

inerciálne vzťahné sústavy

čo vlastne hovorí zákon zotrvačnosti

in the previous episode

**Vo vesmíre nie je
bezváhový stav.**



- ❖ v minulej prednáške sme si vysvetlili prečo vidíme zdanlivo bezváhový stav aj keď tam nič také nie je
- ❖ ale celá tá situácia sa dá chápať aj tak, že to istým spôsobom nakoniec je bezváhový stav (a je to veľmi užitočné)
- ❖ dokonca sa dá povedať, že kto chápe toto zavedenie bezváhového stavu, ten rozumie mechanike (a kto to nechápe, mechanike dosť dobre nerozumie)

bezváhový stav a fiktívne sily

- ❖ existuje možnosť definovať váhu (tiaž) tak, že okrem gravitačnej sily do nej zahrnieme aj takzvané fiktívne sily
- ❖ jednou z fiktívnych síl je (ako si ukážeme) aj odstredivá sila a človek sa môže vcelku ľahko stretnúť s tvrdením, že bezváhový stav vzniká preto, lebo dostredivá sila sa vyruší s odstredivou
- ❖ to tvrdenie je však skoro určite nesprávne (presnejšie povedané, platí len vo veľmi špeciálnej a dosť neprirodzenej vzťažnej sústave, ktorú skoro nikto nemá na mysli)
- ❖ dobré porozumenie fiktívnym silám nie je možné bez jasného pochopenia pojmov inerciálnej a neinerciálnej vzťažnej sústavy
- ❖ tieto pojmy prirodzene vyplynú z jemnejšej analýzy prvého Newtonovho zákona (čiže zákona zotrvačnosti), ktorý je v skutočnosti prekvapujúco oveľa hlbší, než by sa na prvý pohľad mohlo zdať
- ❖ cieľom tejto a nasledujúcej prednášky bude práve táto analýza zákona zotrvačnosti, porozumenie inerciálnym a neinerciálnym sústavám a fiktívnym silám

Newtonova formulácia prvého zákona

prvý zákon

Každé teleso zotrváva v stave pokoja alebo rovnomerného pohybu po rovnej čiare, pokiaľ nie je prinútené tento stav zmeniť silami pôsobiacimi na toto teleso.

- Hneď na začiatku razantná rozlúčka s Aristotelom.
- Zovšeobecnenie Galileovho zákona zotrvačnosti (ktorý sa týkal len pohybu vo vodorovnom smere)

ako získať Nobelovu cenu

- ❖ nech nejaký koumák overuje zákon zotrvačnosti tak, že zoberie teleso, na ktoré pôsobí nulová výsledná sila a zmeria jeho zrýchlenie (ktoré musí byť podľa tohto zákona nulové)
- ❖ my sa posadíme do auta, pridáme plyn a natočíme na mobil to teleso, ktoré bude mať vzhľadom k nám nejaké nenulové zrýchlenie
- ❖ a máme film, na ktorom sa teleso pod vplyvom nulovej sily pohybuje s nenulovým zrýchlením – HEURÉKA

The Daily News

The news you want - the way you want it

Thursday, 17 February 2022

REVOLUTION IN PHYSICS



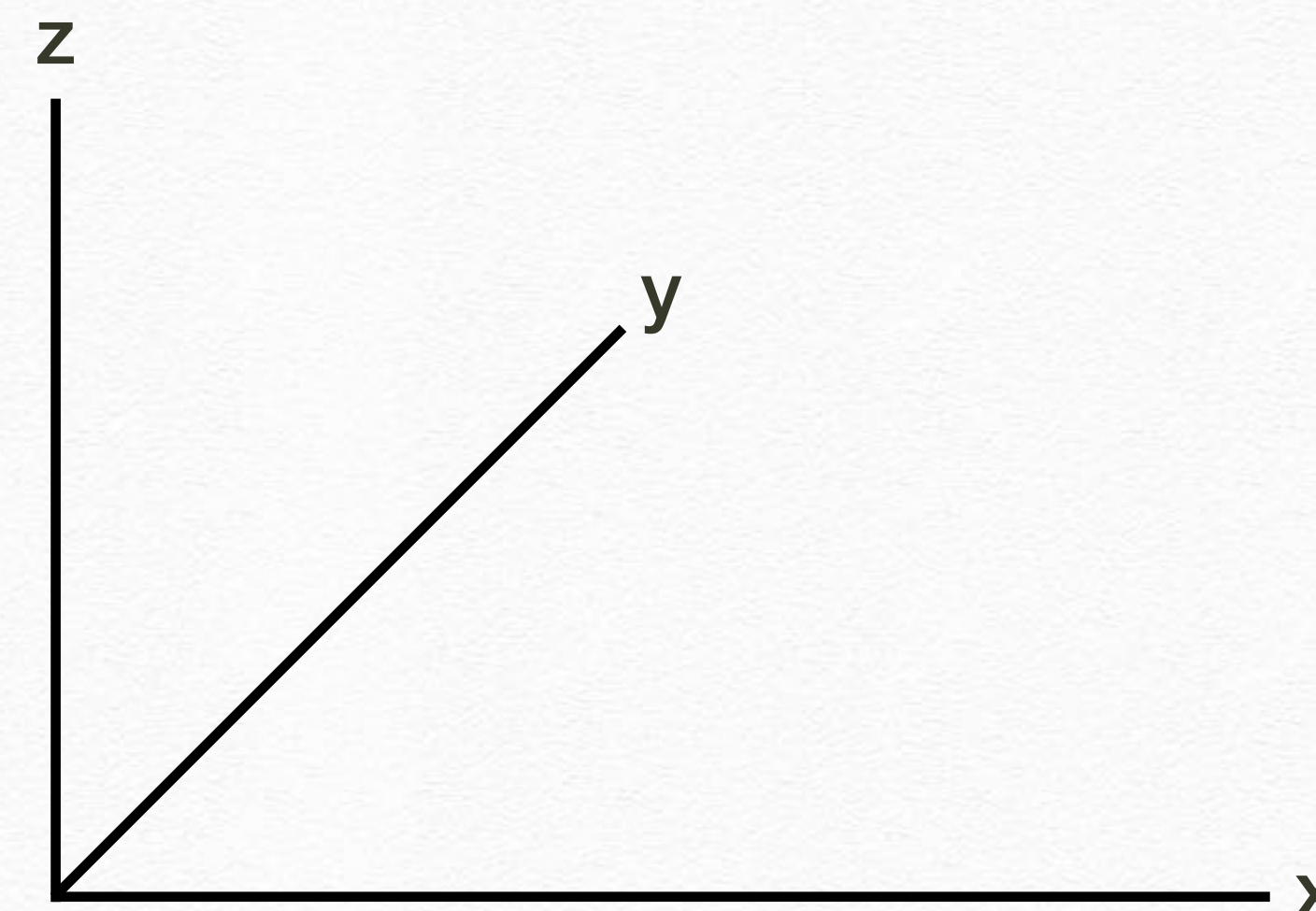
Freshmen at the Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius Uni, Bratislava discovered the Law of Inertia breakdown. The discovery of this totally fundamental and absolutely surprising result was obtained by the Einstein's favourite method of thought experiment (Gedankenexperiment) and is of utmost importance for science as a whole. The Nobel committee has reacted promptly by declaring that since the Nobel prize in physics can be awarded to three persons max each year, this discovery is going to saturate the physics Nobel prize for more than a decade.

hurá, hurá, jedine že by ...

- ❖ ... na to prišiel už niekto iný dávno pred nami
- ❖ prišiel na to už niekto iný dávno pred nami?
- ❖ bohužiaľ áno
- ❖ a odkedy na to ľudia prišli, používajú lepšiu (spresnenú) formuláciu zákona zotrvačnosti, používajúcu pojem vzťažnej sústavy

čo je vzťažná sústava

- ❖ hocičo, vzhľadom k čomu môžeme určovať polohu telies
- ❖ príklady vzťažných sústav: hrad, auto, planéta, súradnicové osi
- ❖ príklad určenia polohy v prípade vzťažnej sústavy hrad: teleso je 70 metrov pred hlavnou bránou
- ❖ príklad určenia polohy v prípade vzťažnej sústavy súradnicové osi: teleso má súradnice $(70, 0, 0)$



ako vyzerá spresnená formulácia?



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

Zákon zotrvačnosti

Zákon zotrvačnosti alebo **prvý pohybový zákon** alebo **prvý Newtonov zákon** alebo **princíp zotrvačnosti** je jeden z **Newtonových pohybových zákonov**.

Znenie: Hmotný bod v inerciálnej vzťažnej sústave zotráva v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe, ak naň nepôsobí žiadna sila alebo je výslednica síl naň pôsobiacich nulová.

Inerciálna vzťažná sústava

Inerciálna vzťažná sústava je **vzťažná sústava**, v ktorej platí **1. Newtonov pohybový zákon**, t. j. že **telesá**, na ktoré nepôsobí žiadna sila, alebo výslednica síl je nulová, zostávajú v pokoji alebo v **rovnomernom priamočiarom pohybe**.

Všetky inerciálne vzťažné sústavy zostávajú voči sebe v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe.

lenže to je podobné ako:



základný zákon alchýmie

Olovo sa v zlatonosnej vzťažnej sústave po zmiešaní s ľudskými slinami medzi prvým a druhým ranným zakikiríkaním kohúta zmení na zlato.

zlatonosná vzťažná sústava

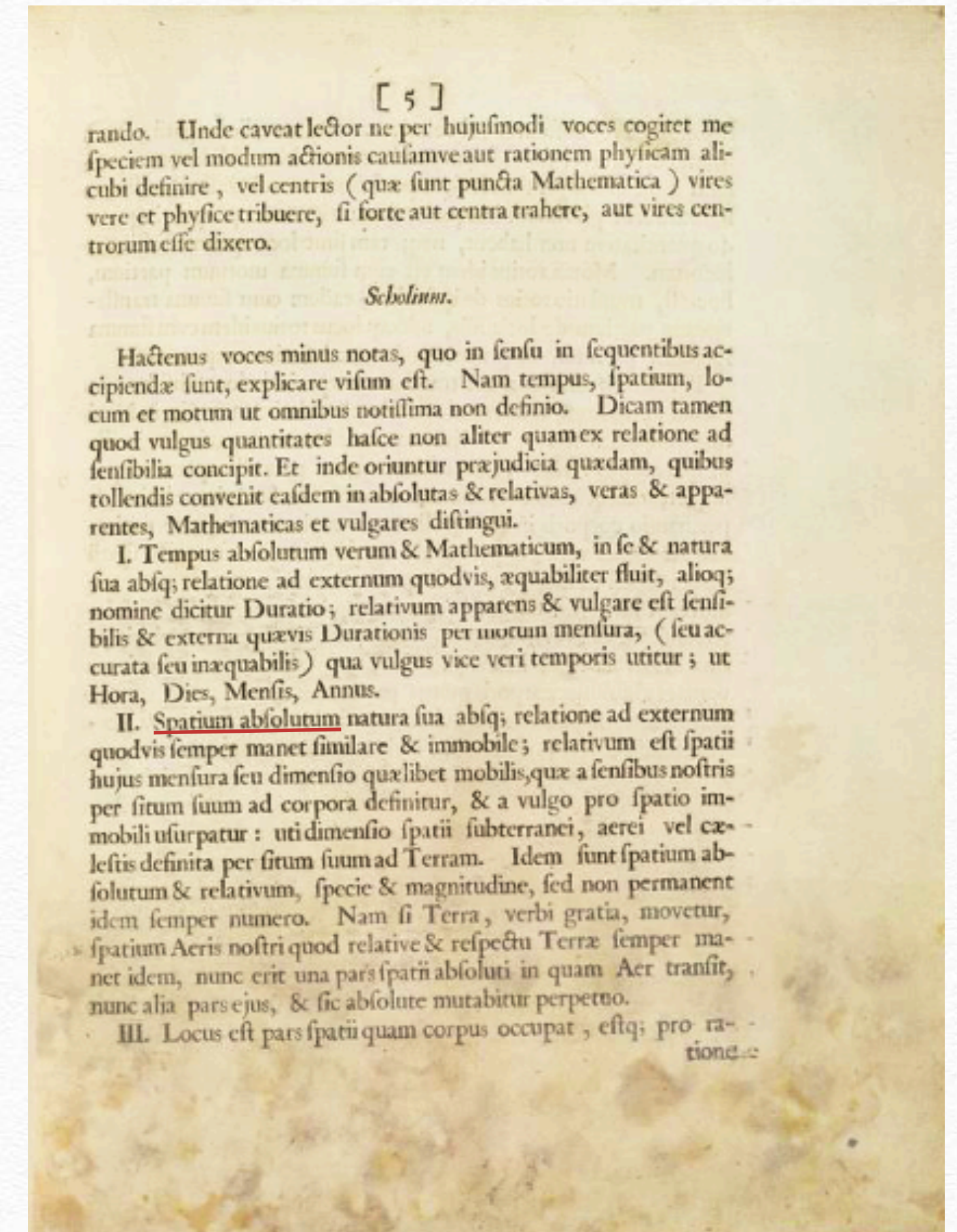
Zlatonosná vzťažná sústava je taká vzťažná sústava, v ktorej sa olovo po zmiešaní s ľudskými slinami medzi prvým a druhým ranným zakikiríkaním kohúta zmení na zlato.

čudná situácia

- ❖ formulácia zákona zotrvačnosti vo wikipédii (a všelikde inde) rešpektuje nami (a inými) objavenú skutočnosť, že tento zákon jednoducho nemôže platiť vo všetkých vzťažných sústavách
- ❖ tie vzťažné sústavy, v ktorých zákon zotrvačnosti platí, nazýva wikipédia (a všetci ostatní) inerciálne (inercia = zotrvačnosť)
- ❖ lenže takáto definícia inerciálnej sústavy robí z celej veci prázdnu blbosť: zákon zotrvačnosti platí tam, kde platí.

ako to riešil Newton

- ❖ úplne na začiatku Principií v rámci časti Definície hovorí Newton o absolútnom priestore a svoje zákony vzťahuje k tomuto absolútnemu priestoru
- ❖ priznáva pritom, že absolútny priestor je našimi zmyslami nevnímateľný, čiže ho nijako nevieme identifikovať (čo je pre logiku fyziky nepríjemné)
- ❖ zákon zotrvačnosti a ďalšie Newtonove zákony platia v tomto absolútnom priestore (a zároveň automaticky aj v každej inej vzťažnej sústave, ktorá sa vzhľadom k absolútnemu priestoru pohybuje rovnomerne priamočiaro)



toto je z Newtonovho osobného výtlačku prvého vydania Principií

ako to rieši moderná fyzika

- ❖ absolútny priestor je v podstate nedefinovateľný a zbytočný pojem, dôležitý a úplne postačujúci je pojem inerciálnej vzťažnej sústavy, pričom všetky inerciálne sústavy sú rovnocenné
- ❖ definícia inerciálnej vzťažnej sústavy: jedno (hocijaké a stačí len to jedno) teleso, na ktoré pôsobí nulová sila, sa vzhľadom k tejto sústave pohybuje rovnomerným priamočiarym pohybom (alebo stojí)
- ❖ zákon zotrvačnosti: všetky (úplne všetky) telesá, na ktoré pôsobí nulová sila, sa vzhľadom k inerciálnej vzťažnej sústave pohybujú rovnomerným priamočiarym pohybom (alebo stoja)

dve poznámky

rôzne úlohy rôznych telies

- ❖ vzťažnú sústavu predstavuje nejaké teleso či telesá, buď skutočné (hrad, auto, planéta) alebo len myslené (súradnicové osi)
- ❖ inerciálnosť vzťažnej sústavy je daná tým, ako sa vzhľadom k tejto sústave pohybuje nejaké iné (testovacie) teleso, na ktoré pôsobí nulová výsledná sila
- ❖ teleso reprezentujúce vzťažnú sústavu a testovacie teleso sú dve rôzne telesá – človek by si ich nemal pliesť

rovnomerný pohyb častí

- ❖ pod rovnomerným priamočiarym pohybom testovacieho telesa rozumieme rovnomerný pohyb všetkých jeho častí (ide o tuhé teleso)
- ❖ to znamená dve veci:
po prvé, testovacie teleso ako celok sa musí pohybovať rovnomerne priamočiario (myslí sa tým napríklad pohyb hmotného stredu)
- ❖ po druhé, tuhé testovacie teleso sa nesmie vzhľadom k inerciálnej vzťažnej sústave nijako otáčať (rotovať)

posledná rozlúčka

- ❖ Newtonov absolútny priestor bol pôvodne akýmsi fundamentálnym javiskom, na ktorom sa odohrávala celá mechanika (a celá fyzika)
- ❖ lenže podľa Newtonových zákonov sú absolútnemu priestoru úplne rovnocenné aj iné vzťažné sústavy (také, ktoré sa vzhľadom k nemu pohybujú rovnomerne priamočiario)
- ❖ absolútny priestor teda bol vlastne len “prvý medzi rovnými”, pričom sa prakticky nijako nedalo zistiť, ktorý konkrétne to je
- ❖ lenže taký pojem je vo fyzike úplne zbytočný (hoci z psychologického hľadiska je vcelku zrozumiteľný a zdanlivo užitočný)



V hlbokom zármutku oznamujeme všetkým príbuzným, priateľom a známym, že nás navždy opustil zdanlivo nevyhnutný, ale v skutočnosti úplne zbytočný

Absolútny Priestor

Jeho úlohu odteraz v plnej miere preberá ľubovoľná inerciálna vzťažná sústava.

Česť jeho pamiatke.

pre tých, ktorí sa neradi vzdávajú predstavy absolútneho priestoru ponúkame ako náhradu jednu významnú inerciálnu sústavu

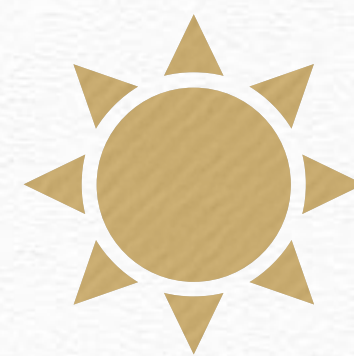
ideálnymi testovacími telesami sú hviezdy – jednak sú ďaleko od všetkého ostatného, takže na ne pôsobia zanedbateľné vonkajšie sily (ak sily klesajú so vzdialenosťou, čo klesajú) a jednak sú dobre viditeľné

vzťažná sústava, v ktorej hviezdy stoja, je s vysokou presnosťou inerciálnou vzťažnou sústavou



približne inerciálne vzťažné sústavy

- ❖ inerciálnosť (alebo neinerciálnosť) vzťažnej sústavy je experimentálny fakt
- ❖ naša znalosť tohto faktu je obmedzená presnosťou našich meraní
- ❖ vzťažná sústava, v ktorej je zrýchlenie testovacieho telesa v rámci presnosti meraní nulové, je pre nás z praktického hľadiska inerciálna (hoci presnejšie merania by mohli prípadne odhaliť jej malú neinerciálnosť)



- ❖ zrýchlenie niektorých vzťažných sústav vzhľadom k inerciálnym:

- nerotujúce Slnko $a \approx 10^{-9} \text{ ms}^{-2}$
- nerotujúca Zem $a \approx 10^{-3} \text{ ms}^{-2}$
- povrch Zeme $a \approx 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$

vzájomný pohyb inerciálnych sústav

- ❖ ak sa vzťažná sústava S' pohybuje vzhľadom k nejakej inerciálnej vzťažnej sústave S rovnomerne priamočiari (t. j. ak sa počiatok sústavy S' pohybuje rovnomerne priamočiari vzhľadom k sústave S) a zároveň je to pohyb bez rotácie (t. j. ak osi sústavy S' nerotujú vzhľadom k osiam sústavy S), potom je aj S' inerciálnou vzťažnou sústavou. Dokážte!
- ❖ ak sa vzťažná sústava S' pohybuje vzhľadom k nejakej inerciálnej vzťažnej sústave S , ale nie rovnomerne priamočiari (t. j. ak sa počiatok sústavy S' pohybuje nie rovnomerne priamočiari vzhľadom k sústave S) alebo ak rotuje (ak osi sústavy S' rotujú vzhľadom k osiam sústavy S), potom sústava S' nie je inerciálnou vzťažnou sústavou. Dokážte!

poznámka k Einsteinovi

- ❖ pojem inerciálnej vzťažnej sústavy hrá zásadnú úlohu nielen v mechanike, ale aj v Einsteinovej špeciálnej teórii relativity
- ❖ tá je založená na dvoch postulátoch, ktoré sa dajú sformulovať takto:
 - a) rýchlosť svetla vo vákuu je pre všetkých pozorovateľov rovnaká
 - b) prírodné zákony sú rovnaké v každej inerciálnej vzťažnej sústave
- ❖ snaha zovšeobecniť druhý postulát (princíp relativity) aj na neinerciálne vzťažné sústavy priviedol Einsteina k objavu všeobecnej teórie relativity

krátke zamyslenie nad povahou fyzikálnych zákonov

- ❖ poctivé premýšľanie o zákone zotrvačnosti nás doviedlo k tomu, že tento zákon je v nejakom zmysle definíciou (inerciálnej vzťažnej sústavy) a v nejakom zmysle všeobecným tvrdením (o inerciálnych vzťažných sústavách)
- ❖ táto dvojaká povaha zákona zotrvačnosti nie je medzi fyzikálnymi zákonmi výnimkou, ale skôr pravidlom
- ❖ premyslite si, že aj zákon sily je v nejakom zmysle definíciou (sily) a v nejakom zmysle tvrdením (o silách)

otázka na záver

- ❖ zákon zotrvačnosti a zákon sily platia (zatiaľ) len v inerciálnych vzťažných sústavách
- ❖ znamená to automaticky, že neinerciálne vzťažné sústavy sú vo fyzike nepoužiteľné?
- ❖ nie – ako uvidíme v budúcej prednáške