
STR jako teorie prostoru a času

Od Newtona k Einsteinovi.

Newtonův absolutní prostor a čas, inerciální soustavy, princip relativity, nemožnost identifikace absolutního prostoru. Maxwellova teorie a její neinvariance, teorie éteru. Michelsonův-Morleyův experiment. Lorentzova-Fitzgeraldova teorie, Einsteinova relativita.

Základní kameny STR.

Prostoročasový popis. Konečnost maximální rychlosti pohybu těles. Netriviálnost kauzální struktury. Vlastní čas. Světočáry volných těles. Inerciální soustavy. Princip relativity, isotropie a homogenita.

Od Newtona k Einsteinovi

Newtonovy základy klasické mechaniky (1686)

- absolutní prostor = pojem klidu
- absolutní čas - všeobecný čas všech dějů a pozorovatelů

pohybové zákony:

válcová částice se pohybuje rovnoměrně přímočaře vůči absolutnímu prostoru

$$F = ma$$

a zrychlení vůči abs. prostoru

F síla popisující vnější působení

m setrvačná hmotnost charakterizující "odolnost" vůči působení

inerciální soustavy

- soustavy spojené a volnými pozorovateli
- pohybují se rovnoměrně přímočaře vůči abs. pr.
- pohybují se vzájemně rovnoměrně přímočaře
- zrychlení vůči všem inerc. soust. je stejné
- síly nezávislé na rychlosti vůči všem inerc. s. stejné

princip relativity

inerciální soustavy navzájem ekvivalentní
absolutní prostor je nerozlišitelný pomocí
mechanických experimentů

prohra absolutního prostoru

Newton:

- soustava, ve které je v klidu Bůh
= metafora nutnosti klidové soustavy
- soustava spojená se stálicemi
 - přirozené, ale pro pozemský popis nepraktické
- otevřená možnost identifikovat abs. pr. pomocí
nemechanických experimentů

Maxwellova teorie elektřiny a magnetismu

Maxwellovy rovnice (1865)

- popis jak elektrický a také magnetický proud
- predikují EM vlny - vysvětluje světlo
- určují rychlost šíření světla

Podle klasické fyziky Maxwellovy rov. vybírají preferovanou inerciální soustavu, ve které platí v této soustavě se šíří světlo všemi směry stejnou rychlostí.
V jiných inerc. soustavách musí být rychlost šíření světla směrově závislá

Maxwellovy rovnice nemovantní vůči změně inerciálních soustav
⇒ nemožnosti identifikovat abs. prostor

Éter

v době Maxwella se elektromagnetické pole chápalo jako deformace zvláštního média vyplňujícího celý prostor - éteru
Maxwellovy rovnice tak platí v klidové soustavě éteru.

Michelsenův-Morleyův experiment (1881, 87)

snaha identifikovat klidovou soustavu éteru předpokládá se, že se Země vůči éteru pohybuje a měří se anizotropie rychlosti šíření světla v soustavě Země

naměřil se negatívni (!) výsledek, tj. světlo se soustavě Země pohybuje všemi směry stejně rychle

to platí navíc v různých polohách Země na dráze kolem Slunce, tj. v různých "lokálních" inerciálních soustavách

Lorentzova - Fitzgeraldova teorie

vysvětluje, proč Maxwellovy rovnice platí
v každé inerciální soustavě

machéiz. transformace mezi inerciálními soustavami,
které zachovávají podobu Maxwellových rov.
tzn. Lorentzovy transformace

tyto transformace interpretuje jako důsledek
"deformace" měřicích přístrojů

- zkrácování "měřicích tyčí"
- dilatace času měřeného hodinami

Maxwellovy rovnice tak platí "dopředy"
vůči abs. prostoru, kde je v klidu éter
v jiných inerciálních soustavách neplatí
ve stejné formě, pokud bychom používali
"správné" měřicí přístroje

my však používáme deformované přístroje
a v reči údajů těchto přístrojů se zdá,
že Maxwellovy rovnice platí ve stejné
podobě jako v abs. prostoru

logicky konzistentní

restauruje ekvivalenci inerc. soustav tak
jak je měřené

restauruje neidentifikovatelnost abs. prostoru

Einsteinova speciální teorie relativity (1905)

- bere vážně ekvivalenci inerciálních soustav
- zahaazuje absolutní prostor, éter
jako nadbytečné a neměřitelné pojmy
- zahaazuje absolutní čas společný všem dějům
- vysvětluje Lorentzovy transformace jako
důsledky vlastností prostorčasové geometrie
- tvoří základ současného chápání prostoru a času

Základní kameny STR

① Prostorčasový popis

STR popisuje prostor a čas pomocí prostorčasu
základní jeviště pro celou fyziku

- čtyřrozměrný prostor události
událost = "tedy a teď"
- světovára (světotrubice)
 - = historie fyzikálního objektu
 - = prostorčasové trajektorie

② Konečná maximální rychlost pohybu fyzikálních objektů

ne každá křivka v prostorčase odpovídá reálnému pohybu
skutečné pohyby směřují "kypředu v čase"

existuje nejrychlejší možný pohyb, nejrychlejší šíření signálu

- nejrychlejší signál nezávisí na zdroji či soustavě
nejrychlejší se šíří např. světlo → světelný signál
- časopodobné / světelné / prostoropodobné světováry
 - časopodobné sv.č. - reprezentuje pohyb běžného tělesa
 - světelné sv.č. - signál šířící se maximální rychl.
 - prostoropodobné sv.č. - neodpovídá reálnému pohybu
křivka skládající se z abnormálně položených událostí
světovára fiktivních tačlyonů

③ Netrivialnost kauzální struktury

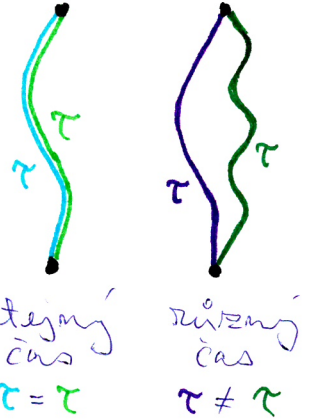
kauzální struktura určuje, zda se události mohou ovlivnit

- vztah dvou událostí je
"minulost - budoucnost" nebo "prostoropodobnost"
- neexistuje kanonická současnost
kanonická = jednosměrná, všeobecná

④ Vlastní čas

Podél světlocáry fyz. objektu existuje preferované míra času
 → vlastní čas = "skutečný" čas světlocáry

- čas, ve kterém lze jednoduše popsat základní fyz. procesy
 fyziklo, pružinka, EM oscilace, atomové oscilace
 rovnoměrnost volného pohybu
 - vše (ideálně) synchronizováno
- vnímaný čas vědomého pozorovatele
- vlastní čas závisí na "ploze" světlocáry
- vlastní čas = "časová délka" světlocáry



⑤ Světlocáry volných těles

mezi všemi pohyby existují výjimečné pohyby
 - pohyby volných těles

- volné těleso (částice, pozorovatel)
 = těleso, na které není žádné vnější působení
 - vnější působení buď odčiněno či kompenzováno
- světlocára volného tělesa = přímka v prostorocase
- světlocára volného tělesa maximalizuje vlastní čas

⑥ Inerciální soustavy

- vzájemný rovnoměrný přímočarý pohyb volných pozorovatelů
- tuhá soustava volných pozorovatelů
 tuhá = nemění se vzájemné vzdálenosti pozorovatelů
- čas soustavy = vlastní čas volných pozorovatelů
 čas všech pozorovatelů tvořících soustavu je shodný
- současnost soustavy - dáme synchronizaci hodin
- existuje globální inerciální soustava
 vydeluje STR z obecnější teorie OTR
 (Einsteinovy obecní teorie relativity)
- je možné mluvit o globálních směrech v prostorocase
 = globální rovnoběžnost

⑦ Principy relativity, isotropie a homogenita

prostorocás STR je vysoce symetrický
 fyzikální zákony nezávisí na tom kdy a kde se
 nacházíme, jak jsme orientováni a
 jakou rychlostí se pohybuje

- homogenita prostorocásu
 - prostorocás je všude (v prostoru a čase) stejný
- isotropie prostorocásu
 - prostorocás je ve všech směrech stejný
- ekvivalence všech rovnoměrných pohybů
 - prostorocás je při všech (podsvětelných) rychl. stejný
- princip relativity
 - fyzikální zákony jsou ve všech IS stejné
- Poincarého symetrie = symetrie prostorocásu STR
 - translace, rotace, boosty
 - euklidovské prostorová geometrie

Pozn:

OTR popisuje gravitaci jako zakřivení prostorocásu
 prostorocás STR je prostorocás bez gravitace
 zakřivený prostorocás obecně nemá symetrie STR