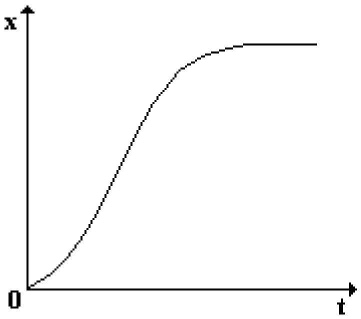
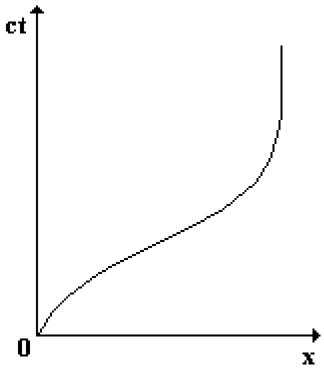
Prostoročasové diagramy

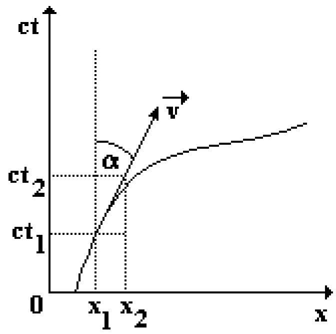
Z klasické fyziky známe grafy, pomocí nichž lze znázornit pohyb hmotného bodu (resp. tělesa). Nejčastěji používaným grafem je graf závislosti polohy *x* na čase *t*, jehož příklad je uveden na obr. 27. V relativitě se používá jiný typ grafu. Uvažujeme-li pohyb tělesa pouze po přímce, pak se na vodorovnou osu nanáší souřadnice *x*, na osu svislou pak nikoliv čas *t*, ale hodnota součinu *ct*. Tak jsou hodnoty na obou osách ve stejných jednotkách. Klasický graf z obr. 27 se v teorii relativity zobrazí tak, jak je ukázáno na obr. 28.



Obr. 27



Obr. 28



Obr. 29

Graf na obr. 28 vznikne z grafu na obr. 27 překlopením podél osy prvního a druhého kvadrantu.

Právě popsaný graf se nazývá **prostoročasový diagram**. Čára, která je grafem příslušného pohybu, se nazývá **světočára**. Tento pojem zavedl do speciální teorie relativity polský matematik Hermann Minkowski (1864 - 1909), který vytvořil geometrický aparát používaný ve speciální teorii relativity. Bod v prostoročasovém diagramu, který popisuje, že se v daném čase a v daném místě prostoru něco stalo, se nazývá **událost**.

Z klasické mechaniky víme, že z grafu závislosti uražené dráhy na čase (obr. 27) lze určit také velikost rychlosti pohybu daného hmotného bodu (resp. tělesa).

Okamžitou rychlost pohybu daného hmotného bodu (resp. tělesa) v daném bodě světočáry získáme první derivací souřadnice podle času. V grafu závislosti souřadnice na čase bude tedy vektor okamžité rychlosti ležet na tečně k příslušnému grafu v daném bodě. Velikost rychlosti pak je udána směrnicí této tečny; směrnice tečny je dána tangentou úhlu, který svírá tečna s kladnou částí vodorovné osy. V grafech v teorii relativity (vzhledem ke způsobu jejich zakreslování) to bude úhel mezi tečnou a kladnou částí svislé osy.

Zatímco v klasické mechanice velikost rychlosti pohybu nebyla omezená, ve speciální teorii relativity omezená je. Prozkoumejme nyní, jak může světočára objektu vypadat, aby popisovala reálný objekt.

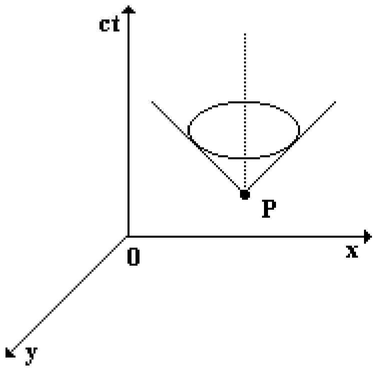
Velikost rychlosti pohybujícího se hmotného bodu (resp. tělesa) je omezená velikostí rychlosti světla ve vakuu. To vyplývá také např. z principu kauzality.

V klasické mechanice toto omezení není zdůrazňováno, protože klasická mechanika nepopisuje objekty, které by se pohybovaly rychlostmi, jejichž velikost by byla srovnatelná s velikostí rychlosti světla ve vakuu. Proto se v klasické mechanice těleso může pohybovat „libovolnou“ rychlostí, byť je jasné, že se nemůže pohybovat příliš velkými rychlostmi. Ale to vyplývá až z nadstavby klasické mechaniky - ze speciální teorie relativity.

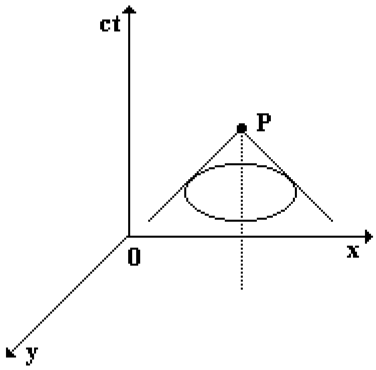
Na základě obr. 29 lze pro úhel α (úhel mezi tečnou světočáry v daném bodě a rovnoběžkou se svislou osou) psát: $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{x_2 - x_1}{ct_2 - ct_1} = \frac{\Delta x}{c.\Delta t} = \frac{v}{c}$. Vzhledem k tomu, že pro velikost rychlosti daného objektu platí omezení $v \le c$, dostáváme $\mathrm{tg}\,\alpha \le 1$ a tedy $\alpha \le 45°$. Rychlostí o velikosti *c* se může pohybovat pouze světlo (resp. částice foton). Proto grafem závislosti uražené dráhy na čase pro foton bude v prostoročasovém diagramu přímka svírající se směrem osy *ct* úhel přesně $45°$. Prostoročasový digram jakéhokoliv jiného objektu, který se bude pohybovat stálou rychlostí $\vec{v}$, pro jejíž velikost platí $v < c$, bude mít takový tvar, že tečna sestrojená v jeho libovolném bodě bude svírat se svislým směrem úhel $\alpha < 45°$.

Budeme-li uvažovat pohyb fotonu v prostoru, pak všechny události, do nichž lze z daného místa *P* vyslat světelný signál, budou ležet na plášti **světelného kužele** s vrcholovým úhlem $90°$ (viz obr. 30). Tento světelný kužel se nazývá **budoucí světelný kužel**, protože uvnitř a na jeho plášti leží události, které se stanou v budoucnosti události *P*. Událost *P* lze tedy „spojit" světelným paprskem či jakýmkoliv jiným tělesem, které se pohybuje rychlostí menší než je rychlost světla ve vakuu, s libovolnou událostí, která leží na nebo v budoucím světelném kuželu události *P*.

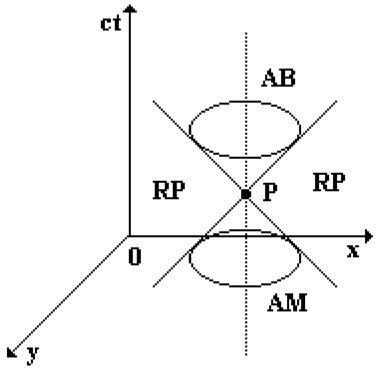
Analogicky lze zavést **minulý světelný kužel** (obr. 31) jako množinu všech událostí, které se staly v minulosti události *P*. Světelný signál nebo jakékoliv těleso se může dostat do bodu *P* pouze z míst, které leží na nebo v minulém světelném kuželu.



Obr. 30



Obr. 31



Obr. 32

Pomocí světelných kuželů (a obr. 32) lze hovořit o:

1. absolutní budoucnosti (*AB*) - tj. o těch událostech, které leží uvnitř a na plášti budoucího světelného kuželu a které se staly (v libovolné inerciální soustavě) po události *P*
2. absolutní minulosti (*AM*) - tj. o těch událostech, které leží uvnitř a na plášti minulého světelného kuželu a které se staly (v libovolné inerciální soustavě) před událostí *P*
3. relativní přítomnosti (*RP*) - tj. o událostech, které leží mimo budoucí světelný kužel i minulý světelný kužel a které mohou v některých inerciálních soustavách nastat zároveň s událostí *P* a v jiných dříve či později

Vzhledem k principu kauzality se nemůže stát, že některá událost nastane z hlediska jednoho inerciálního systému dříve než událost *P* a z hlediska jiného inerciálního systému později než *P*. Může se stát, že z hlediska jednoho inerciálního systému nastane událost současně s *P* a z hlediska jiného později než *P*. A nebo z hlediska jednoho inerciálního systému nastane daná událost současně s *P* a z hlediska jiného dříve než *P*.