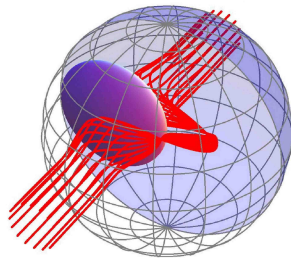
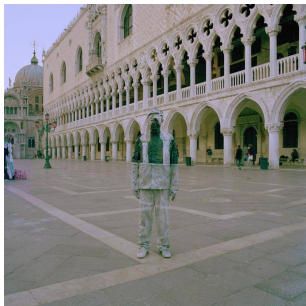


Budeme neviditelní?

Tomáš Tyc

Přírodovědecká fakulta MU



St Andrews



St Andrews



Jak učinit předmět neviditelným?

Jak učinit předmět neviditelným?

1. možnost: světlo projde **skrze objekt**

Wellsův „Neviditelný“



Jak učinit předmět neviditelným?

2. možnost: kamufláž



Jak učinit předmět neviditelným?

Neviditelný muž – Liu Bolin

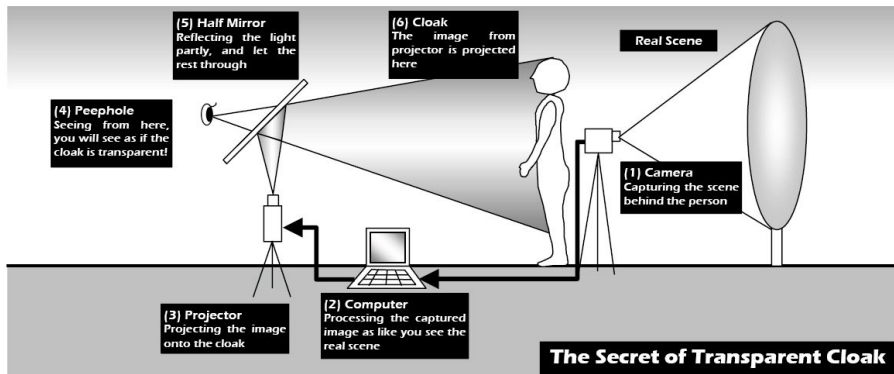


Jak učinit předmět neviditelným?



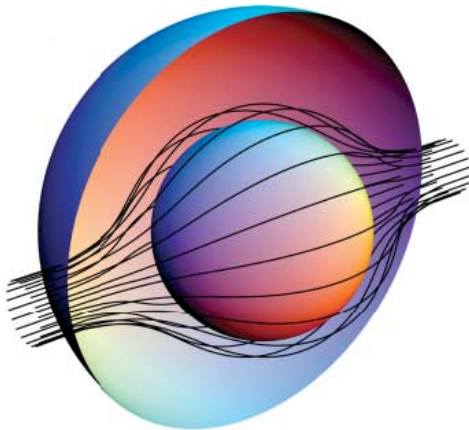
Jak učinit předmět neviditelným?

Scéna za objektem je monitorována a promítána na jeho přední stranu

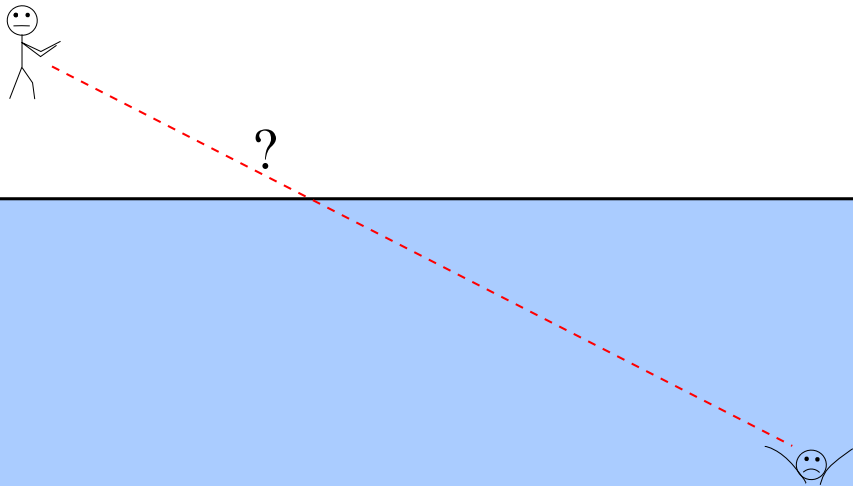


Jak učinit předmět neviditelným?

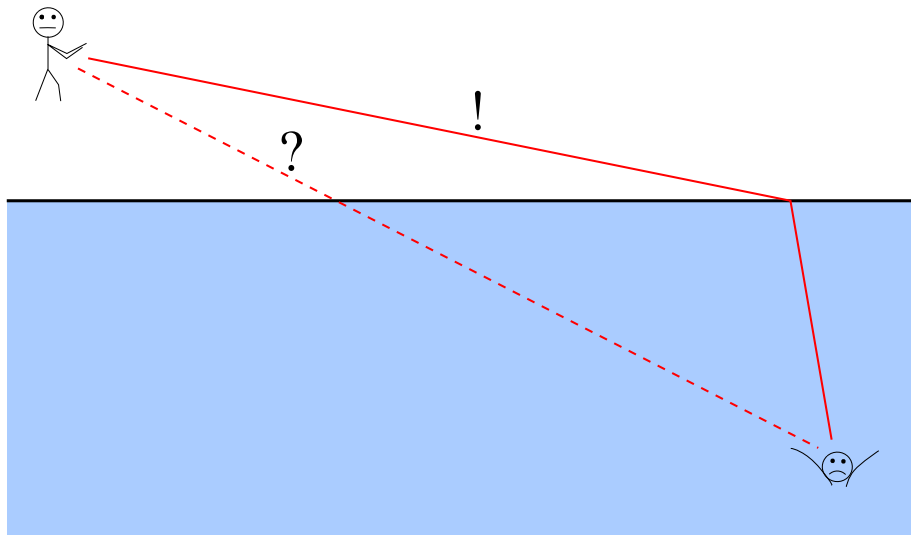
3. možnost: světelné paprsky objekt **obejdou** a vrátí se do původního směru – **neviditelný plášť**



Záchrana tonoucího

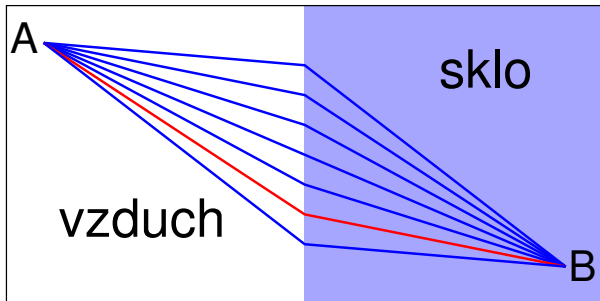


Záchrana tonoucího



Fermatův princip

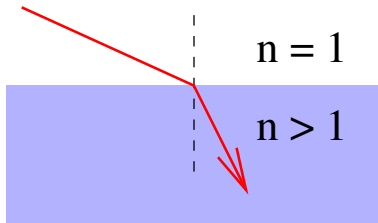
Světelné paprsky se snaží dostat z jednoho místa na druhé za nejkratší čas



Světlo minimalizuje dráhu měřenou nikoli obyčejnou délkou, ale optickou délkou

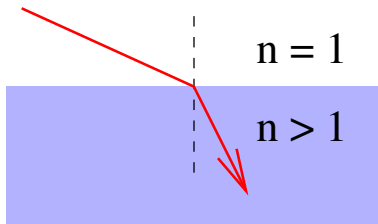
Lze světelný paprsek i ohnout?

Světlo na ostrém rozhraní dvou optických prostředí:

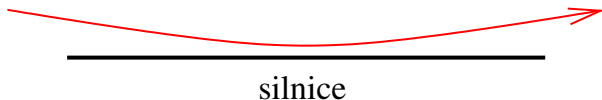


Lze světelný paprsek i ohnout?

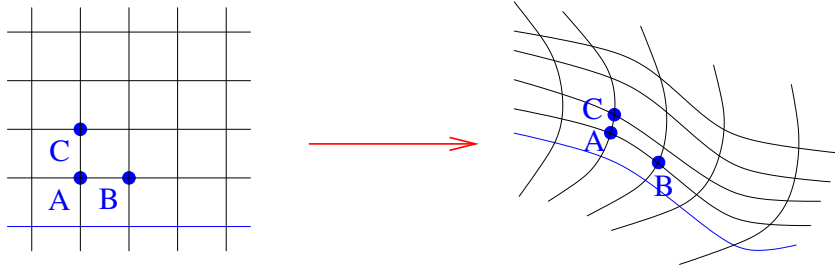
Světlo na ostrém rozhraní dvou optických prostředí:



Světlo v prostředí, kde se index lomu mění postupně (spojitě):



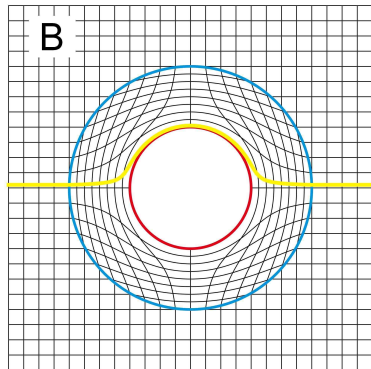
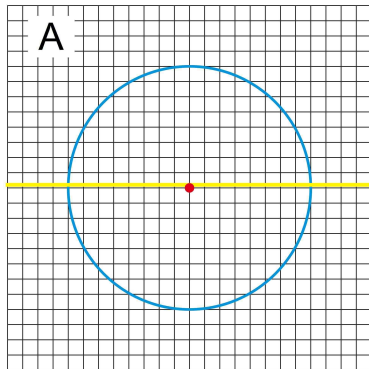
Transformační optika

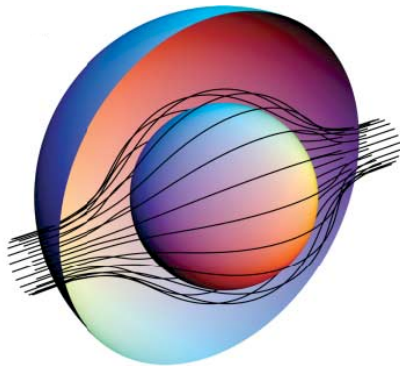


Geometrická vzdálenost se nezachovává

Díky vhodnému optickému prostředí lze obě **optické dráhy** učinit stejnými

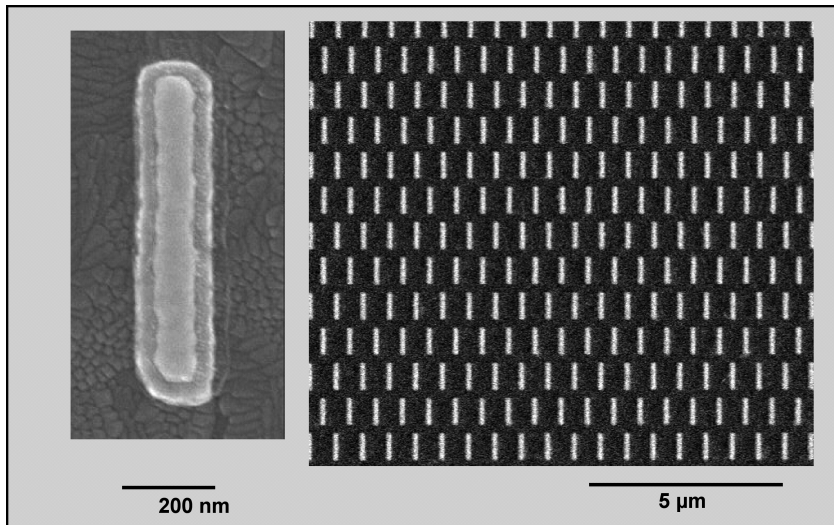
Neviditelnost



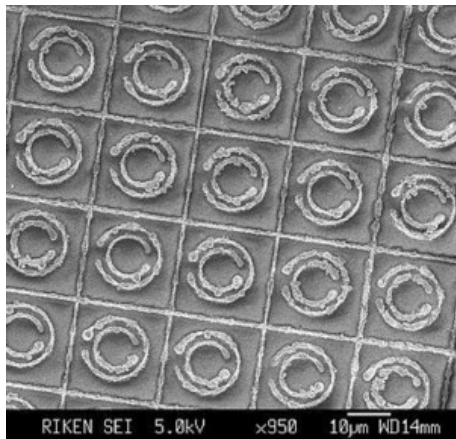


[J. B. Pendry, D. Schurig, D. R. Smith, Science 312, 1780 (2006)]

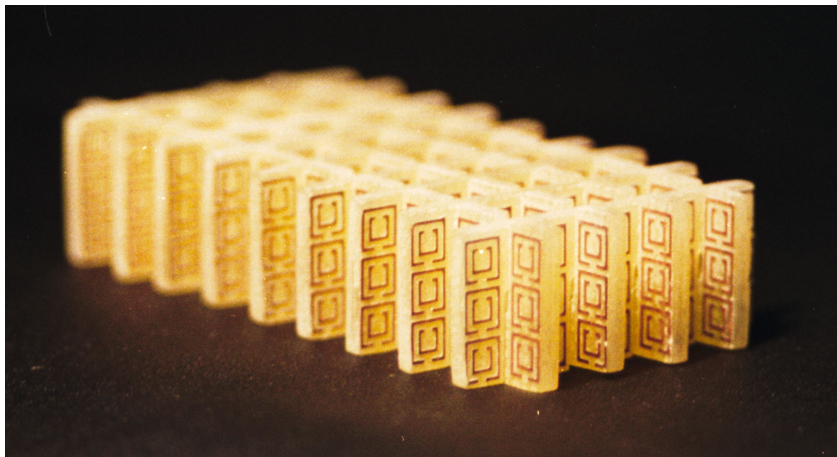
Metamateriály



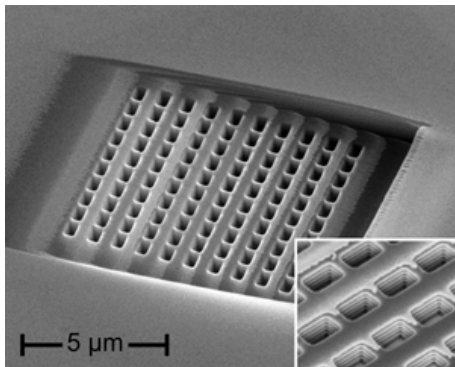
Metamateriály



Metamateriály

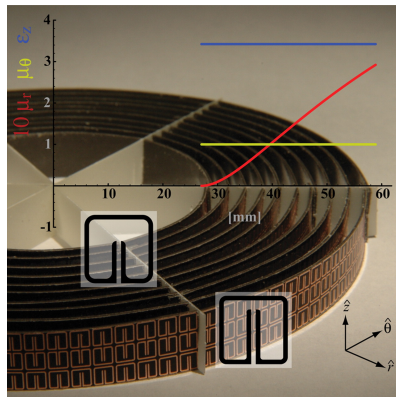
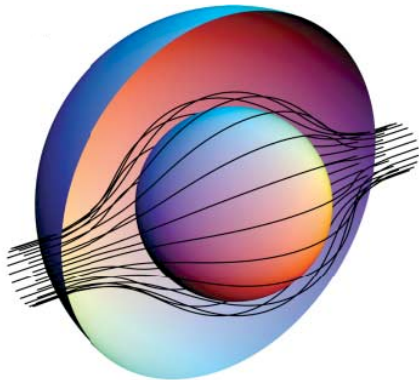


Metamateriály



Neviditeľnosť

V roce 2006 realizováno pro **mikrovlny**
[D. Schurig et al, *Science* 314, 977 (2006)]



Problém

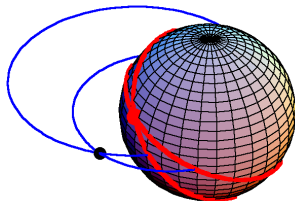
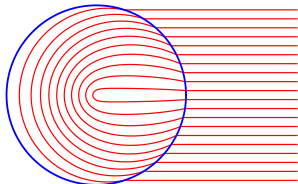
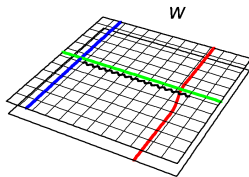
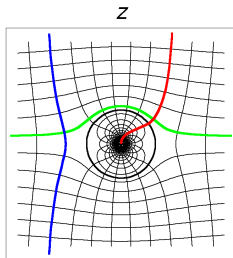
Tento plášť by musel mít **extrémní optické vlastnosti**

Nemohl by fungovat pro více barev (vlnových délek) najednou

Ulf Leonhardt a já jsme proto hledali alternativní řešení

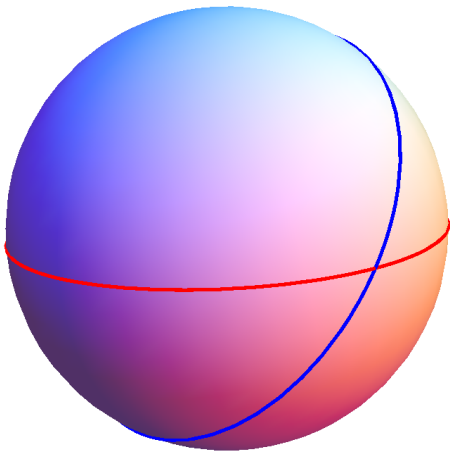
Spojení několika myšlenek

Neeukleidovská geometrie, Maxwellovo rybí oko,
optická konformní zobrazení, transmutace singularit



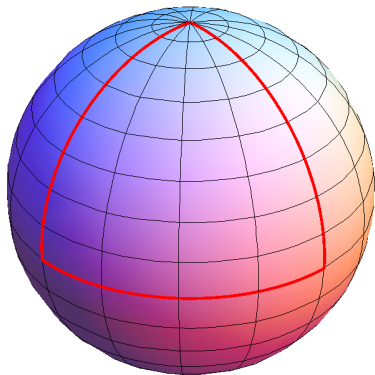
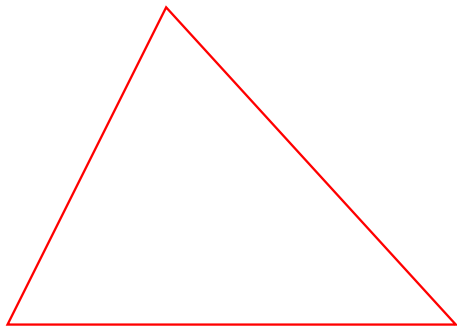
Neeukleidovská geometrie

Světlo se na zakřiveném povrchu pohybuje po **geodetikách** – „nejpřímějších“ možných křivkách



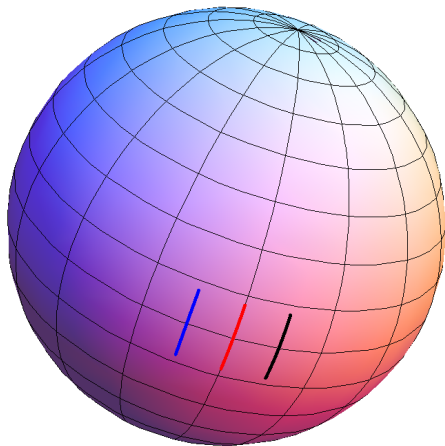
Neeukleidovská geometrie

Součet úhlů v trojúhelníku nemusí být 180 stupňů



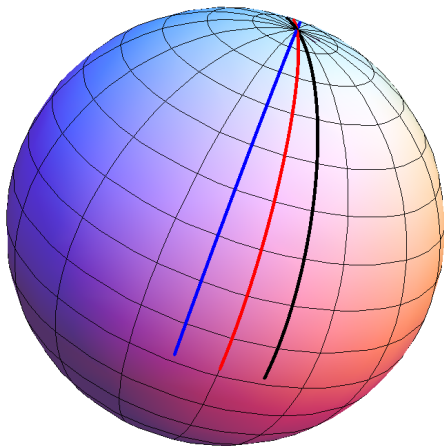
Neeukleidovská geometrie

„Rovnoběžky“ v neeukleidovském prostoru se protínají



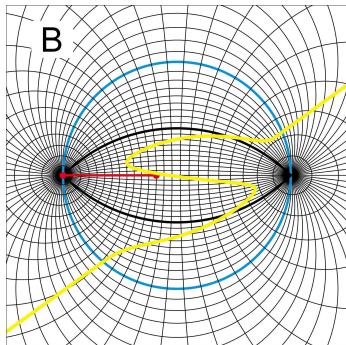
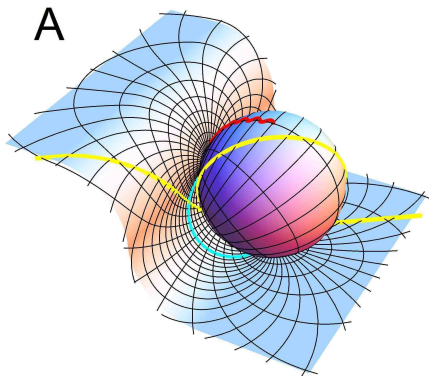
Neeukleidovská geometrie

„Rovnoběžky“ v neeukleidovském prostoru se protínají

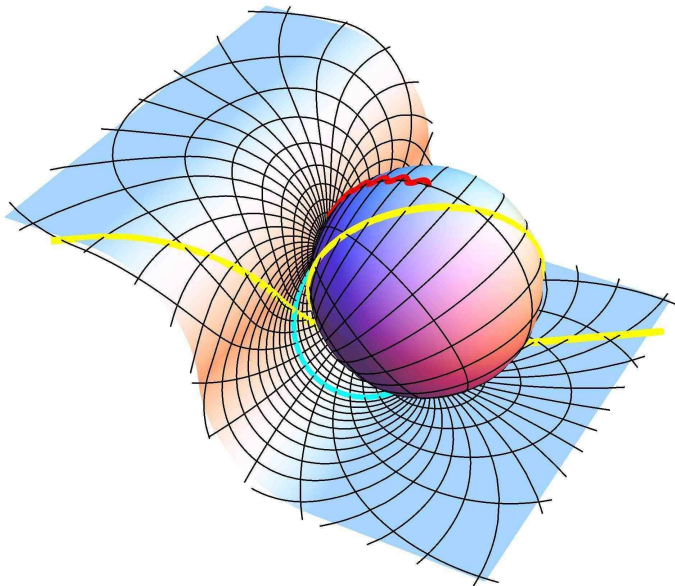


Neviditelnost využívající zakřivený prostor

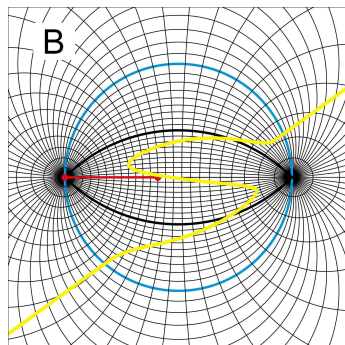
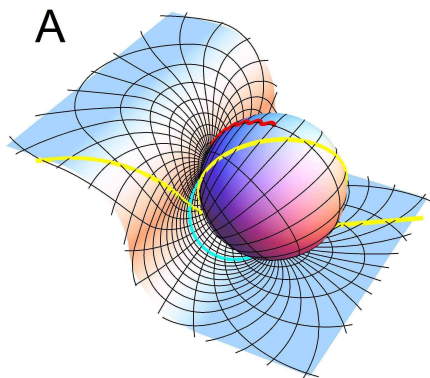
Náš návrh neviditelnosti využívá geometrii zakřiveného prostoru
[U. Leonhardt a T. Tyc, *Science* 323, 110 (2009)]



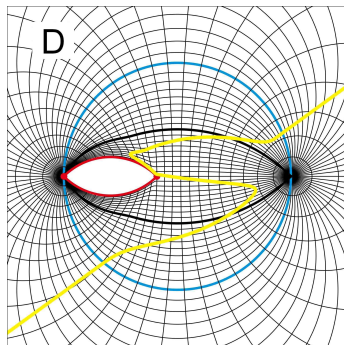
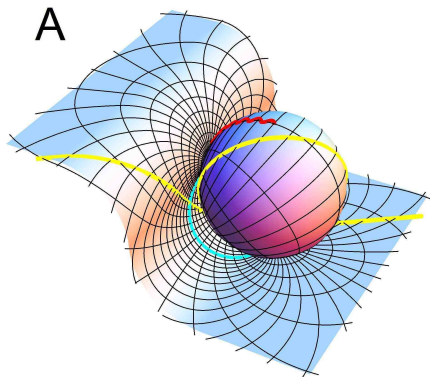
Neviditelnost využívající zakřivený prostor



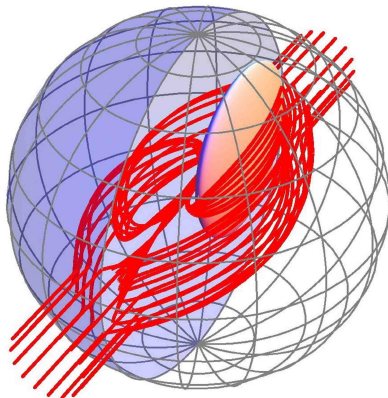
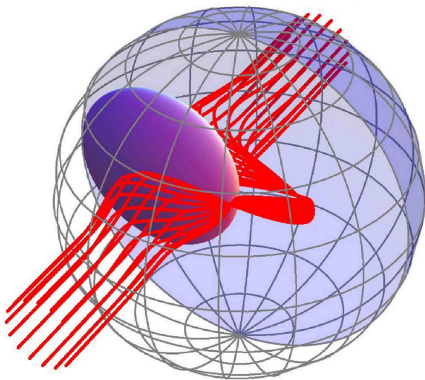
Neviditelnost využívající zakřivený prostor



Neviditelnost využívající zakřivený prostor



Trajektorie paprsků ve 3D



Nevýhody neviditelných pláštů

Kolik elementů obsahuje 1 m³ pláště?

Jeden element: $\frac{1}{5000}$ mm

Na 1 metr ... 5 000 000 elementů

Na 1 metr krychlový ... $5\,000\,000^3 =$
 $125\,000\,000\,000\,000\,000\,000 = 1,25 \cdot 10^{20}$ elementů

Od Velkého třesku uplynulo asi 15 miliard let = $4,4 \cdot 10^{17}$ sekund

Vyrobít 300 elementů každou sekundu od Velkého třesku až doteď!

Nevýhody neviditelného pláště

V plášti by nešlo se pohybovat

Nevýhody neviditelného pláště

V plášti by nešlo se pohybovat

Neviditelný by neviděl ven

Nevýhody neviditelného pláště

V plášti by nešlo se pohybovat

Neviditelný by neviděl ven

Nemohl by k němu vzduch, takže by se po čase udusil

Nevýhody neviditelného pláště

V plášti by nešlo se pohybovat

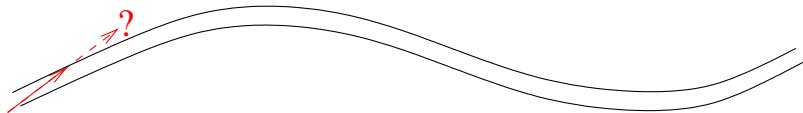
Neviditelný by neviděl ven

Nemohl by k němu vzduch, takže by se po čase udusil

Velmi omezené využití, pokud vůbec nějaké

Optická vlákna

Proč světlo zůstává v optickém vlákně?



Optická vlákna

Proč světlo zůstává v optickém vlákně?

