějších zdrojů rentgenového záření)
- Výtrysky (**jety**): některé černé díry vytvářejí relativistické **proudy** částic, které se pohybují téměř **rychlostí světla** a mohou dosahovat vzdáleností **tisíců** světelných let

Pozorování černých děr a astrofyzikální důsledky

- Rentgenové a gama záření: **akreční** disky **produkují** vysoké energie (pozorování rentgenovým dalekohledem umožňuje **sledovat** černé díry)
- Gravitační čočky: černé díry způsobují extrémní zakřivení **prostor času**, což vede k „**ohnutí**“ světelných paprsků kolem nich
- Mikrogravitace a experimentální důkazy: efekty jako **gravitační vlny** (při srážkách černých děr) a pohyby hvězd kolem černých děr poskytují důkazy o jejich **existenci**

Efekty spojené s černými dírami

- Shapirův efekt: světlo **zpomaluje** při průchodu blízkým gravitačním polem **černé díry** (lze využít k měření vzdáleností a hmotností objektů)
- Lens-Thirringův efekt (vlečení systémů): **rotující** černé díry „**táhnou**“ prostoročas, což ovlivňuje pohyb blízkých objektů a dráhy světla
- Hawkingovo záření: **kvantový** efekt, který umožňuje černé díře **vyzařovat** energii a pomalu se „**vypařovat**“ (teoreticky, čím menší černá díra, tím rychlejší vypařování)
- Penroseův proces: mechanismus pro teoretickou **extrakci** energie z **ergosféry** rotující černé díry

Experimenty a pozorování černých děr

- Sledování **hvězd** obíhajících černé díry: pozorování **pohybů** hvězd v centru Mléčné dráhy **potvrzuje** přítomnost supermasivní černé díry
- Gravitační vlny ze srážek černých děr: první **přímé** pozorování gravitačních vln (**LIGO a Virgo**) jako **důkaz** existence černých děr a jejich splynutí
- Metody měření hmotnosti a velikosti: **určení** Schwarzschildova **poloměru** a výpočty **hmotnosti** pomocí pohybu okolních objektů

Pád astronauta do černé díry – přibližování

- Extrémní **gravitační** síly a slapové jevy: Při přiblížení k **horizontu** událostí narůstají gravitační **síly**, což způsobuje tzv. **spaghettifikaci** (natažení astronauta v důsledku slapových sil)
- **Zpomalení** času pro **vnějšího** pozorovatele: Astronautův čas se z perspektivy vzdáleného pozorovatele **zpomaluje**, až na horizontu „**zamrzne**“
- **Perspektiva** astronauta: Z astronautova pohledu **plyne** čas normálně, překročí horizont bez pocitu „bodu bez návratu“

Pád astronauta do černé díry – uvnitř

- Za horizontem událostí **není** návratu, žádný signál ani **světlo** se už nemůže dostat ven
- Souřadnice času a poloměru si **vymění** role. **Šipka** času se mění na šipku k **centru**, není jiná cesta. Čas je chápán jinak
- Směrem ke **gravitační singularitě**: Bod (nerotující čd), prstýnek (rotující čd)
- Teoretické možnosti uvnitř černé díry: **Hypotéza**, že **rotující** černé díry mohou obsahovat červí díru **vedoucí** do jiného vesmíru (teoretická spekulace) – video [6ha](#)

Otázky

- Jaké důkazy máme o tom, že černé díry existují?
- Co se stane s astronautem spadnouvším do černé díry?
- Co by se stalo, kdyby se Slunce změnilo v černou díru?
- Jaký je pro vás nejzajímavější film/seriál s tématikou černých děr?