

# Rychleji než světlo

J. Pravda, F. Jahoda

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

honza\_p@volny.cz

## Abstrakt

Je možné překročit omezení dané rychlostí světla a cestovat ke vzdáleným hvězdám v čase mnohem menším než jsou násobky doby lidského života? Tento článek rozebírá teorie, jež cestování rychlejší než světlo připouštějí.

## 1 Warpový pohon

V našich podmínkách je rychlostní limit roven rychlosti světla což vyplívá z Einsteinovy speciální teorii relativity, která vysvětluje chování těles pohybujících se vysokými rychlostmi. Pokud vezmeme v úvahu těleso, které se bude pohybovat stále větší rychlostí, blížící se rychlosti světla, bude růst jeho hmotnost a k jeho urychlování bude potřeba stále více energie. V momentě, kdy by se jeho rychlost rovnala rychlosti světla, mělo by nekonečnou hmotnost a k jeho urychlení by bylo potřeba nekonečné množství energie. Ale existuje teorie warpového pohonu, kterou vytvořil teoretický fyzik mexického původu Miguel Alcubierre, který publikoval v roce 1994 list ve kterém vyšel z jeho práce v oboru obecné teorie relativity a dnešního „standardního modelu“ vesmíru a gravitace. V oné práci popsal způsob, jak pomocí modifikace časoprostoru umožnit vesmírné lodi cestovat jakoukoliv rychlostí bez žádných omezení. Před vesmírnou lodí by byl vesmír kompresován (podobně jako by k tomu docházelo v případě zániku vesmíru při tzv. "velkém křachu", opaku velkého třesku - vesmír by v onom místě v podstatě zanikal) a za lodí expandován (podobně jako k tomu docházelo při velkém třesku - vesmír by v onom místě v podstatě vznikal). Tak by byl vytvořen jakási bublina časoprostoru, která by se mohla pohybovat neomezenou rychlostí a ve které by se loď nacházela. Na lodi by nedocházelo k žádné diletaci času ani k žádnému nebezpečnému přetížení. Čas na lodi by plynul stejnou rychlostí jako na Zemi. Je to dáno tím, že rychlost rozpínání (respektive komprese) samotného časoprostoru není ničím omezená, ani rychlostí světla (například podle teorie tzv. inflace se vesmír také rozpínal nadsvětelnou rychlostí). Samotná loď přitom neporušuje omezení rychlostí světla dané speciální teorií relativity - ve svém lokálním rámci vesmíru (tedy v oné warpové bublině) se loď vůbec nepohybuje, vlastně stojí na místě. Jediné, co se v rámci celého vesmíru pohybuje (třeba i tisíckrát rychleji než světlo - rychlost je skutečně libovolná), je onen úsek časoprostoru ve kterém se loď nachází, ona warpová bublina. Zvenku by se tento způsob cestování jevil jako okamžitý přesun. Tento koncept warpového pohonu není zcela bez chyby. První z nich je to, že k vytvoření takové deformace časoprostoru (tedy oné warpové bubliny) je potřeba tzv. negativní energie. Negativní energii si můžeme představit jako přesný opak normální energie. Ne ve smyslu elektromagnetickém (jako je tomu v případě antihmoty), ale ve smyslu gravitačním. Například hypotetická "zvláštní hmota" (exotic matter) disponující negativní energií by byla vlastně hmota se zápornou hmotností! Ač se to může zdát zvláštní, kvantová mechanika zná jevy, při kterých dochází k projevení negativní energie. Jedním z nich je tzv. Casimirův jev. V tomto případě dochází k tomu, že mezi dvěmi nenabitými kovovými pláty umístěnými těsně vedle sebe dojde k vytvoření regionu s negativní hustotou energie. Je to dáno tím, že právě fyzikální vakuum není ve skutečnosti "prázdňé" - neustále v něm vznikají a zanikají páry "virtuálních" částic a

antičástic - projevují se tzv. vakuové fluktuace. Vakuum má tedy určitou hustotu energie. Jenže v prostoru mezi pláty dojde k redukování počtu vakuových fluktuací (čím je prostor tenčí, tím více vakuových fluktuací je potlačeno) a tím v podstatě klesne hustota vakua. Prostor mezi pláty tak má negativní hustotu energie, což se projeví tím, že tlak okolního vakua pláty smrskne k sobě. Kromě Casimirova jevu zná kvantová mechanika i další jevy, při kterých dochází k projevům negativní energie - např. v kvantové optice je to využití destruktivních kvantových interferencí k potlačení vakuových fluktuací (v angličtině nazýváno jako "squeezed vakuum" - tedy doslova vymačkané vakuum). Bohužel, toto všechno jsou jen nepřímé projevy negativní energie (a přitom v nesmírně malém množství), kdežto k tomu, abychom mohli zkonstruovat warpový pohon, bychom museli být schopni přímo manipulovat s negativní energií v ohromném množství (podle některých propočtů by k vytvoření warpové bubliny o průměru 200 metrů pohybující se 10x rychleji než světlo bylo zapotřebí negativní energie v množství 10 miliardkrát větším, než je veškerá energie pozorovatelného vesmíru). Tato obrovská negativní energie by navíc musela být zkoncentrována do nesmírně tenkého pásma (jen o málo většího než je minimální Planckova velikost). Další problém je to, že podle některých teorií, jakmile by kolem lodi byla vytvořena warpová bublina, loď by jí od toho okamžiku nebyla nijak schopna zevnitř ovlivňovat - nemohla by měnit směr jejího pohybu, ani jí zastavit. Problémem by také mohly být vznikající slapové síly uvnitř bubliny, které by mohly loď zničit (i když tento problém podle posledních analýz nevypadá až tak závažně). Neví se také, co se stane s hmotou, která se dostane do cesty warpové bublině. Zřejmě by byla vpředu bubliny stlačena až do formy superhusté kvark-gluonové plasmy a následně by byla ve formě vysokoenergetických částic vyvržena do vnitřku bubliny přímo proti vesmírné lodi. Ta by tak zřejmě musela mít velmi odolné antiradiační štíty. V reakci na tuto teorii vznikly další, třeba Chris Van Den Broeckův mikro-warpový pohon, který funguje na zcela stejném principu, ale warpová bublina je zvenku nesmírně malá (má jen  $3 \times 10^{-32}$  m v poloměru - jen o málo víc než Planckova velikost). Vnitřek bubliny je přitom stejně prostorný, jako v případě Alcubierrova warpového pohonu (tedy 100 - 200 m). Což je dosaženo manipulací s metrikou časoprostoru. Díky tak malým externím rozměrům bubliny by tak byl částečně vyřešen problém s negativní energií - k urychlení bubliny na stonásobek rychlosti světla by byla potřeba množství negativní energie odpovídající pouhým -56 kg.

## 2 Nadsvětelné tunely

Krasnikovovi nadsvětelné tunely (někdy nazývané jako "nasmětelné metro") se pak v principu už znatelně odlišují. Vesmírná loď by letěla do nějaké vzdálené oblasti vesmíru klasickým způsobem (tzn. podsvětelnou rychlostí - jako příklad si vezmeme scénář s letem na druhý konec galaxie, který by posádce vesmírné lodi se zrychlením 1g trval jen 12 let, přičemž na Zemi by uplynulo celých 100000 let). Loď by ovšem za sebou vytvářela jakousi cestu (tunel), v kterém by byla pozměněna metrika časoprostoru (zase by tak bylo činěno pomocí negativní energie). Až by loď doletěla na druhý konec galaxie, obrátila by se a letěla zpátky (zase klasickým způsobem - tedy podsvětelnou rychlostí). Tentokrát by ovšem letěla už tunelem s pozměněnou metrikou časoprostoru, který si předtím za sebou vytvořila. Když by doletěla zpátky na Zemi, posádka by zjistila, že od jejich odletu uplynulo jen 24 let (12 let na cestu tam a 12 let na cestu zpátky). Jak je to možné? Vždyť podle speciální teorie relativity by mělo na Zemi přeci uplynout 200000 let (100000 let na cestu tam a 100000 let na cestu zpět). Je to dáno tím, že Krasnikovův tunel, kterým se loď vracela, propojuje dva odlehlé časové úseky - jde vlastně o jakýsi časový warp. Nedochozí k žádnému porušení kauzality (příčinnosti), protože tunel funguje jen jednosměrně. Problém ovšem nastává, kdyby byly „postaveny“

dva takové tunely - jeden vedoucí jedním směrem a druhý opačným směrem. Pak by už ke skutečnému cestování časem a tedy porušení kauzality dojít mohlo. Podle teorie by ale, jakmile by byl postavena druhý tunel, který by v kombinaci s prvním umožnil cestování časem, došlo vlivem exponenciálního vzestupu silných vakuových fluktuací k jeho zničení. Výhodou Krasnikovových nadsvětelných tunelů je to, že netrpí problémem jako Alcubierrův warpový pohon, který by možná mohl být ihned po vytvoření warpové bubliny neovladatelný.

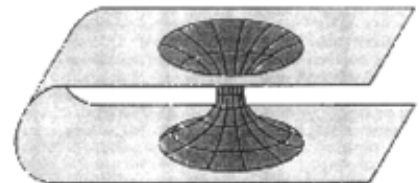
### 3 Červí díry

Červí díra (někdy nazývaná také jako Einstein-Rosenův můstek) je jakousi zkratkou v časoprostoru. Její existence je umožněna obecnou teorií relativity. Červí díra je tunelem (či chcete-li můstkem) spojujícím dva vzdálené regiony časoprostoru. Jednoduše si její fungování můžeme představit tak, že v ten okamžik, kdy bychom vstoupili do jednoho konce, bychom se vynořili na jejím druhém konci, ať je jakkoliv daleko. Je to tedy jakási absolutní forma nadsvětelného cestování. Stejně jako v případě warpového pohonu se ovšem ve skutečnosti nadsvětelnou rychlostí nepohybujeme - v našem lokálním rámci se pohybujeme normální podsvětelnou rychlostí, jen jsme si zkrátili cestu manipulací se samotným časoprostorem - prošli jsme časoprostorovou zkratkou. Přírodní červí díra by snad mohla vzniknout jedině v dobách ranného velkého třesku v místech, kde by se vyskytovaly určité typy hypotetických kosmologických strun se zápornou hmotností tvořících smyčku. Existence kosmologických strun (lineárních defektů časoprostoru s neuvěřitelnou hustotou) je extrémně nepravděpodobná, natož pak aby měly negativní hmotnost a tvořily smyčku.

A jak by šlo uměle vytvořit červí díru? Existují dvě schémata - Morris-Thornova červí díra a Visserova červí díra. S první možností poprvé přišel Michael Morris, Kip Thorne a Ulvi Yurtsever. V dnešní kvantové mechanice je známo, že stejně tak jako ve vakuu neustále vznikají a zanikají virtuální částice a antičástice, ve velmi malých měřítkách (blízkých Planckově velikosti) ve vakuu stejným způsobem neustále vznikají a zanikají i miniaturní červí díry. Původně si vědci mysleli, že kdyby byly tyto červí díry roztaženy na větší velikosti, došlo by prakticky okamžitě, vlivem jejich vlastní gravitace, k jejich kolapsu. Ani jediný foton by nebyl schopný proletět takovou červí dírou. Jenže Morris, Thorne a Yurtsever přišli na to, že pokud by se v ústí červí díry vytvořil region s negativní hustotou energie, červí díra by se stabilizovala a bylo by jí možné zvětšit na velikosti vhodné jak pro samotné lidi, tak i pro vesmírné lodě. Je to dáno tím, že negativní energie má gravitačně odpudivé vlastnosti, a tudíž zabraňuje gravitačnímu kolapsu červí díry. Červí díra by tedy byla extrahována z vakuové „kvantové pěny“, elektromagneticky roztažena do potřebných rozměrů a stabilizována pomocí negativní energie. Jeden z otvorů červí díry by byl udržován třeba na Zemi a druhý by mohl být umístěn na palubě vesmírné lodi, nebo by mohl sám o sobě být akcelerován a vystřelen k nějaké vzdálené hvězdě. Velkou nevýhodou tohoto konceptu je ohromné množství potřebné negativní energie (pro vytvoření a stabilizování červí díry s poloměrem ústí 1m odpovídá potřebná negativní energie množství, které vyzáří 10 miliard hvězd za jeden rok). Jiným problémem by také mohlo být nebezpečné radiální pnutí a tangenciální tlak vznikající v ústí červí díry, které by mohly za určitých okolností zničit kohokoliv, kdo by se pokoušel skrze červí díru projít.

Druhý koncept, jehož autorem je Matt Visser, je oproti předchozímu konceptu dosti odlišný. Je založený na tom, že k vytvoření červí díry by mohlo dojít spontánně mezi dvěma místy ve vesmíru, ve kterých by docházelo ke stejným, velkým a ostrým

Obrázek 1 – červí díra



deformacím časoprostoru. Na jednom místě ve vesmíru by byl z nějaké superhusté hmoty vytvořen prsteneček. To samé by se provedlo na jiném místě ve vesmíru. Mezi těmito dvěma prstenci by pak mohlo dojít k samovolnému vzniku červí díry. Prstence by ovšem musely být tvořeny z hmoty s negativní hustotou energie (tedy se zápornou hmotností), a aby zakřivení vesmíru bylo dostatečné, muselo by jít o nějakou nesmírně hustou formu této zvláštní hmoty. Vhodným kandidátem by byly například kosmické struny se zápornou hmotností (jejichž existence je ale čistě hypotetická). Právě potřeba této superhusté zvláštní hmoty se zápornou hmotností je největší nevýhodou tohoto konceptu.

Problémem všech konceptů využívajících červí díry (a v některých případech i konceptů využívajících warpového pohonu) je možnost jejich vyústění v cestování časem a z toho plynoucí možnost porušení principu kauzality (tedy příčinnosti). Typickým příkladem je Morris-Thornova červí díra (Visserova červí díra tímto problémem trpět nemusí, protože není nutné uvádět její otvory do pohybu). Jeden z otvorů červí díry by byl umístěn na Zemi a druhý na palubě rychlé vesmírné lodi (zase si jako příklad vezmeme cestu vesmírnou lodí neustále zrychlující o  $1g$  přes celou Galaxii). Na palubě lodi by vlivem dilatace času uplynulo pouhých 12 let, než by dosáhla opačného konce galaxie. Ale za kolik let pozemského času bychom museli vlézt do otvoru červí díry na Zemi, abychom vylezli na vesmírné lodi na opačném konci galaxie? Samozřejmě bychom měly říct že za 100000 let, protože právě v této době se loď bude skutečně na druhém konci galaxie nacházet, ale ve skutečnosti tomu tak není. Otvor na Zemi bude na opačný konec galaxie ústít už za pouhých 12 let - tedy za dobu, která uplyne posádce lodi. To ovšem znamená, že otvor na Zemi ústí do vzdálené budoucnosti a otvor na vesmírné lodi naopak do vzdálené minulosti! Máme tu skutečné a nefalšované cestování časem. A právě toto je velký problém, jelikož cestování časem zákonitě může vyústit v porušení kauzality. Podle Stephena Hawkinga se tak ovšem nemůže stát. Červí díry podle něj mohou existovat i umožňovat okamžité nadsvětelné cestování a komunikaci, ale v případě, kdy by jeden z otvorů červí díry ústil do jiného časového úseku než druhý (a červí díry by tedy umožňovala cestování v čase), by bylo cestování skrze díru znemožněno. Tím, jak by se při urychlování jednoho z otvorů stávala červí díra strojem času, došlo by k vytvoření tzv. Cauchyho horizontu. Jakýkoliv předmět (nebo i pouhé světlo), který by chtěl projít skrze tuto červí díru by musel projít i skrze Cauchyho horizont. Jenže jakýkoliv pokus o transfer skrze Cauchyho horizont způsobí okamžitý exponenciální nárůst vakuových fluktuací, které způsobí destrukci červí díry. Nutno dodat, že toto je jen jedna z teorií a dnes nikdo nemůže s určitostí vědět, jak by tomu bylo ve skutečnosti.

## Reference

- [1] <http://www.nasa.gov> - Oficiální stránky NASA
- [2] <http://sec353.jpl.nasa.gov/apc/> - NASA "Návrhy vylepšených pohonů"
- [3] <http://www.lerc.nasa.gov/www/pao/warp.htm> - NASA "Warp pohon, kdy?"
- [4] <http://vectorsite.tripod.com/taadvsp.html> - Advanced Space Rocket Propulsion Systems
- [5] <http://vectorsite.tripod.com/tastars.html> - Mezihvězdný let
- [6] <http://www.islandone.org/Propulsion/Alcubierre.html> - SpaceTime Hypersurfing
- [7] <http://www.dd.chalmers.se/%7Ef93jojo/sidan2.htm> - Wormholes and Time Machines
- [8] <http://www.stardrivedevice.com> - Stavba vesmírné lodi
- [9] [http://www.grc.nasa.gov/WWW/bpp/BPP\\_Art.htm](http://www.grc.nasa.gov/WWW/bpp/BPP_Art.htm) - obrázek
- [10] Jiří Grygar - Vesmír jaký je