

# 15 Speciální teorie relativity

## 15.1 PRINCIP RELATIVITY

## 15.2 LORENTZOVA TRANSFORMACE

## 15.3 MICHELSONŮV-MORLEYŮV EXPERIMENT

## 15.4 TRANSFORMACE ČASU

## 15.5 LORENTZOVSKÁ KONTRAKCE

## 15.6 SOUČASNOST

## 15.7 ČTYŘVEKTORY

## 15.8 RELATIVISTICKÁ DYNAMIKA

## 15.9 EKVIVALENCE HMOTNOSTI A ENERGIE

### 15.1 PRINCIP RELATIVITY

Více než 200 let se věřilo, že Newtonovy rovnice správně popisují přírodu. Když se v nich poprvé našla chyba, našel se i způsob, jak ji odstranit. Oboje, chybu i její korekci, objevil Einstein v roce 1905.

V druhém Newtonově zákoně, daném vztahem

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

se mlčky předpokládalo, že  $m$  je konstantní veličina. Ale nyní víme, že to není pravda a že hmotnost tělesa roste, zvyšuje-li se jeho rychlost. V Einsteinově opraveném vztahu má  $m$  hodnotu

### PRINCIP RELATIVITY

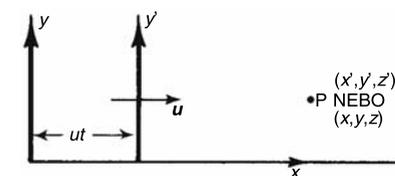
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (15.1)$$

kde  $m_0$  je „klidová hmotnost“, (hmotnost tělesa, jež se nepohybuje), a  $c$  je rychlost světla, která je přibližně rovna  $3 \cdot 10^8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pro ty, jimž stačí se z teorie naučit jen to, aby se mohli pustit do řešení úloh, tento vztah zcela postačí. Stačí, jestliže se v Newtonových zákonech zavede korekční člen pro hmotnost. Ze vztahu je vidět, že za normálních okolností je přírůstek hmotnosti velmi malý. Dokonce i pro družici Země, jež se pohybuje rychlostí třeba  $9,0 \text{ km/s}$ , je  $v/c = 3 \cdot 10^{-5}$ , a po dosazení do uvedeného vztahu dostaneme korekci hmotnosti ne větší než dvě až tři miliardtiny, což téměř nelze pozorovat. Platnost vztahu však byla dostatečně potvrzena pozorováním mnoha druhů částic, jejichž rychlosti dosahují prakticky až rychlosti světla. Za normálních okolností je tento efekt velmi malý, proto je pozoruhodné, že byl objeven nejprve teoreticky a až potom experimentálně. Ačkoli při dostatečně velkých rychlostech je růst hmotnosti velmi velký, nebyl objeven empiricky. Proto je zajímavé sledovat, jaká kombinace experimentů a fyzikálních úvah vedla k odhalení tak jemné modifikace zákona (v době původního objevu). Přispělo k tomu nemálo lidí, přičemž konečným výsledkem byl Einsteinův objev.

Existují dvě Einsteinovy teorie relativity. Tato kapitola hovoří o speciální teorii relativity z roku 1905. V roce 1915 uveřejnil Einstein dodatečnou teorii nazvanou Obecná teorie relativity. Ta je zobecněním speciální teorie relativity pro případ gravitace (my se jí zde nebudeme zabývat).

Newton byl první, kdo vyslovil princip relativity jako jeden z důsledků pohybových zákonů: „Vzájemné pohyby těles, nacházejících se v daném prostoru, jsou stejné, ať je prostor v klidu, nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře vpřed.“ To například znamená, že jestliže se kosmická loď pohybuje rovnoměrnou rychlostí, všechny experimenty a všechny jevy v lodi budou probíhat tak, jakoby se loď nepohybovala (samozřejmě za předpokladu, že se nikdo nebude dívat ven). To je smyslem principu relativity. Myšlenka je jednoduchá, jedinou otázkou je, zda je *pravda*, že ve všech experimentech provedených v pohybující se soustavě budou všechny fyzikální zákony stejné, jako v soustavě, která je v klidu. Nejprve zjistíme, zda v pohybující se soustavě mají Newtonovy zákony stejný tvar.



Obr. 15.1 Dvě souřadnicové soustavy v rovnoměrném relativním pohybu podél svých  $x$ -ových os

Předpokládejme, že se Pavel pohybuje konstantní rychlostí  $u$  ve směru osy  $x$ , přičemž měří polohu určitého bodu (obr. 15.1). Ve své souřadnicové soustavě si značí souřadnici ve směru osy  $x$  jako  $x'$ . Petr je v klidu, přičemž měří polohu téhož bodu. Souřadnici ve směru osy  $x$  ve své souřadnicové soustavě označí jako  $x$ . Počátek souřadnicové soustavy, v níž je Pavel, se posunul za čas  $t$  o vzdálenost  $ut$ , a jestliže obě soustavy zpočátku splývaly, máme

$$x' = x - ut, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t. \quad (15.2)$$