

# A PISAI FERDE TORONYRÓL

(Az ős patkány)

(A patkószög)



## Az építkezés fejlődése

Konyhó összeeszkábálása

## Az építkezés fejlődése

Vályogház: agyag és szalma keveréke, jól megdöngölve az alapba is

Vályogház: agyag és szalma keveréke, jól megdöngölve az alapba is

Kő(tégla)ház: kő, mész, agyag keveréke jól megdöngölve az alapba

Emeletes ház: kő, mész, agyag keveréke jól megdöngölve az alapba

Egy emelet, két emelet....

Mi van az alap alatt? Milyen mély az alap?

Mi van az alapban?

Talajminta mélyfúrással, vasbetonalap kellő mélységig



# A fizika fejlődése

# Egyensúlyi termodinamika

## Egyensúlyi termodinamika

Úgy változik, hogy nem változik: fából vaskarika

# Klasszikus mechanika

# Klasszikus mechanika

Newton lerakta az alapokat

Lagrange és Hamilton

Kanonikus impulzus:  $\mathbf{p} = m\mathbf{v} + \mathbf{A}(t, \mathbf{q})$

„Tömegpont fázistere”:  $(\mathbf{q}, \mathbf{p})$ : „ez a helyzete és ennyi a kanonikus impulzusa”

„Tömegpont fázistere”: a tömegpont eseményei, statisztikus fizika

A „tömegpont fázistere” jól bedöngölve a klasszikus mechanika alapjaiba



A „tömegpont fázistere” jól bedöngölve a klasszikus mechanika alapjaiba

*A fázistér nem a tömegpont sajátja: benne van egy vonatkoztatási rendszer és egy vektorpotenciál is*

A „tömegpont fázistere” jól bedöngölve a klasszikus mechanika alapjaiba

*A fázistér nem a tömegpont sajátja: benne van egy vonatkoztatási rendszer és egy vektorpotenciál is*

A fázistérre építeni magasabb elméleteket?

## Vonatkoztatási rendszerek

Landau: Mindig lehet olyan vonatkoztatási rendszert találni, amelyben a tér homogén és izotróp, az idő pedig homogén. Az ilyen rendszert inerciarendszernek nevezzük.

Landau: Mindig lehet olyan vonatkoztatási rendszert találni, amelyben a tér homogén és izotróp, az idő pedig homogén. Az ilyen rendszert inerciarendszernek nevezzük.

Budó: Van olyan vonatkoztatási rendszer, amelyben egy teljesen magára hagyott (erőmentes) pontszerű test nyugalomban vagy egyenes vonalú egyenletes mozgásban van. Az ilyen rendszert inerciarendszernek nevezzük.

Landau: Mindig lehet olyan vonatkoztatási rendszert találni, amelyben a tér homogén és izotróp, az idő pedig homogén. Az ilyen rendszert inerciarendszernek nevezzük.

Budó: Van olyan vonatkoztatási rendszer, amelyben egy teljesen magára hagyott (erőmentes) pontszerű test nyugalomban vagy egyenes vonalú egyenletes mozgásban van. Az ilyen rendszert inerciarendszernek nevezzük.

Møller: A speciális relativitás elve szerint, amely a speciális relativitás elméletének az alapja, minden inerciarendszer, azaz minden merev rendszer, amely állandó sebességgel mozog az állócsillagokhoz képest, tökéletesen egyenértékű a természet leírása szempontjából.

amelyben a tér homogén és izotróp, az idő homogén

amelyben valami (magára hagyott test) állandó sebességgel mozog

amely valamihez (állócsillagok) képest állandó sebességgel mozog

amelyben a tér homogén és izotróp, az idő homogén

amelyben valami (magára hagyott test) egyenes vonalú egyenletes mozgásban van

amely állandó sebességgel mozog valamihez (állócsillagok) képest

Ilyen bizonytalan alapokra építkezni?

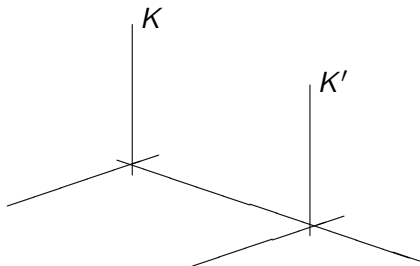
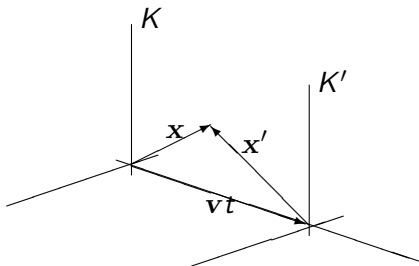


Megfigyelő, vonatkoztatási rendszer, koordinátarendszer

Koordináták jól bedöngölve az alapokba

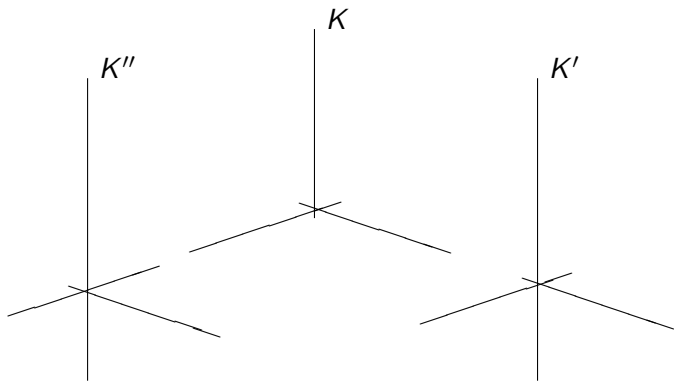
„ $K$  áll,  $K'$  mozog”

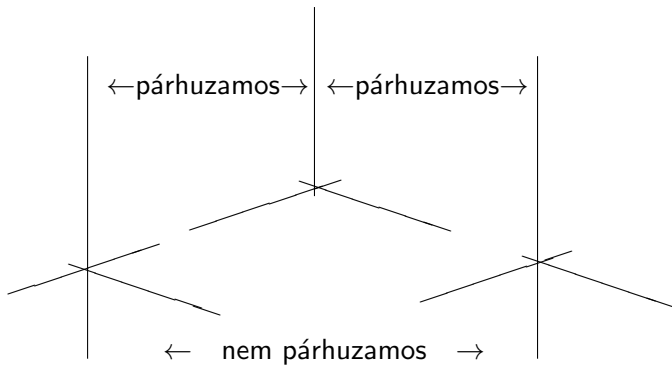
„nyilvánvaló”:  $x' = x - vt$ ,  $y' = y$ ,  $z' = z$ .



„nyilvánvaló”: a tengelyek párhuzamosak

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}(x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z,$$
$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \left( t - \frac{v}{c} \right)$$





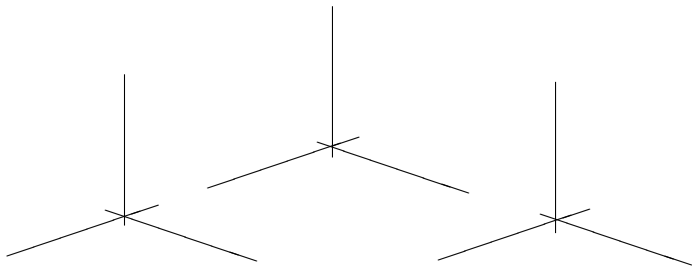
$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}(x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z,$$
$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \left( t - \frac{v}{c}x \right)$$

Nemrelativisztikus fizika:

1.  $c \rightarrow \infty$ ,
2.  $v \ll c$ .

$$(c \rightarrow \infty) \Rightarrow (E = mc^2 \rightarrow \infty).$$

$$v \ll c$$



Melyik áll és melyik mozog?

1.  $c \rightarrow \infty,$

2.  $v \ll c.$



1.  $c \rightarrow \infty$ ,

2.  $v \ll c$ .

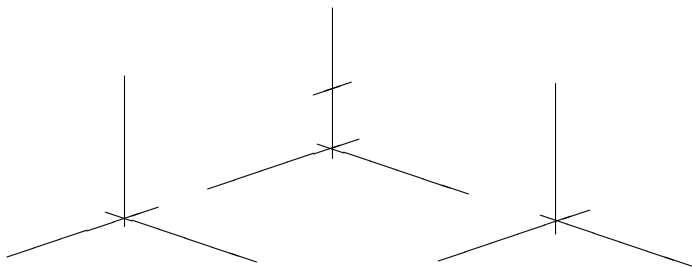
(József Attila) Ős patkány terjeszt kórt miköztünk, a meg nem gondolt gondolat

# Lorentz-kontrakció

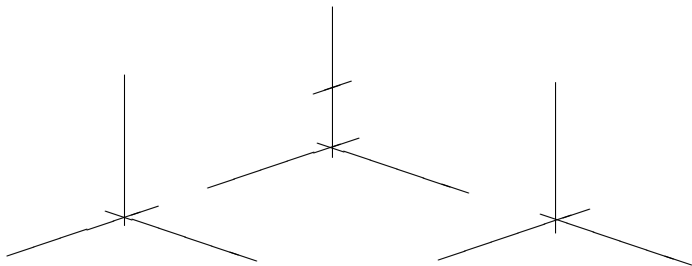
## Lorentz-kontrakció

A forgó korong kerülete

## Lorentz-kontrakció

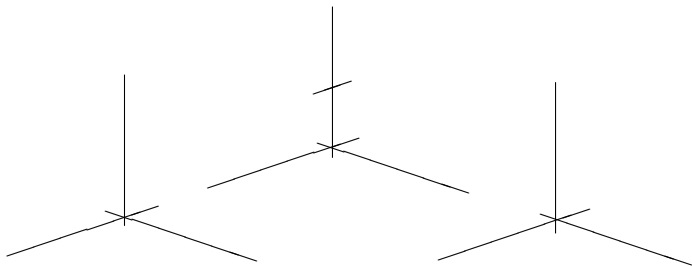


## Lorentz-kontrakció



Meg nem gondolt gondolat

## Lorentz-kontrakció



Meg nem gondolt gondolat

Üres halmaz

Koordináták egy elmélet alapján: biztos a dőlés

Koordináták egy elmélet alapján: biztos a dőlés

(S. Weinberg) „Egy szimmetria-transzformáció a nézőpontunk olyan megváltoztatását jelenti, amely nem változtatja meg a lehetséges kísérletek eredményét. Ha egy megfigyelő egy rendszert valamely ..... állapotban látja, akkor egy vele ekvivalens másik megfigyelő ugyanezt a rendszert .... állapotban látja, de a két megfigyelő ugyanazokat az átmeneti valószínűségeket észleli.”



Koordináták egy elmélet alapján: biztos a dőlés

(S. Weinberg) „Egy szimmetria-transzformáció a nézőpontunk olyan megváltoztatását jelenti, amely nem változtatja meg a lehetséges kísérletek eredményét. Ha egy megfigyelő egy rendszert valamely ..... állapotban látja, akkor egy vele ekvivalens másik megfigyelő ugyanezt a rendszert .... állapotban látja, de a két megfigyelő ugyanazokat az átmeneti valószínűségeket észleli.”

„Az inerciarendszerek ekvivalensek”, „koordinátarendszerek”, „koordinátatranszformációk”

Koordináták egy elmélet alapján: biztos a dőlés

(S. Weinberg) „Egy szimmetria-transzformáció a nézőpontunk olyan megváltoztatását jelenti, amely nem változtatja meg a lehetséges kísérletek eredményét. Ha egy megfigyelő egy rendszert valamely ..... állapotban látja, akkor egy vele ekvivalens másik megfigyelő ugyanezt a rendszert .... állapotban látja, de a két megfigyelő ugyanazokat az átmeneti valószínűségeket észleli.”

„Az inerciarendszerek ekvivalensek”, „koordinátarendszerek”, „koordinátatranszformációk”

Ez már nem is dőlés, hanem elhasalás

Koordináták egy elmélet alapján: biztos a dőlés

(S. Weinberg) „Egy szimmetria-transzformáció a nézőpontunk olyan megváltoztatását jelenti, amely nem változtatja meg a lehetséges kísérletek eredményét. Ha egy megfigyelő egy rendszert valamely ..... állapotban látja, akkor egy vele ekvivalens másik megfigyelő ugyanezt a rendszert .... állapotban látja, de a két megfigyelő ugyanazokat az átmeneti valószínűségeket észleli.”

„Az inerciarendszerek ekvivalensek”, „koordinátarendszerek”, „koordinátatranszformációk”

„Koordinátatranszformáció  $\rightarrow$  unitér operátor az állapottéren”

Koordináták egy elmélet alapján: biztos a dőlés

(S. Weinberg) „Egy szimmetria-transzformáció a nézőpontunk olyan megváltoztatását jelenti, amely nem változtatja meg a lehetséges kísérletek eredményét. Ha egy megfigyelő egy rendszert valamely ..... állapotban látja, akkor egy vele ekvivalens másik megfigyelő ugyanezt a rendszert .... állapotban látja, de a két megfigyelő ugyanazokat az átmeneti valószínűségeket észleli.”

„Az inerciarendszerek ekvivalensek”, „koordinátarendszerek”, „koordinátatranszformációk”

„Koordinátatranszformáció  $\rightarrow$  unitér operátor az állapottéren”

„Időbeli fejlődés: az időeltolások egyparaméteres csoportjának unitér ábrázolása”

Téridő

## Téridő

Önmagában semmi sem mozog vagy áll, hanem létezik

Egy tömegpont létezése: folyamat a téridőben  
Létezésének mikéntje, folyamatai attól függnek, mekkora a tömege  
( $m$ ) és milyen hatás ( $\mathbf{K}$ ) éri

Folyamatok: tömeg ( $m$ ), hatás ( $\mathbf{K}$ )

Ugyanaz a tömegpont ( $m$ ), más hatás ( $\mathbf{K}'$ ): más folyamatok

Más tömegpont ( $m'$ ), ugyanaz a hatás ( $\mathbf{K}$ ): más folyamatok



Rendszer: tömegpont + az őt érő hatás

Bármely hatás alatt bármely tömegpontnak ugyanaz a vektortér a „fázistére”

A fázistér elmismásolja a rendszert

A fázistér elmismásolja a rendszert

Fázistérre alapozás: biztos a dőlés

## Kvantummechanika

Jól bedöngölve az alapokba:

Az állapot intuitív fogalma

## Kvantummechanika

Jól bedöngölve az alapokba:

Az állapot intuitív fogalma

A Heisenberg-féle felcserélés

Heisenberg-féle felcserélés a fázistérre alapozva: biztos a dőlés

Heisenberg-féle felcserélés nincs relativisztikusan (Dirac-egyenlet):  
„a helyzet” nem létezik

Heisenberg-féle határozatlansági reláció:

$$[A, B] = C \Rightarrow \Delta A \Delta B \geq \frac{1}{2}\eta(C)$$



Heisenberg-féle határozatlansági reláció:

$$[A, B] = C \Rightarrow \Delta A \Delta B \geq \frac{1}{2}\eta(C)$$

Félreértelmezése: „mérési hiba”,

„egyszerre nem mérhetők tetszőleges pontossággal”,

„egyszerre nem mérhetők”

## Mérés intuitív fogalma

Mérés intuitív fogalma

Mérés – állapotbeugrás

Mérés intuitív fogalma

Mérés – állapotbeugrás

Egyszerre nem mérhetőség

## EPR-paradoxon

„Ha egy fizikai mennyiség értékét teljes biztonsággal (1 valószínűséggel) meg tudjuk jósolni anélkül, hogy a rendszert bármilyen módon megzavarnánk, akkor létezik a valóságnak egy eleme, amely e fizikai mennyiségnek felel meg.”

## EPR-pradoxon

„Ha egy fizikai mennyiség értékét teljes biztonsággal (1 valószínűséggel) meg tudjuk jósolni anélkül, hogy a rendszert bármilyen módon megzavarnánk, akkor létezik a valóságnak egy eleme, amely e fizikai mennyiségnek felel meg.”

Szó, szó, szó.

De mi veleje?

Kétféle időbeli fejlődés (Penrose)

(U) Folytonos unitér a Schrödinger-egyenlet szerint

(R) Ugrásszerű redukció a méréskor

Kétféle időbeli fejlődés (Penrose)

(U) Folytonos unitér a Schrödinger-egyenlet szerint

(R) Ugrásszerű redukció a méréskor

Mindez már nem is dőlés, hanem dülöngélés



Nem egy tömegpont impulzusát, energiáját stb. mérjük

hanem

egy *rendszerbeli* tömegpont impulzusát, energiáját stb. egy *folyamatban*

A mérés: kapcsolat a mérőeszköz és a rendszer között

A mérés: kapcsolat a mérőeszköz és a rendszer között

A mérés: rendszerváltás!

# Kvantum-térelmélet

## Kvantum-térelmélet

Kvantummechanika: fizikai mennyiségek önadjungált operátorok Hilbert-téren

Térelmélet: fizikai mennyiségek lokális  $C^*$ -algebrái

Fizikai mennyiségek lokális  $C^*$ -algebrái

Meg nem gondolt gondolat

Fizikai mennyiségek lokális  $C^*$ -algebrái

Meg nem gondolt gondolat

Egy szög hiánya miatt a patkó elveszett,  
egy patkó hiánya miatt a ló elveszett,  
egy ló hiánya miatt a harcos elveszett,  
egy harcos hiánya miatt a csata elveszett.



(József Attila) Az ember végül [...] merengve szétnéz, okos fejével biccent, nem remél.

(Radnóti Miklós) Lehet[...] talán még [...] méltó értelem,  
Mondjátok hát, hogy nem reménytelen.

