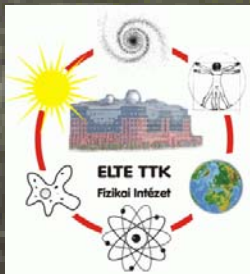
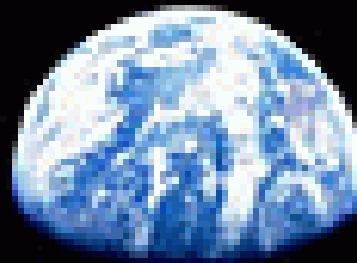


# Relativisztikus paradoxonok



Az atomoktól a csillagokig

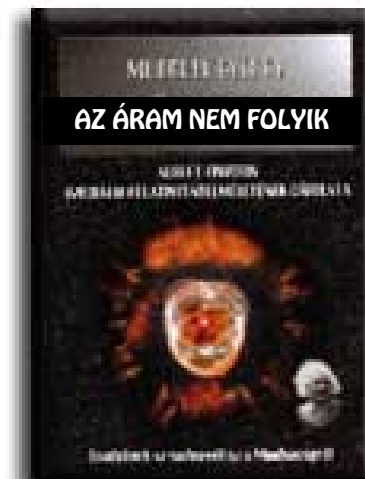
Dávid Gyula  
2009. 01. 15.

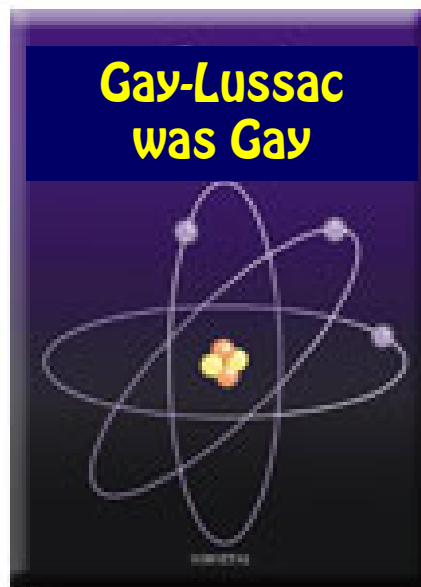
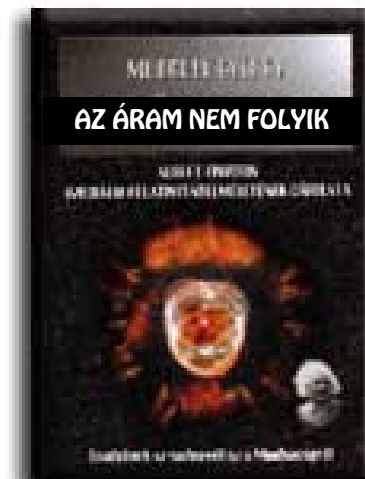


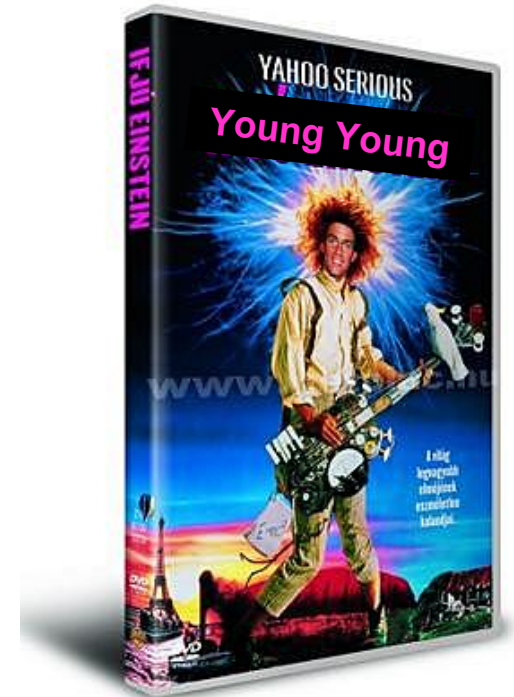
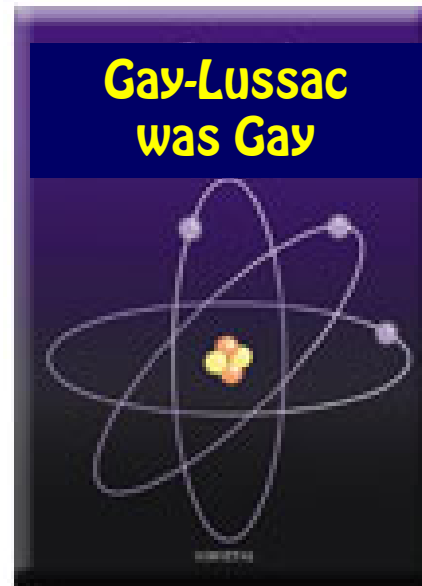
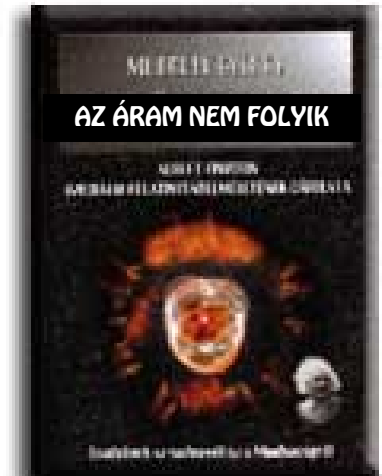




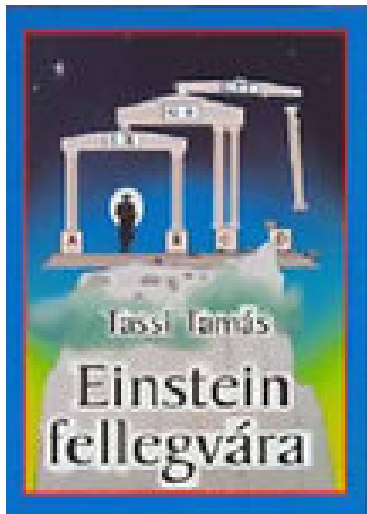


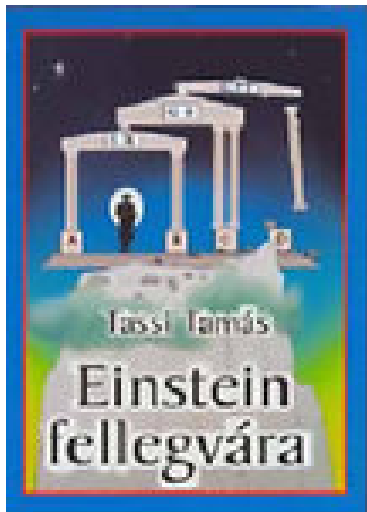


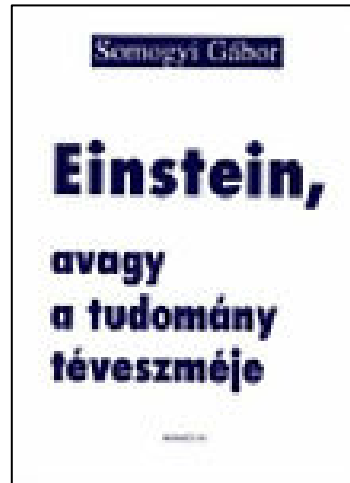
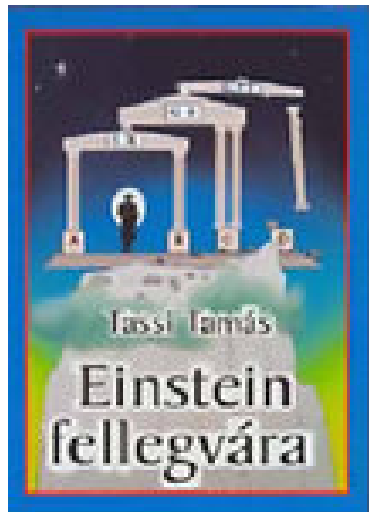


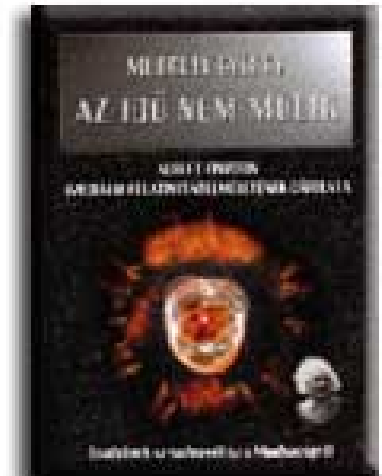
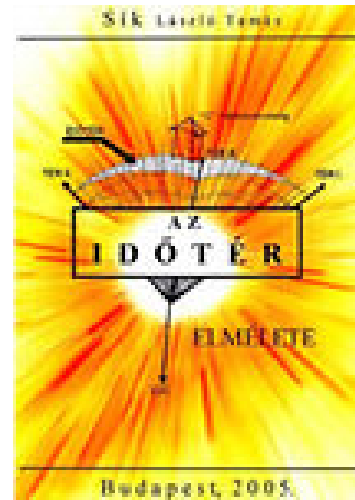
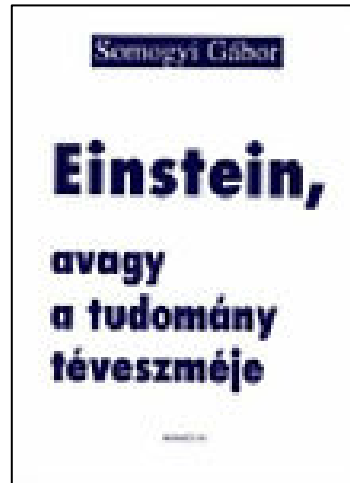
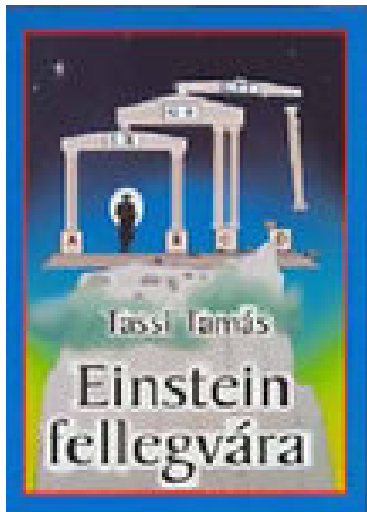


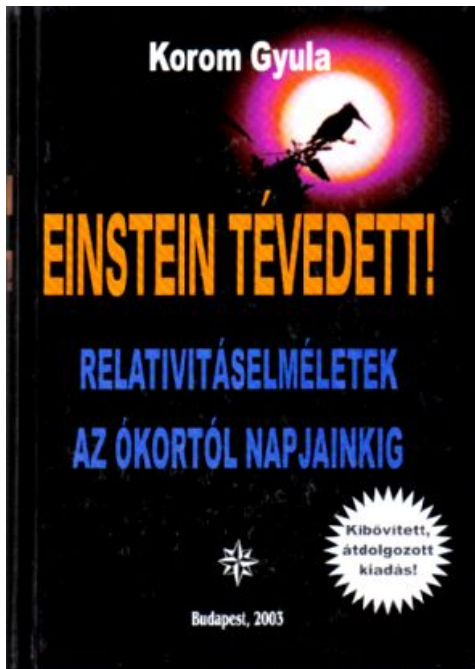
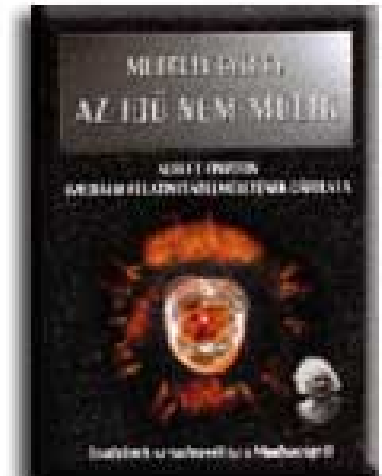
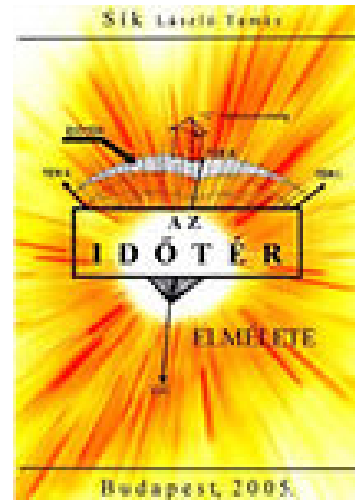
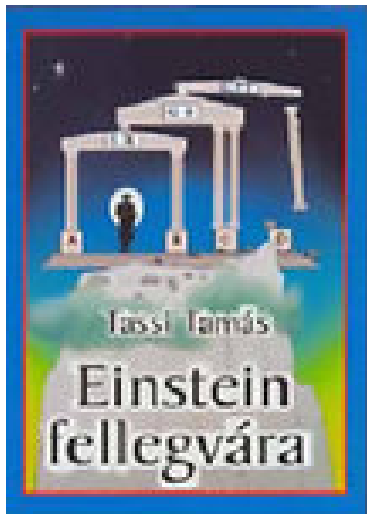


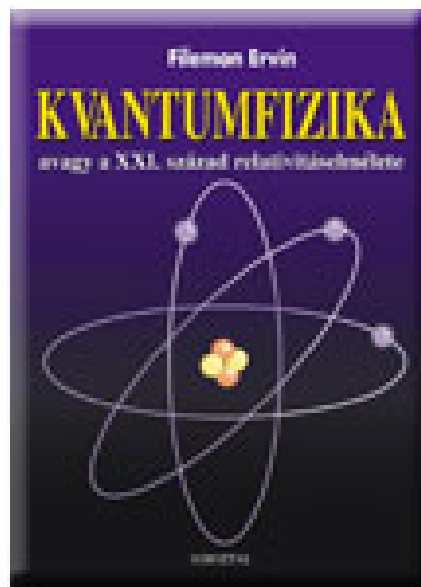
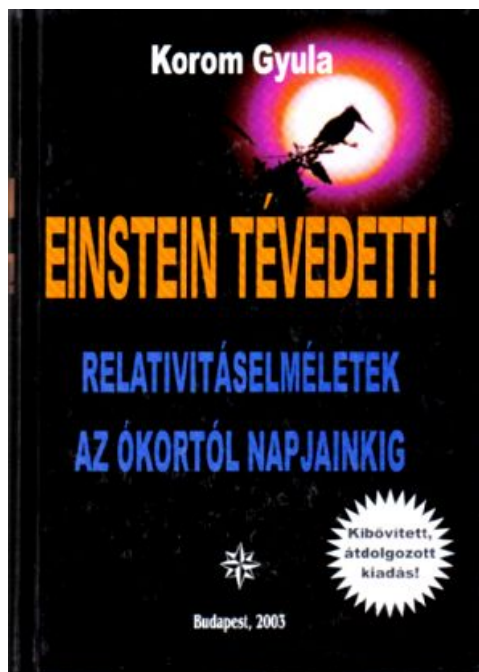
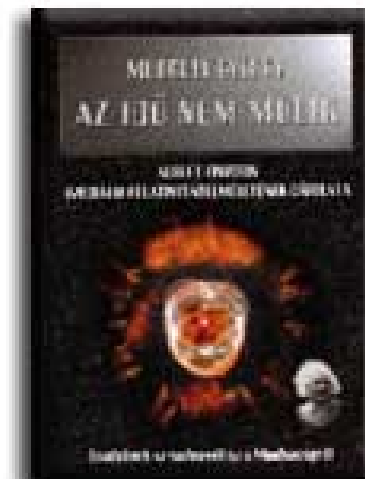
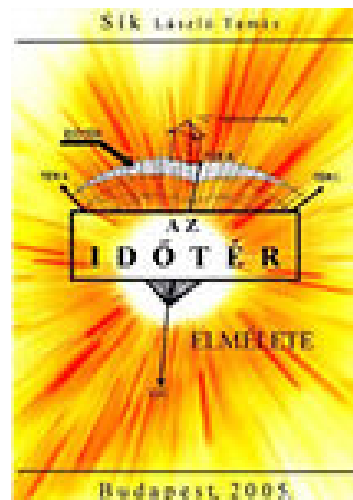
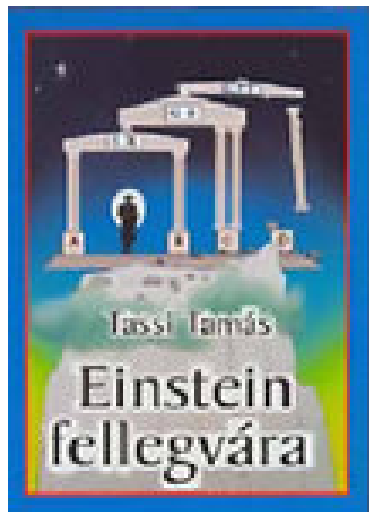


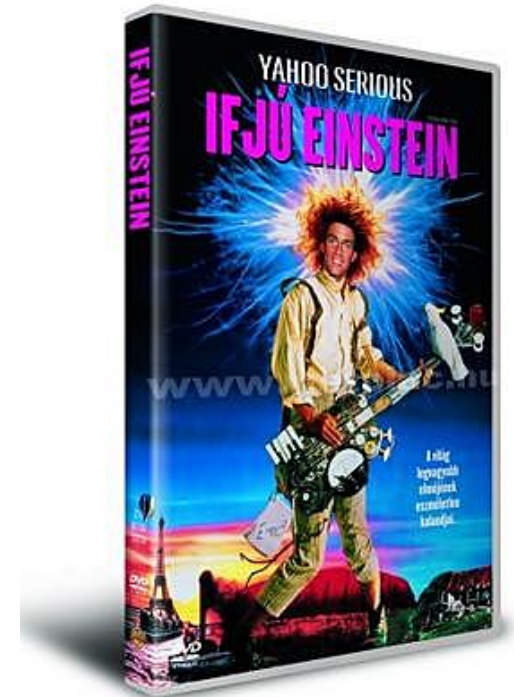
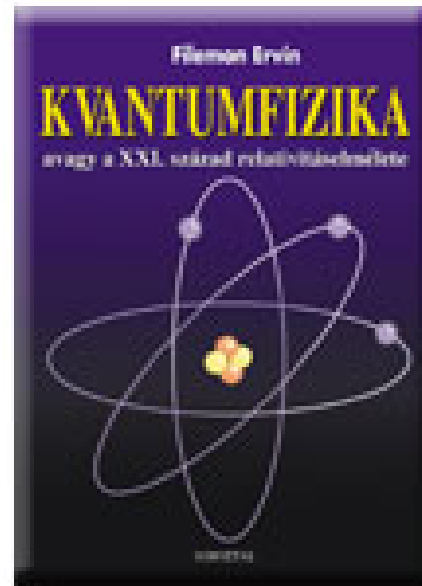
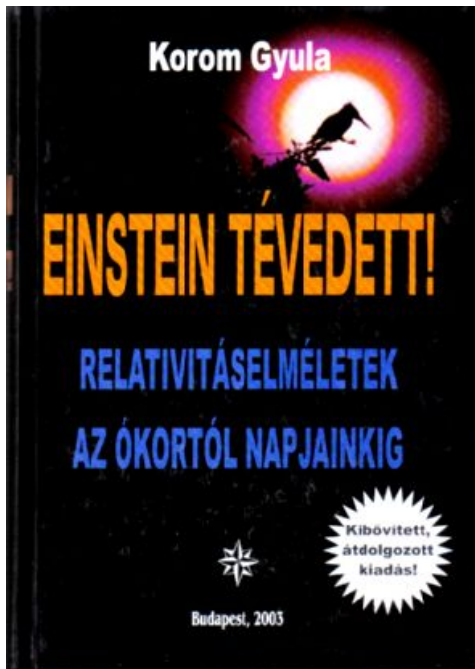
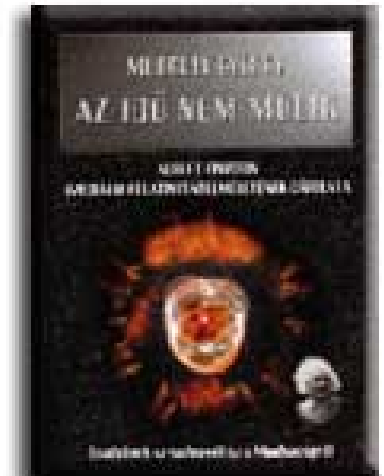
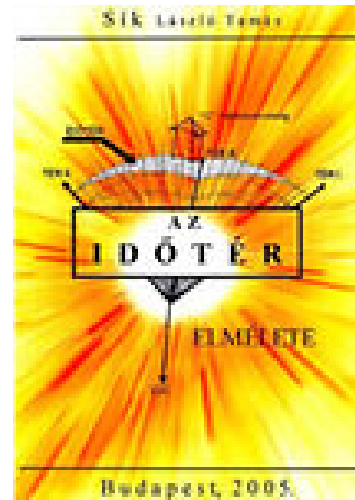
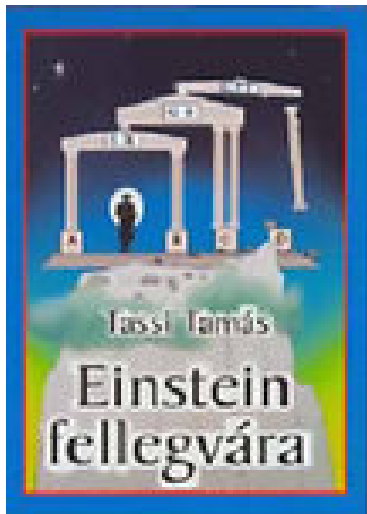












Miért pont a relativitáselmélet vált ki száz éve nem szűnő tiltakozást, ellenvéleményeket, ostoba támadásokat?





Miért pont a relativitáselmélet vált ki száz éve nem szűnő tiltakozást, ellenvéleményeket, ostoba támadásokat?

Miért nem fogadják el úgy, mint a többi fizikai elméletet?



Miért pont a relativitáselmélet vált ki száz éve nem szűnő tiltakozást, ellenvéleményeket, ostoba támadásokat?

Miért nem fogadják el úgy, mint a többi fizikai elméletet?

**A speciális relativitáselmélet a legalaposabban igazolt fizikai elmélet!**

E pillanatban is másodpercenként több százmilliárd kísérlet igazolja, és száz éve nem találtak rá ellenpéldát!



Miért pont a relativitáselmélet vált ki száz éve nem szűnő tiltakozást, ellenvéleményeket, ostoba támadásokat?

Miért nem fogadják el úgy, mint a többi fizikai elméletet?

**A speciális relativitáselmélet a legalaposabban igazolt fizikai elmélet!**

E pillanatban is másodpercenként több százmilliárd kísérlet igazolja, és száz éve nem találtak rá ellenpéldát!

**Megváltoztatta a térről, időről, mozgásról kialakult, mélyen belénk gyökerezett fogalmakat**



Miért pont a relativitáselmélet vált ki száz éve nem szűnő tiltakozást, ellenvéleményeket, ostoba támadásokat?

Miért nem fogadják el úgy, mint a többi fizikai elméletet?

**A speciális relativitáselmélet a legalaposabban igazolt fizikai elmélet!**

E pillanatban is másodpercenként több százmilliárd kísérlet igazolja, és száz éve nem találtak rá ellenpéldát!

**Megváltoztatta a térről, időről, mozgásról kialakult, mélyen belénk gyökerezett fogalmakat**

Ellentmond a józan észnek...



Miért pont a relativitáselmélet vált ki száz éve nem szűnő tiltakozást, ellenvéleményeket, ostoba támadásokat?

Miért nem fogadják el úgy, mint a többi fizikai elméletet?

**A speciális relativitáselmélet a legalaposabban igazolt fizikai elmélet!**

E pillanatban is másodpercenként több százmilliárd kísérlet igazolja, és száz éve nem találtak rá ellenpéldát!

**Megváltoztatta a térről, időről, mozgásról kialakult, mélyen belénk gyökerezett fogalmakat**

Ellentmond a józan észnek...

**A Józan Ész**  
a hat éves korunk előtt felhalmozódott vagy belénk vert előítéletek halmaza



Miért pont a relativitáselmélet vált ki száz éve nem szűnő tiltakozást, ellenvéleményeket, ostoba támadásokat?

Miért nem fogadják el úgy, mint a többi fizikai elméletet?

**A speciális relativitáselmélet a legalaposabban igazolt fizikai elmélet!**

E pillanatban is másodpercenként több százmilliárd kísérlet igazolja, és száz éve nem találtak rá ellenpéldát!

**Megváltoztatta a térről, időről, mozgásról kialakult, mélyen belénk gyökerezett fogalmakat**

Ellentmond a józan észnek...

**A Józan Ész**  
a hat éves korunk előtt felhalmozódott vagy belénk vert előítéletek halmaza



A legjobb bevezető:  
**Taylor – Wheeler:**  
**Téridő-fizika**



# A relativitás elve



# A relativitás elve

Newton első törvénye:





# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye:



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER** (IR)



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER** (IR)  
pontosabban: inerciális VONATKOZTATÁSI RENDSZER



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER** (IR)

pontosabban: inerciális VONATKOZTATÁSI RENDSZER

(= koordinátatengelyek + időmérő eszközök)



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER (IR)**

pontosabban: inerciális VONATKOZTATÁSI RENDSZER

(= koordinátatengelyek + időmérő eszközök)

Nem egyetlen inerciarendszer létezik!





# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER** (IR)

pontosabban: inerciális VONATKOZTATÁSI RENDSZER

(= koordinátatengelyek + időmérő eszközök)

Nem egyetlen inerciarendszer létezik!

**Galilei-féle relativitási elv:** az inerciarendszerek egyenértékűek



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER** (IR)

pontosabban: inerciális VONATKOZTATÁSI RENDSZER

(= koordinátatengelyek + időmérő eszközök)

Nem egyetlen inerciarendszer létezik!

**Galilei-féle relativitási elv:** az inerciarendszerek egyenértékűek

minden IR-ben  
ugyanolyanok a fizikai törvények



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER** (IR)

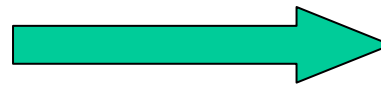
pontosabban: inerciális VONATKOZTATÁSI RENDSZER

(= koordinátatengelyek + időmérő eszközök)

Nem egyetlen inerciarendszer létezik!

**Galilei-féle relativitási elv:** az inerciarendszerek egyenértékűek

minden IR-ben  
ugyanolyanok a fizikai törvények



az IR-ek  
megkülönböztethetetlenek!



# A relativitás elve

Newton első törvénye:

A magukra hagyott testek egyenes vonalú, állandó sebességű mozgást végeznek.

ez is szemben áll a köznapi tapasztalattal!!!

Nem minden megfigyelő látja így:

gyorsuló buszról, körhintáról nézve más a tapasztalat

Ahol igaz Newton első törvénye: az az **INERCIARENDSZER** (IR)

pontosabban: inerciális VONATKOZTATÁSI RENDSZER

(= koordinátatengelyek + időmérő eszközök)

Nem egyetlen inerciarendszer létezik!

**Galilei-féle relativitási elv:** az inerciarendszerek egyenértékűek

minden IR-ben  
ugyanolyanok a fizikai törvények



az IR-ek  
megkülönböztethetetlenek!  
nincs kitüntetett, abszolút IR !



# Szimmetriák és transzformációk



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk  $K'$ -re:



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk  $K'$ -re:

transzformáció



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk  $K'$ -re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:





# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is  
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel

a KR kezdőpontjának eltolása



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is  
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel

a KR kezdőpontjának eltolása

a térnek nincs középpontja:  
a tér homogén



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is  
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel

a KR kezdőpontjának eltolása

a térnek nincs középpontja:  
a tér homogén

lendület





# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is  
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel

a KR kezdőpontjának eltolása

a térnek nincs középpontja:  
a tér homogén

lendület

a KR tengelyeinek elforgatása



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel

a KR kezdőpontjának eltolása

a térnek nincs középpontja:  
a tér homogén

lendület

a KR tengelyeinek elforgatása

a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció	szimmetriaelv	megmaradási tétel
a KR kezdőpontjának eltolása	a térnek nincs középpontja: a tér homogén	lendület
a KR tengelyeinek elforgatása	a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp	perdület



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció	szimmetriaelv	megmaradási tétel
a KR kezdőpontjának eltolása	a térnek nincs középpontja: a tér homogén	lendület
a KR tengelyeinek elforgatása	a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp	perdület
az időszámítás kezdőpontjának eltolása		



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció	szimmetriaelv	megmaradási tétel
a KR kezdőpontjának eltolása	a térnek nincs középpontja: a tér homogén	lendület
a KR tengelyeinek elforgatása	a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp	perdület
az időszámítás kezdőpontjának eltolása	az időnek nincs közepe: az idő homogén	



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is  
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció	szimmetriaelv	megmaradási tétel
a KR kezdőpontjának eltolása	a térnek nincs középpontja: a tér homogén	lendület
a KR tengelyeinek elforgatása	a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp	perdület
az időszámítás kezdőpontjának eltolása	az időnek nincs közepe: az idő homogén	energia



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is  
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció	szimmetriaelv	megmaradási tétel
a KR kezdőpontjának eltolása	a térnek nincs középpontja: a tér homogén	lendület
a KR tengelyeinek elforgatása	a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp	perdület
az időszámítás kezdőpontjának eltolása	az időnek nincs közepe: az idő homogén	energia

üljünk át egy állandó sebességgel mozgó vonatra (Galilei-transzformáció)



# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is (csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel

a KR kezdőpontjának eltolása

a térnek nincs középpontja:  
a tér homogén

lendület

a KR tengelyeinek elforgatása

a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp

perdület

az időszámítás kezdőpontjának eltolása

az időnek nincs közepe:  
az idő homogén

energia

üljünk át egy állandó sebességgel mozgó vonatra (Galilei-transzformáció)

Galilei-féle relativitási elv





# Szimmetriák és transzformációk

K rendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben egyenletes mozgást végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is  
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

**szimmetria**

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció

szimmetriaelv

megmaradási tétel

a KR kezdőpontjának eltolása

a térnek nincs középpontja:  
a tér homogén

lendület

a KR tengelyeinek elforgatása

a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp

perdület

az időszámítás kezdőpontjának eltolása

az időnek nincs közepe:  
az idő homogén

energia

üljünk át egy állandó sebességgel mozgó vonatra (Galilei-transzformáció)

Galilei-féle relativitási elv

(tömegközéppont)



Csak a mechanikában érvényesek  
a szimmetriaelvek?



Csak a mechanikában érvényesek  
a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*



Csak a mechanikában érvényesek  
a szimmetriaelvek?

Új fizika a 19. század végén:  
**elektrodinamika**

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*



Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

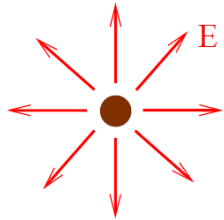


Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



álló ponttöltés

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*



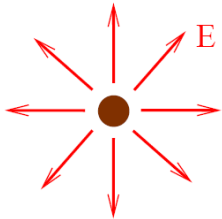
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



álló ponttöltés

csak elektromos mező

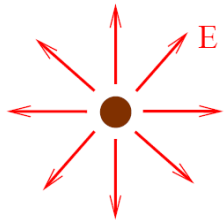


Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:  
**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



Galilei-transzformáció  
álló ponttöltés

A large green arrow pointing to the right, representing the Galilei transformation.

csak elektromos mező



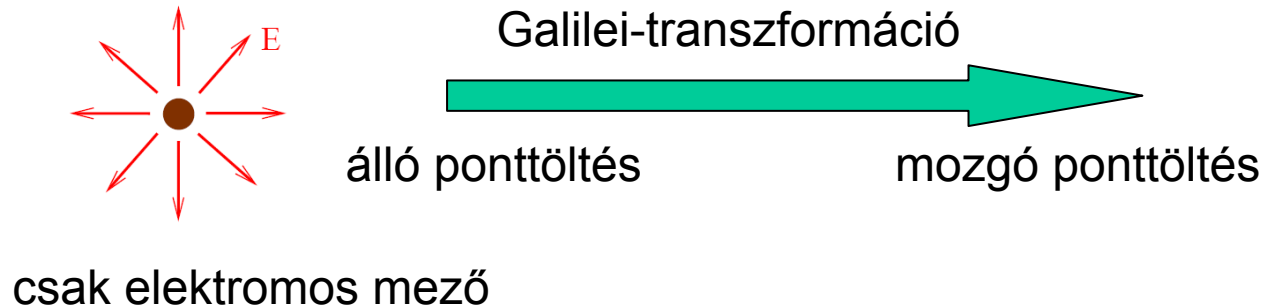


Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:  
**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



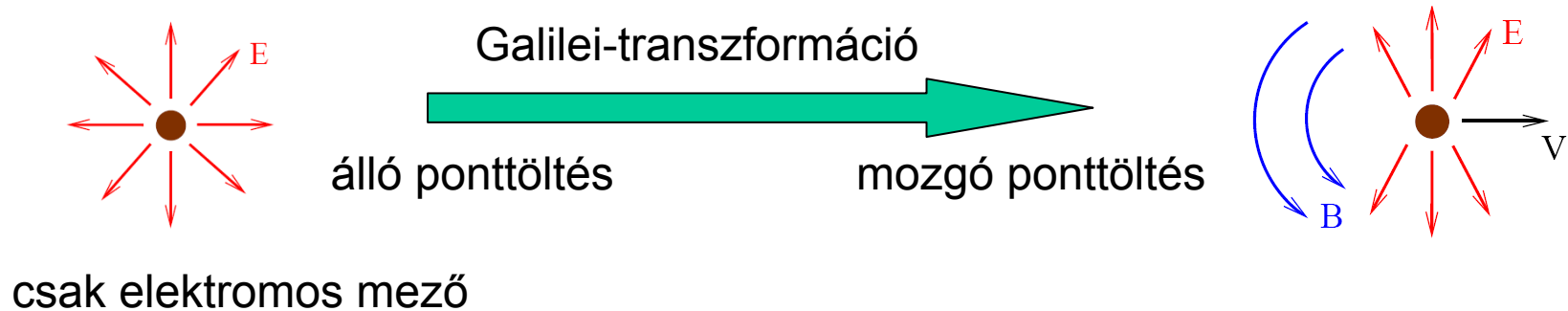
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



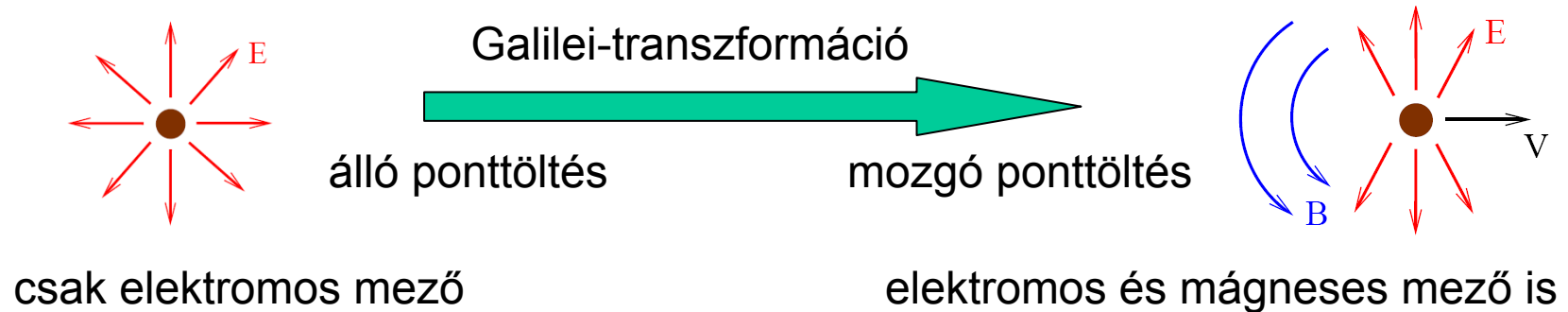
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



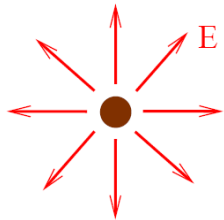
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

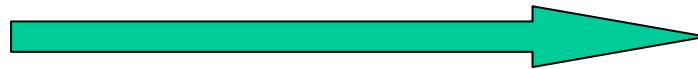
a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



álló ponttöltés

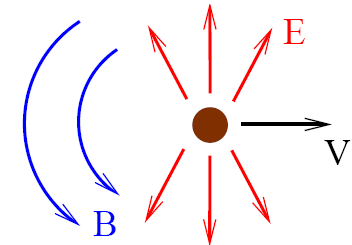
csak elektromos mező

Galilei-transzformáció



mozgó ponttöltés

elektromos és mágneses mező is



Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek...



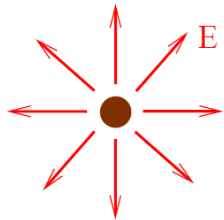
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

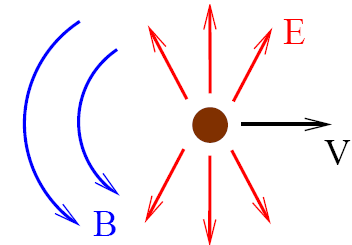
Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



Galilei-transzformáció  
álló ponttöltés → mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**



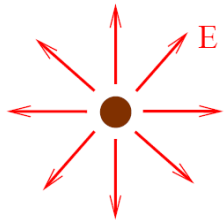
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

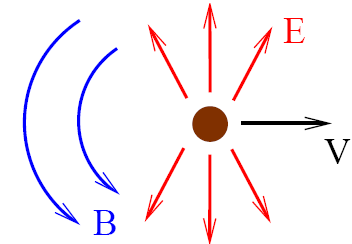
Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



Galilei-transzformáció  
álló ponttöltés → mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**  
ebben az IR-ben **érvényesek** az elektrodinamika törvényei, a Maxwell-egyenletek



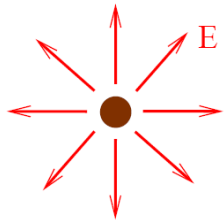
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

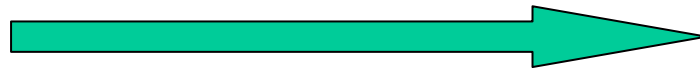
**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:

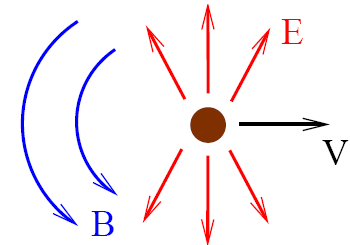


Galilei-transzformáció

álló ponttöltés



mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**

ebben az IR-ben **érvényesek** az elektrodinamika törvényei, a Maxwell-egyenletek

a **többi IR-ben nem**: az IR-ek elektrodinamikai vagy optikai mérésekkel megkülönböztethetők!



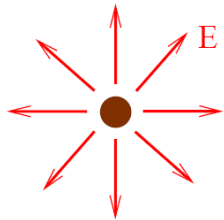
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

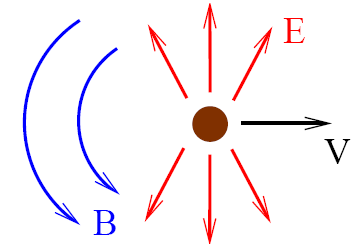
Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



Galilei-transzformáció  
álló ponttöltés → mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**

ebben az IR-ben **érvényesek** az elektrodinamika törvényei, a Maxwell-egyenletek  
**a többi IR-ben nem**: az IR-ek elektrodinamikai vagy optikai mérésekkel megkülönböztethetők!

Keressük meg az étert:





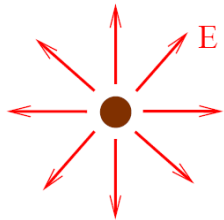
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

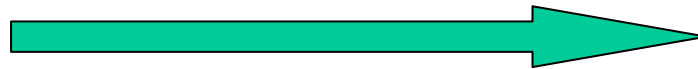
**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:

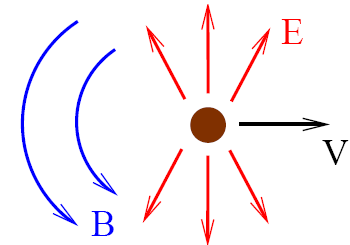


Galilei-transzformáció

álló ponttöltés



mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**

ebben az IR-ben **érvényesek** az elektrodinamika törvényei, a Maxwell-egyenletek  
**a többi IR-ben nem**: az IR-ek elektrodinamikai vagy optikai mérésekkel megkülönböztethetők!

Keressük meg az étert: mérjük meg a Föld éterhez képesti sebességét!



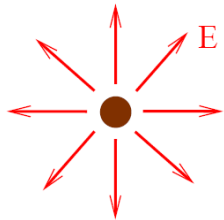
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

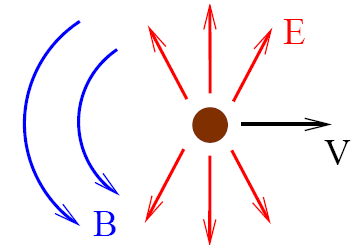
Új fizika a 19. század végén:

**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:



Galilei-transzformáció  
álló ponttöltés → mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**

ebben az IR-ben **érvényesek** az elektrodinamika törvényei, a Maxwell-egyenletek  
**a többi IR-ben nem**: az IR-ek elektrodinamikai vagy optikai mérésekkel megkülönböztethetők!

Keressük meg az étert: mérjük meg a Föld éterhez képesti sebességét!  
Michelson és Morley kísérlete 1883



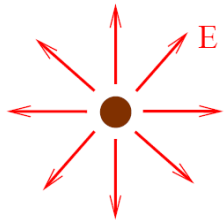
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

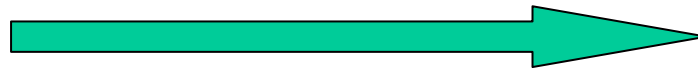
**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:

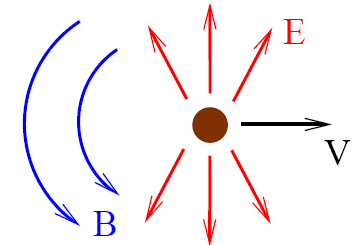


Galilei-transzformáció

álló ponttöltés



mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**

ebben az IR-ben **érvényesek** az elektrodinamika törvényei, a Maxwell-egyenletek

a **többi IR-ben nem**: az IR-ek elektrodinamikai vagy optikai mérésekkel megkülönböztethetők!

Keressük meg az étert: mérjük meg a Föld éterhez képesti sebességét!

Michelson és Morley kísérlete 1883: **nincs effektus, az étert nem találják....**



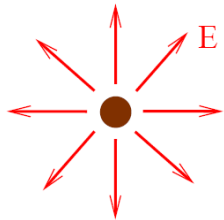
Csak a mechanikában érvényesek a szimmetriaelvek?

A XX. század fizikája a szimmetriák diadalútja  
Wigner Jenő (Nobel-díjas): *Szimmetriák és reflexiók*

Új fizika a 19. század végén:

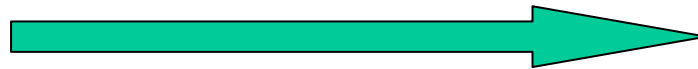
**elektrodinamika**

a Maxwell-egyenletek **NEM** Galilei-invariánsak:

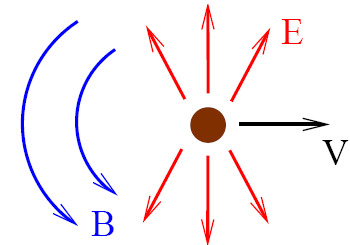


Galilei-transzformáció

álló ponttöltés



mozgó ponttöltés



csak elektromos mező

elektromos és mágneses mező is

Eszerint léteznie kell egy **ABSZOLÚT nyugvó IR**-nek... ez lenne az **ÉTER**

ebben az IR-ben **érvényesek** az elektrodinamika törvényei, a Maxwell-egyenletek  
**a többi IR-ben nem**: az IR-ek elektrodinamikai vagy optikai mérésekkel megkülönböztethetők!

Keressük meg az étert: mérjük meg a Föld éterhez képesti sebességét!

Michelson és Morley kísérlete 1883: **nincs effektus, az étert nem találják....**

Sőt: furcsa tapasztalat: a fény **minden IR-ben** ugyanakkora **c** sebességgel terjed!



# Ellentmondások és feloldásuk



# Ellentmondások és feloldásuk

Klasszikus  
mechanika



# Ellentmondások és feloldásuk

Klasszikus  
mechanika

Szimmetria-  
elvek



# Ellentmondások és feloldásuk

Klasszikus  
mechanika

Elektro-  
dinamika

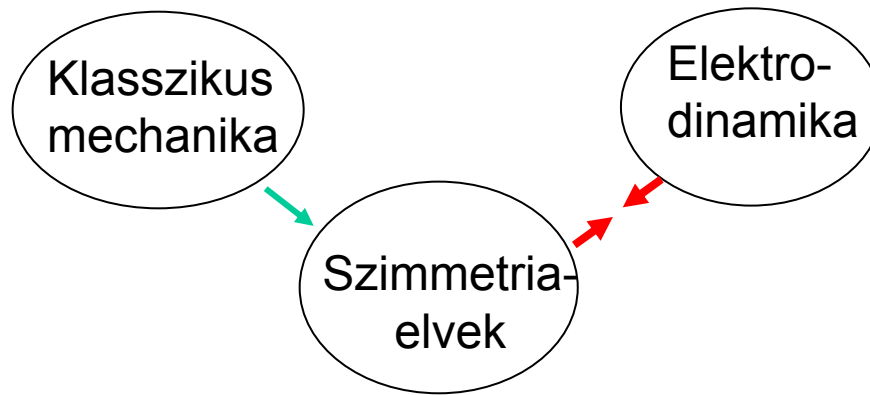
Szimmetria-  
elvek

```
graph TD; A(Klasszikus mechanika) --> B(Szimmetria-elvek); C(Elektrodinamika);
```

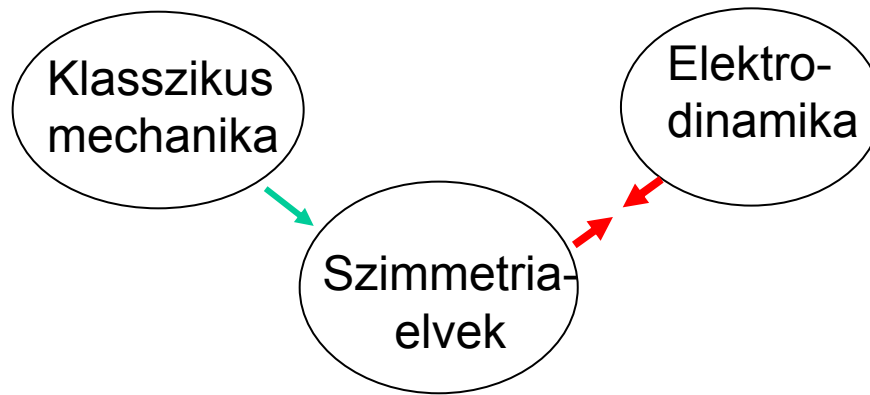




# Ellentmondások és feloldásuk

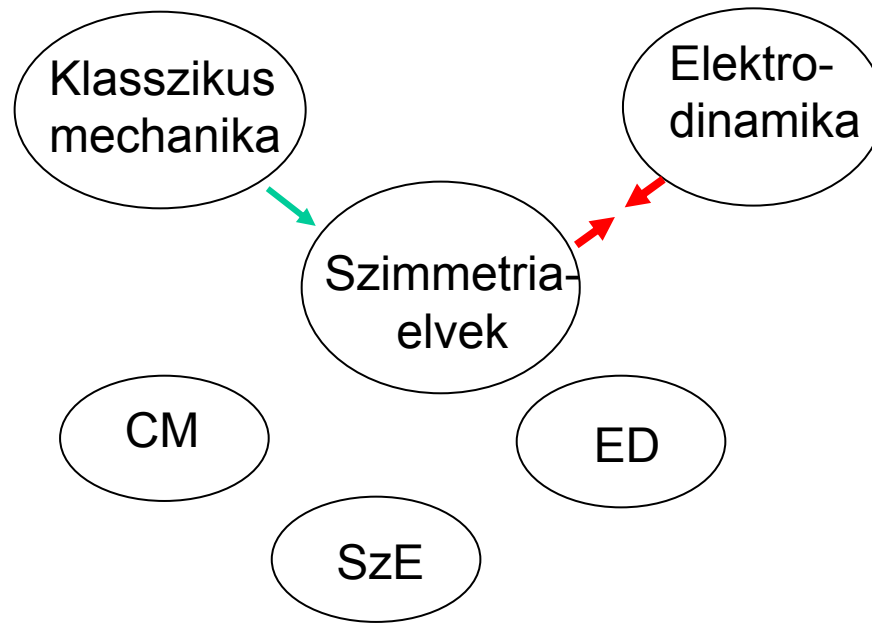


# Ellentmondások és feloldásuk



a) Triviális feloldás:

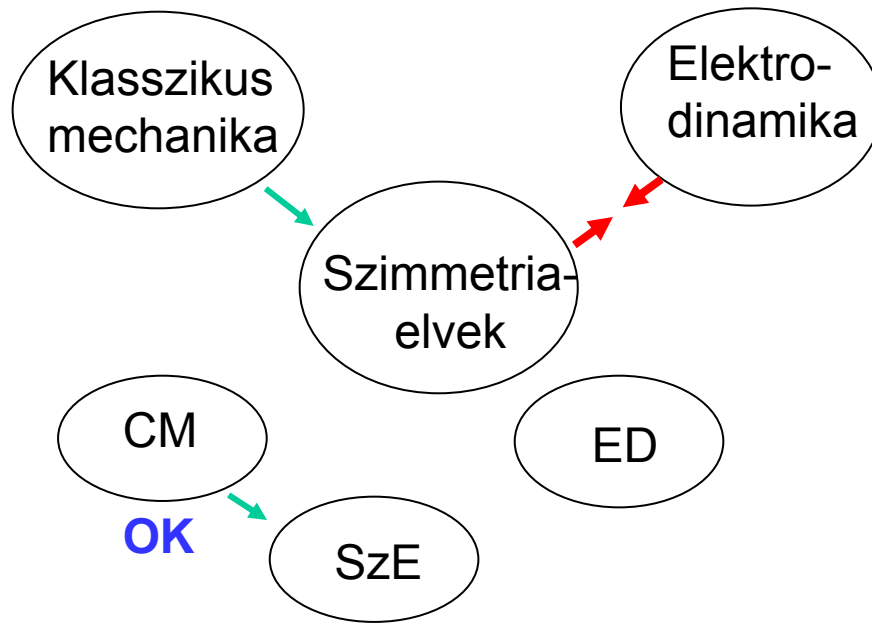
# Ellentmondások és feloldásuk



a) Triviális feloldás:



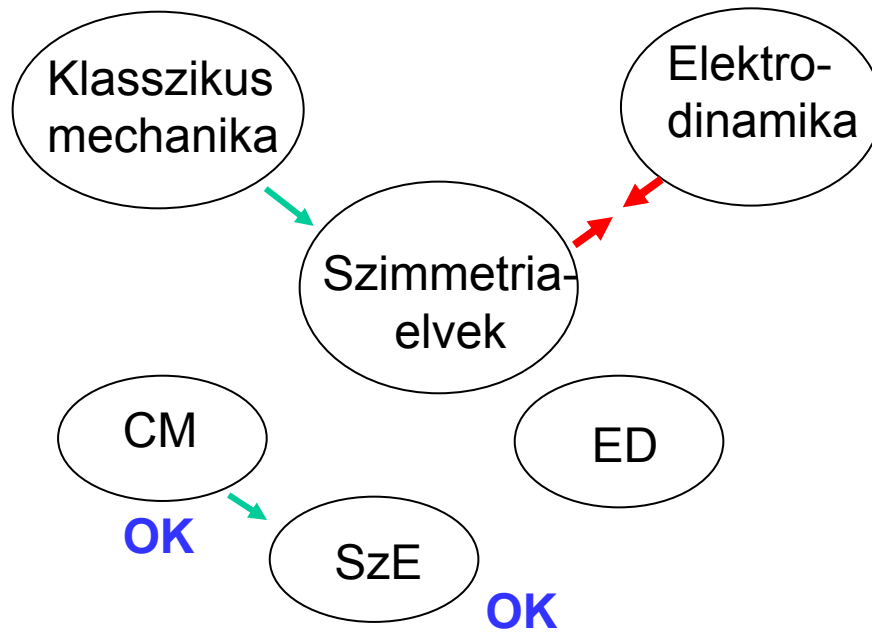
# Ellentmondások és feloldásuk



a) Triviális feloldás:



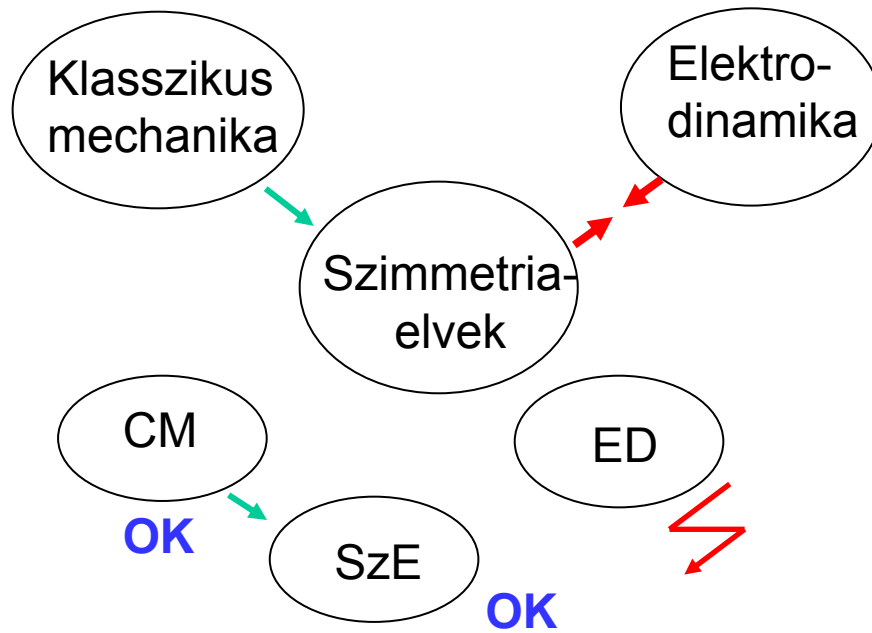
# Ellentmondások és feloldásuk



a) Triviális feloldás:



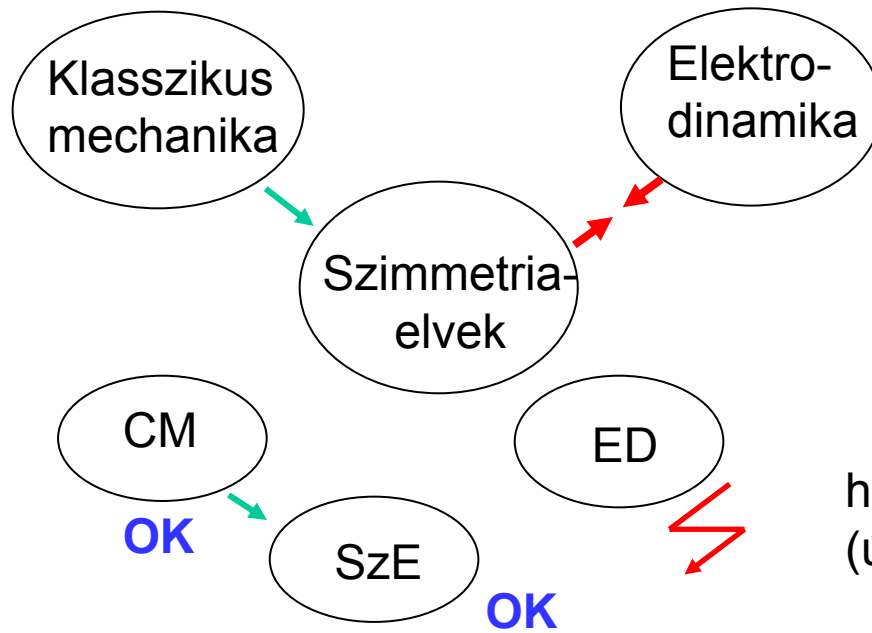
# Ellentmondások és feloldásuk



a) Triviális feloldás:



# Ellentmondások és feloldásuk

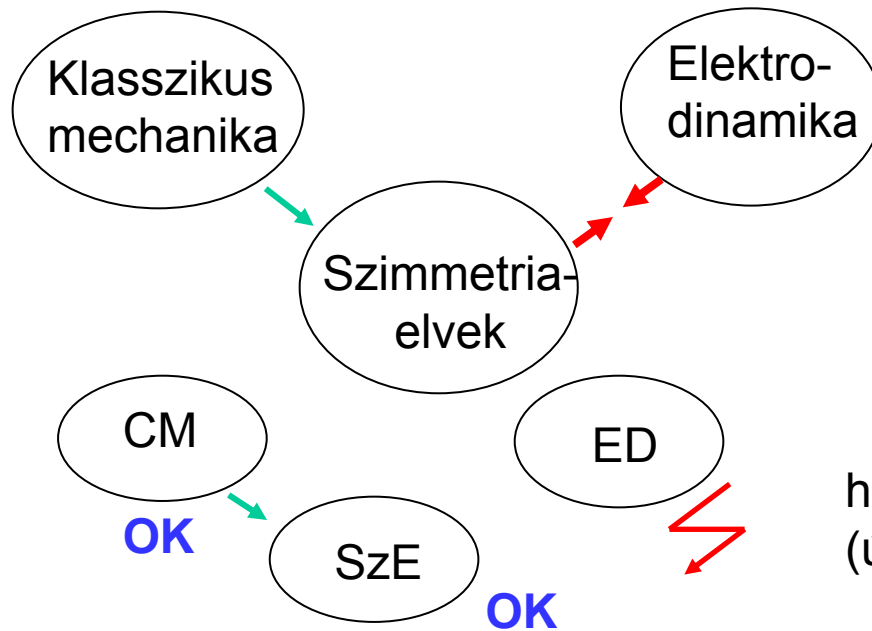


a) Triviális feloldás:

hibás  
(új kiforratlan elmélet)



# Ellentmondások és feloldásuk



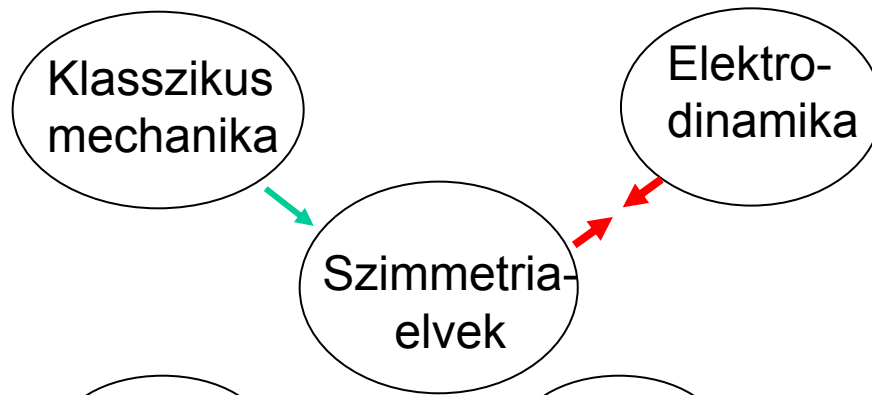
a) Triviális feloldás:

b) Szokásos megoldás:

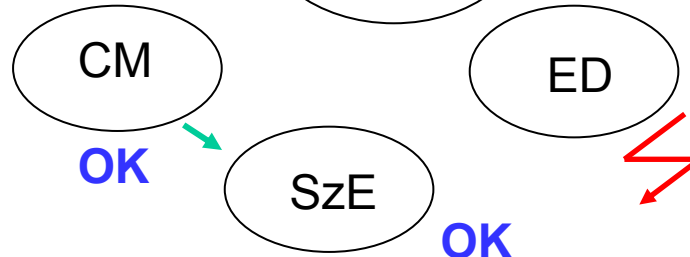




# Ellentmondások és feloldásuk

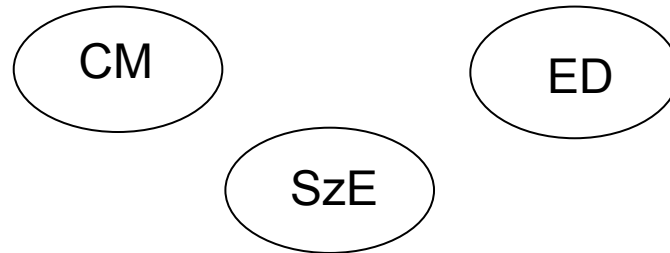


a) Triviális feloldás:

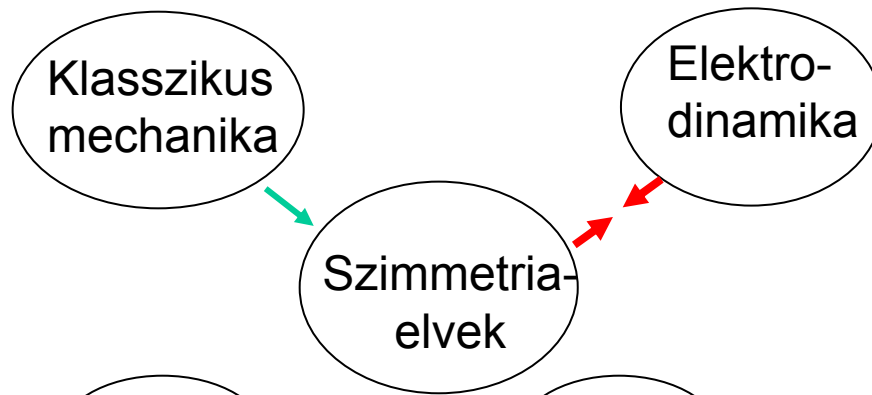


hibás  
(új kiforratlan elmélet)

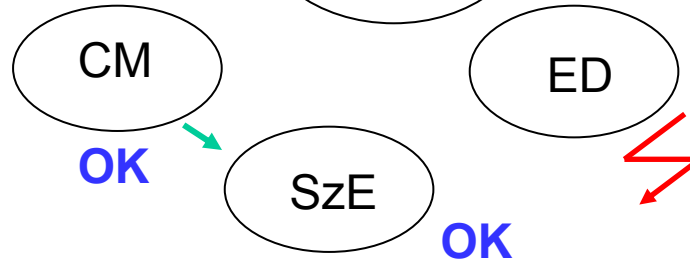
b) Szokásos megoldás:



# Ellentmondások és feloldásuk

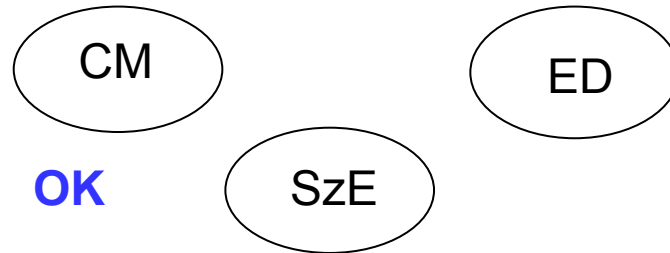


a) Triviális feloldás:

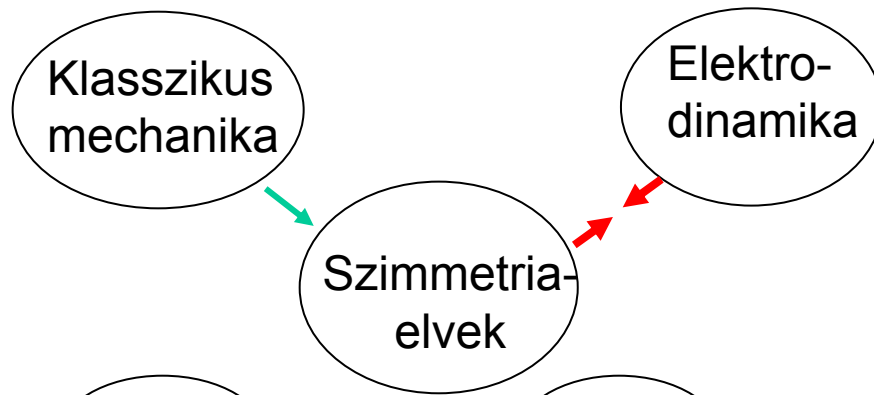


hibás  
(új kiforratlan elmélet)

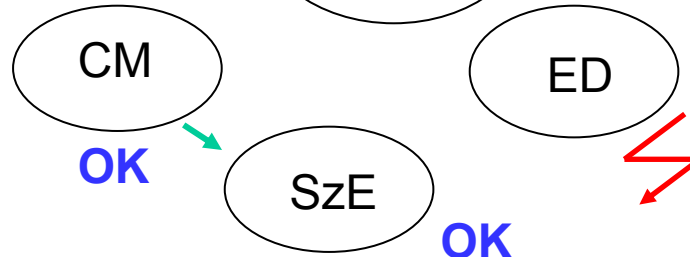
b) Szokásos megoldás:



# Ellentmondások és feloldásuk

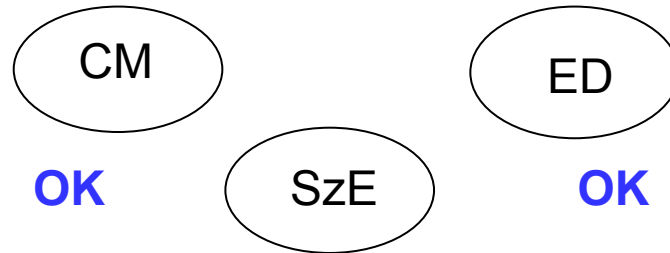


a) Triviális feloldás:

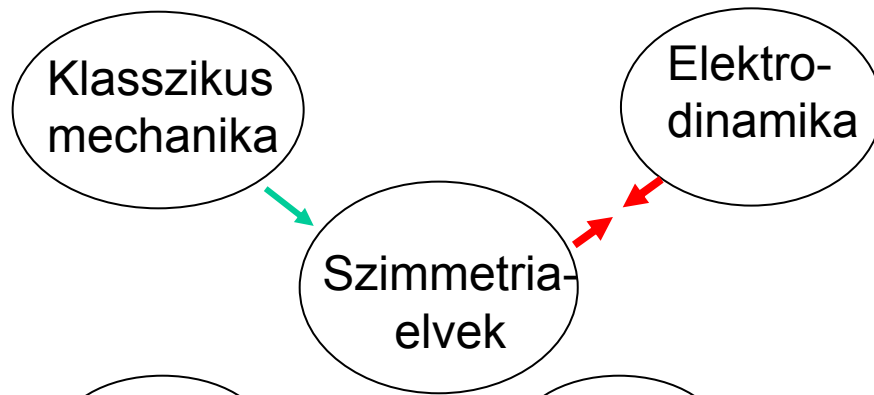


hibás  
(új kiforratlan elmélet)

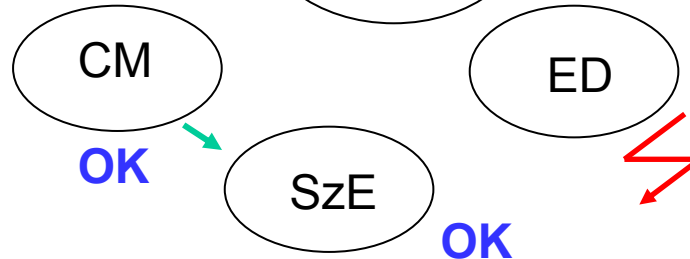
b) Szokásos megoldás:



# Ellentmondások és feloldásuk

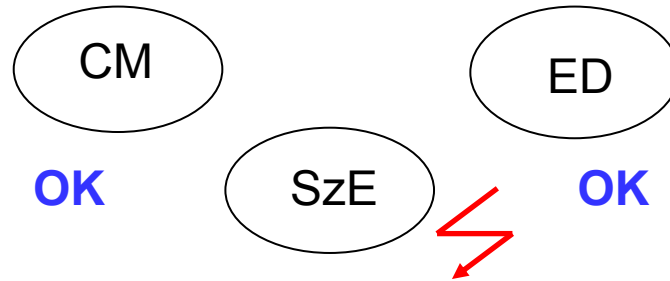


a) Triviális feloldás:

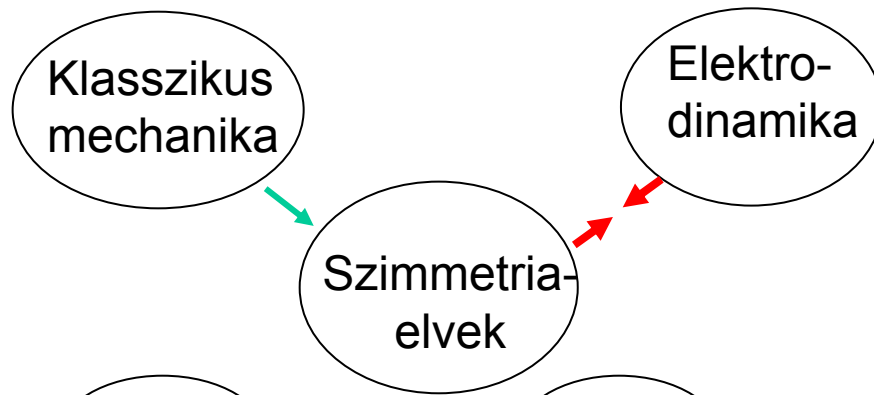


hibás  
(új kiforratlan elmélet)

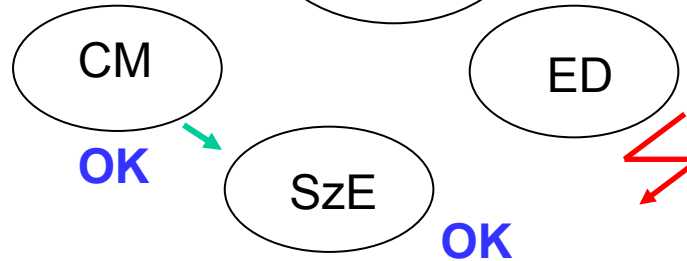
b) Szokásos megoldás:



# Ellentmondások és feloldásuk

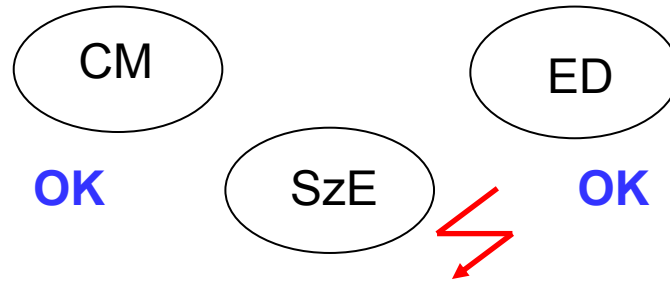


a) Triviális feloldás:



hibás  
(új kiforratlan elmélet)

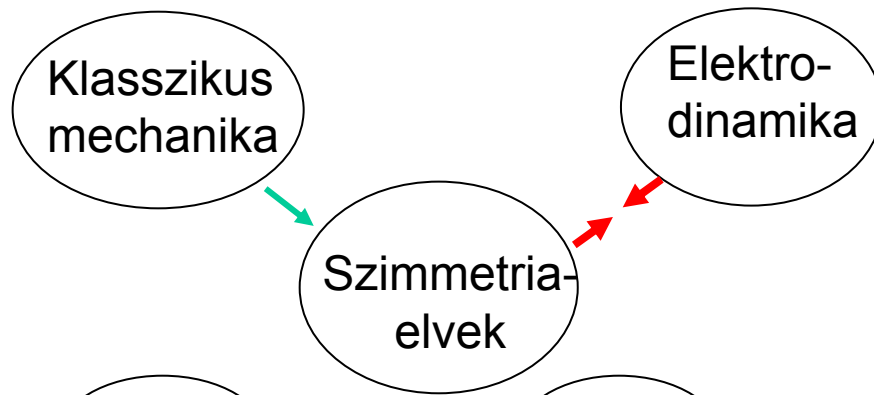
b) Szokásos megoldás:



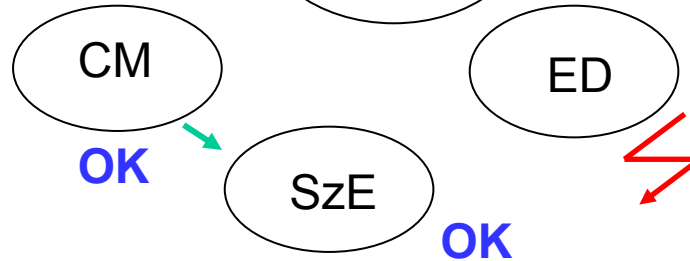
Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**



# Ellentmondások és feloldásuk

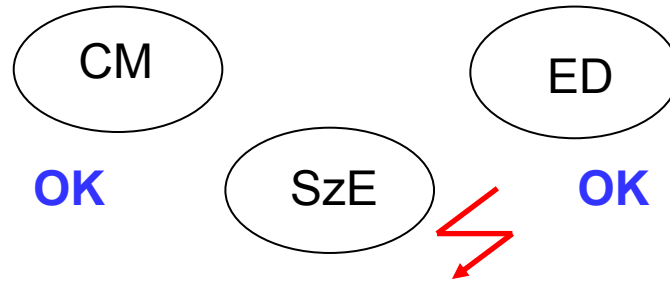


a) Triviális feloldás:



hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:

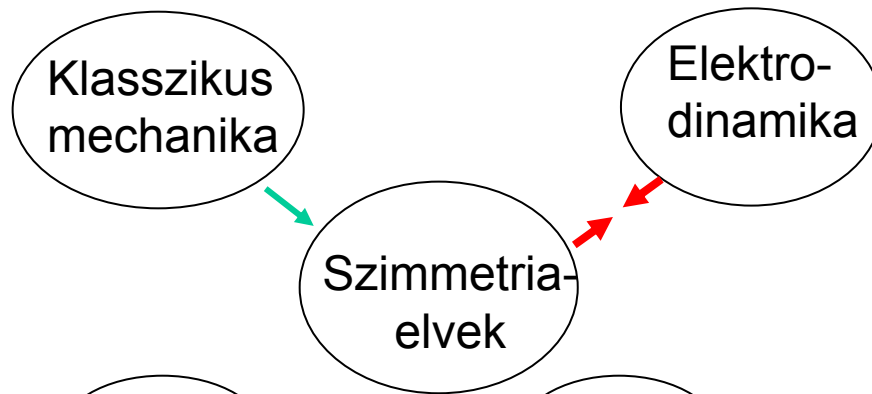


Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

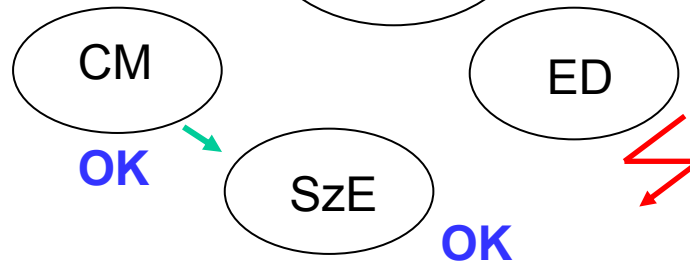
c) Meglepő,  
új megoldás:



# Ellentmondások és feloldásuk

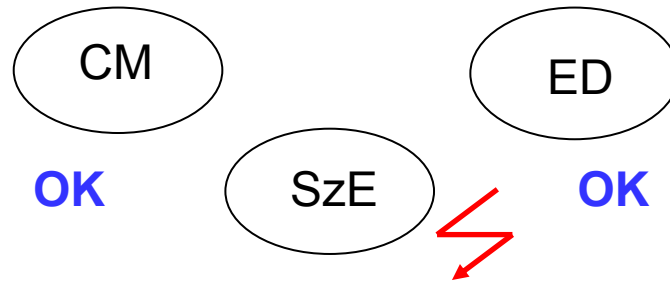


a) Triviális feloldás:



hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:

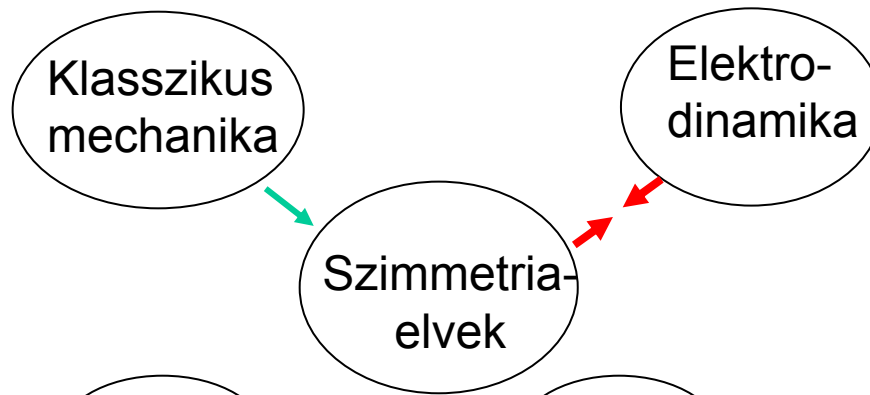


Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

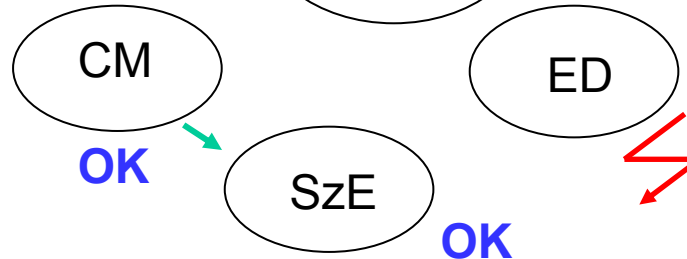
c) Meglepő,  
új megoldás:  
**speciális  
relativitáselmélet**



# Ellentmondások és feloldásuk

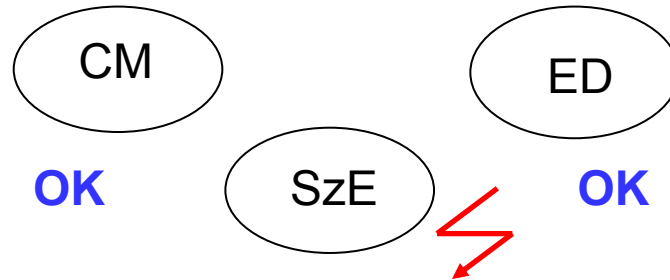


a) Triviális feloldás:



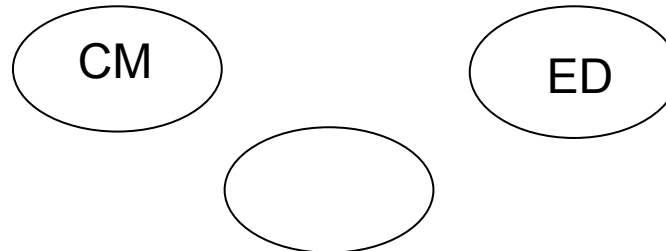
hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:



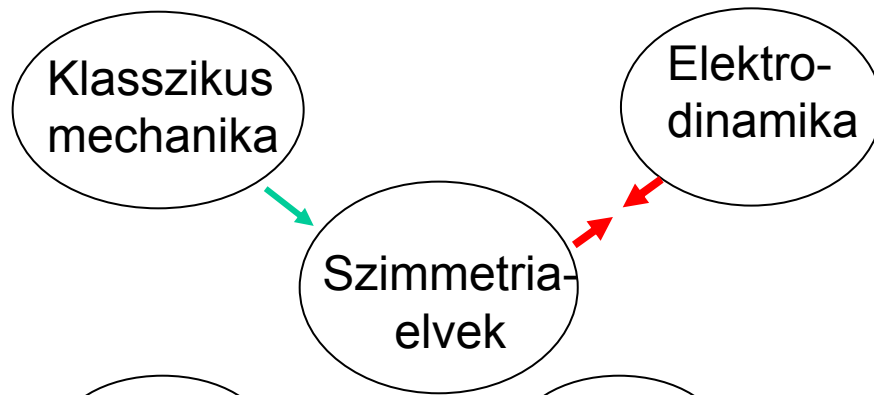
Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

c) Meglepő,  
új megoldás:  
**speciális  
relativitáselmélet**

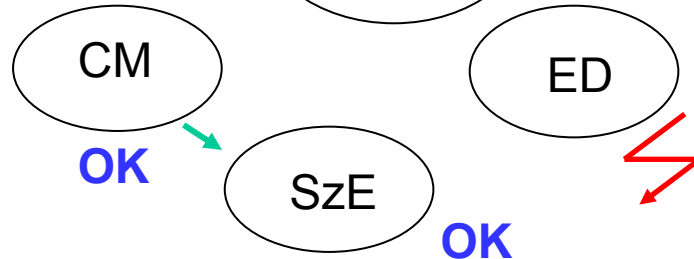




# Ellentmondások és feloldásuk

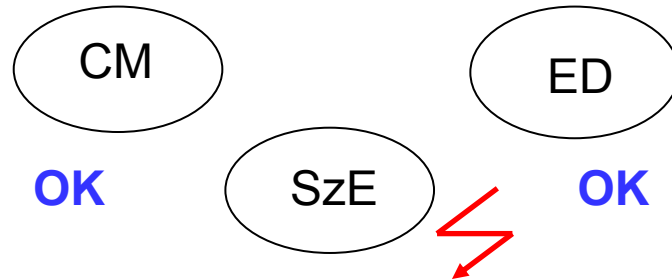


a) Triviális feloldás:



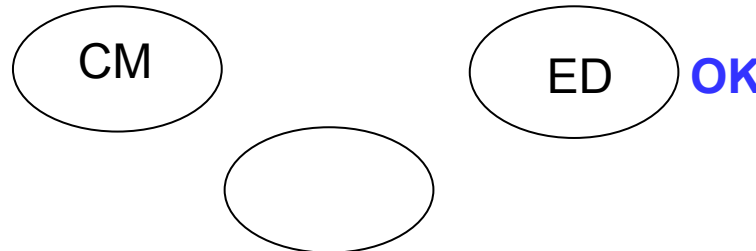
hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:

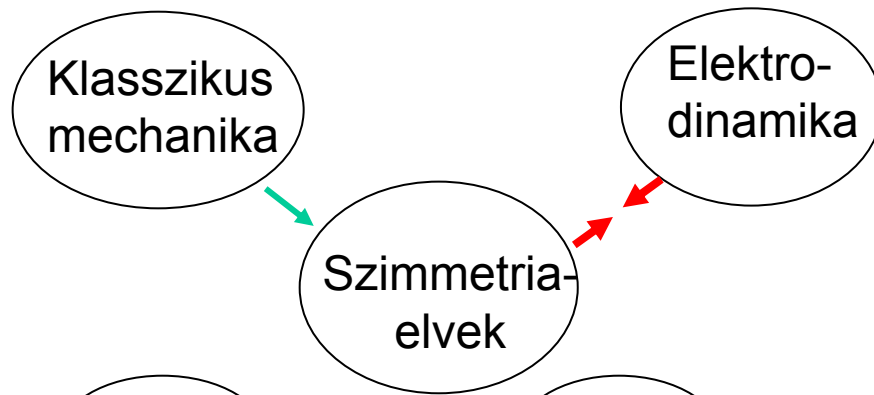


Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

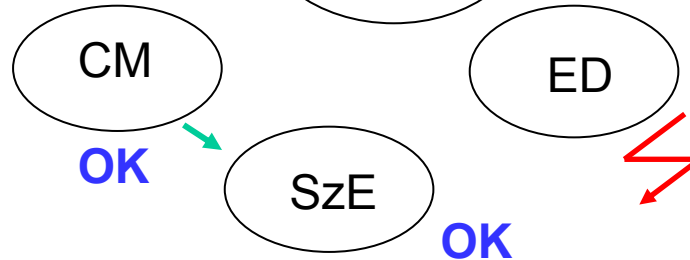
c) Meglepő,  
új megoldás:  
**speciális  
relativitáselmélet**



# Ellentmondások és feloldásuk

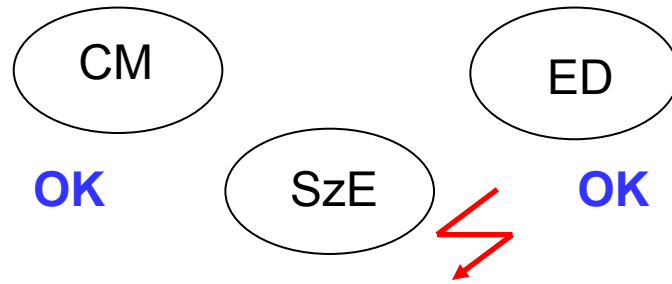


a) Triviális feloldás:



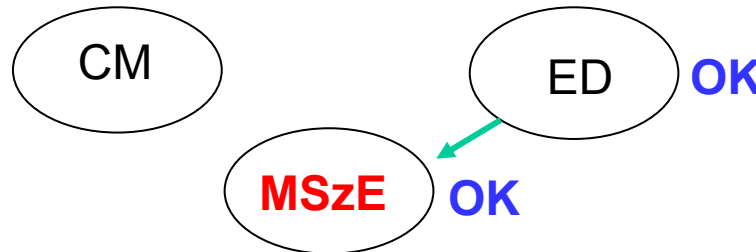
hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:

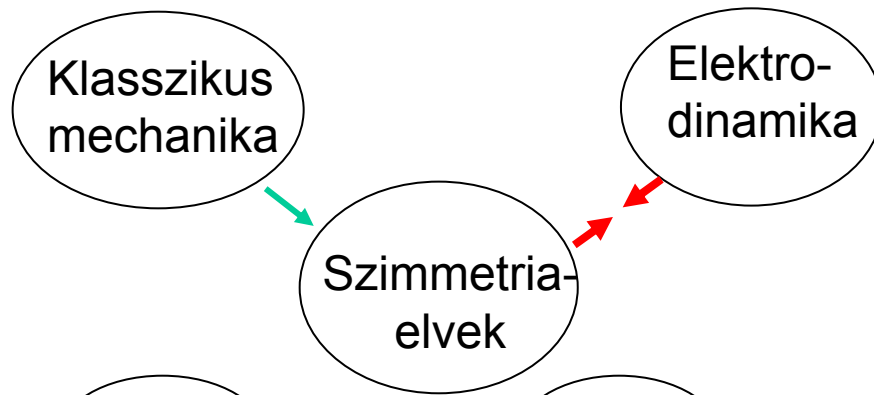


Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

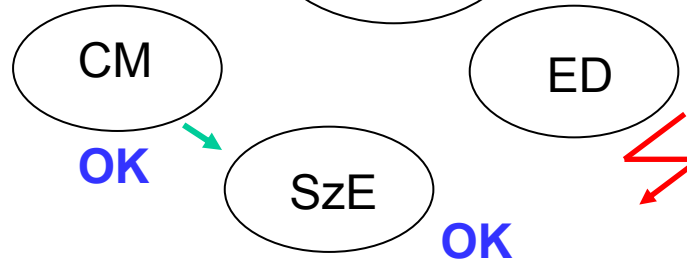
c) Meglepő, új megoldás:  
**speciális relativitáselmélet**



# Ellentmondások és feloldásuk

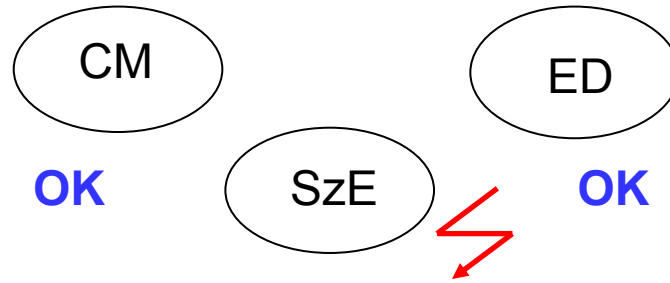


a) Triviális feloldás:



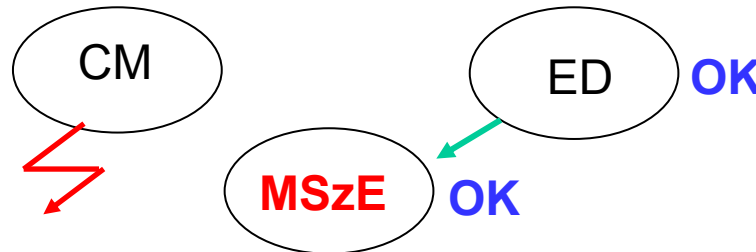
hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:

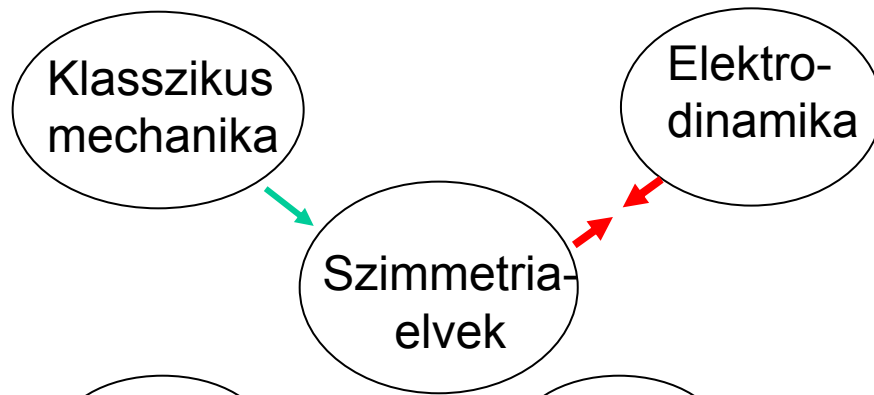


Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

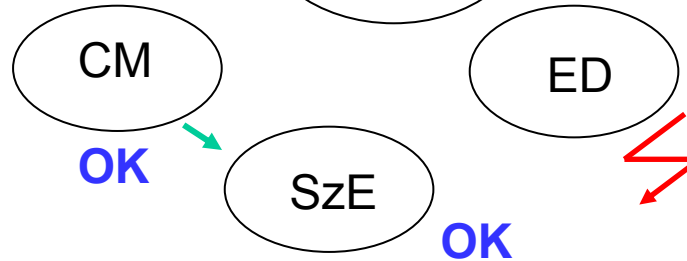
c) Meglepő,  
új megoldás:  
**speciális  
relativitáselmélet**



# Ellentmondások és feloldásuk

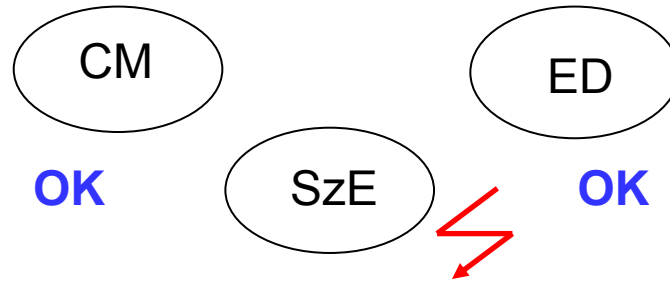


a) Triviális feloldás:



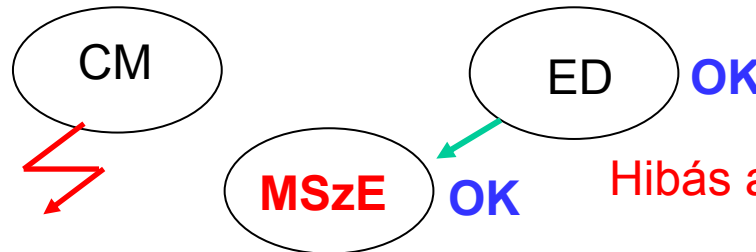
hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:



Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

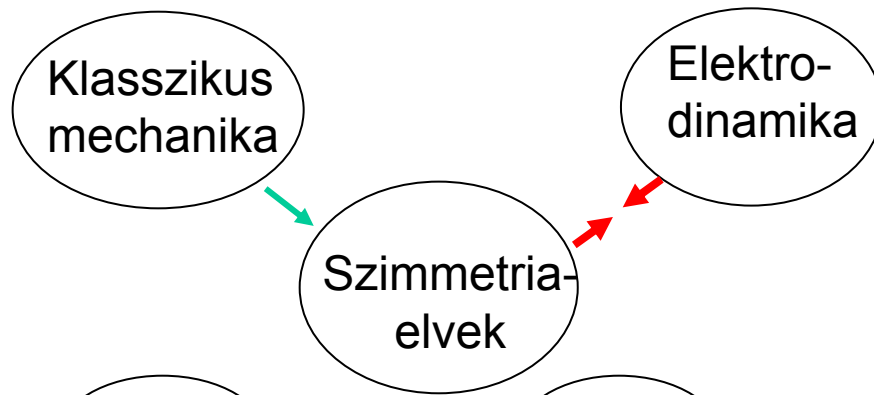
c) Meglepő,  
új megoldás:  
**speciális  
relativitáselmélet**



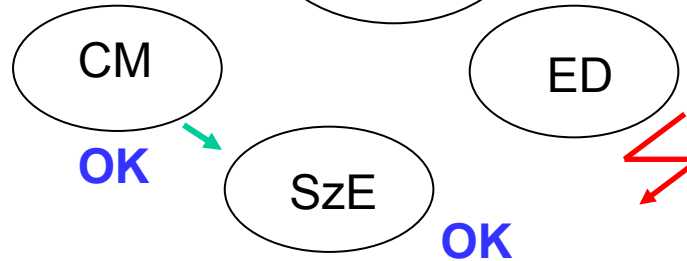
Hibás a klasszikus mechanika!



# Ellentmondások és feloldásuk

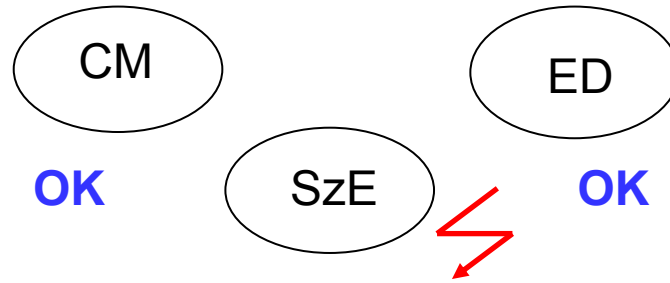


a) Triviális feloldás:



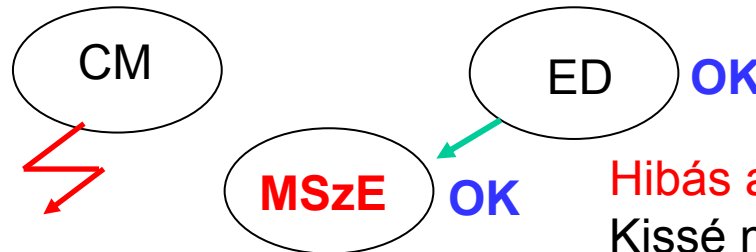
hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:



Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

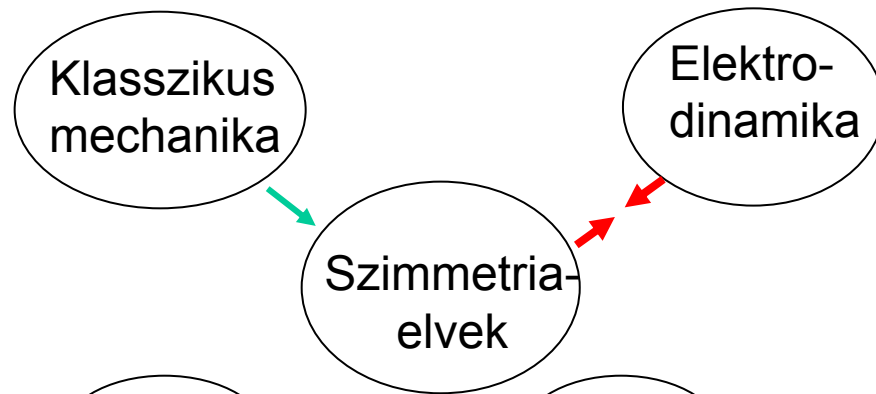
c) Meglepő, új megoldás:  
**speciális relativitáselmélet**



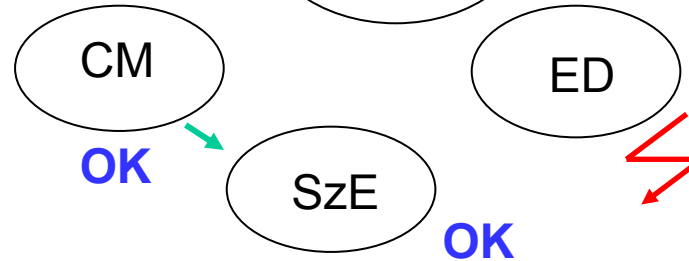
Hibás a klasszikus mechanika!  
Kissé módosított szimmetriaelvek:



# Ellentmondások és feloldásuk

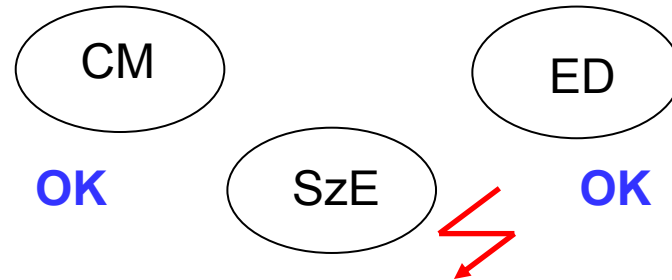


a) Triviális feloldás:



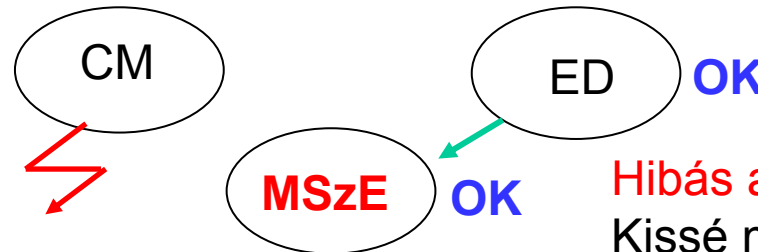
hibás  
(új kiforratlan elmélet)

b) Szokásos megoldás:



Nincs Galilei-invariancia.  
Van kitüntetett KR: **ÉTER**

c) Meglepő, új megoldás:  
**speciális relativitáselmélet**



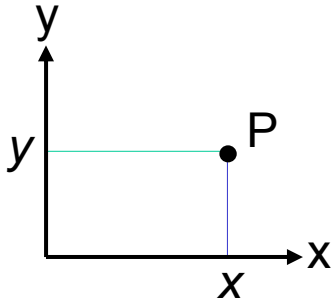
Hibás a klasszikus mechanika!  
Kissé módosított szimmetriaelvek:  
Galilei helyett **Lorentz-invarancia**



# Koordináták és koordinátarendszerek

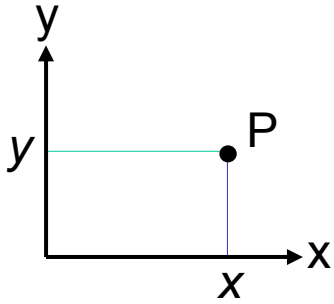


# Koordináták és koordinátarendszerek





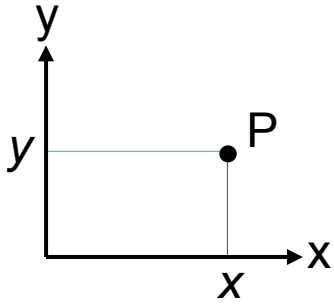
# Koordináták és koordinátarendszerek



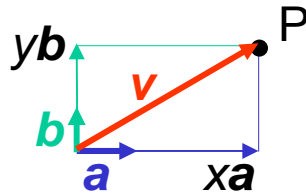
derékszögű  
koordinátarendszer



# Koordináták és koordinátarendszerek



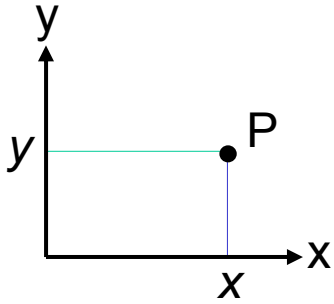
derékszögű  
koordinátarendszer



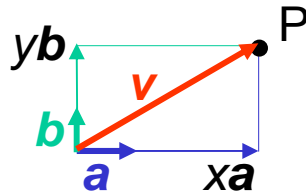
vektorok felbontása



# Koordináták és koordinátarendszerek



derékszögű  
koordinátarendszer

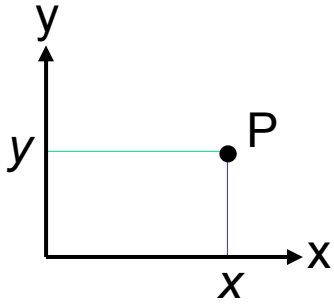


$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$

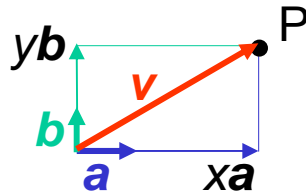
vektorok felbontása



# Koordináták és koordinátarendszerek

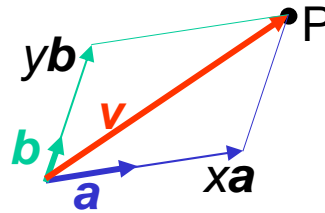


derékszögű  
koordinátarendszer

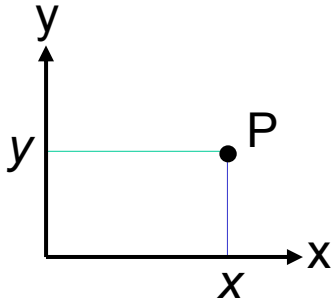


$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$

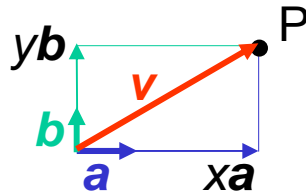
vektorok felbontása



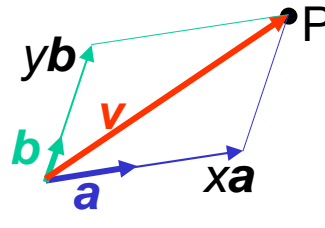
# Koordináták és koordinátarendszerek



derékszögű  
koordinátarendszer



$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$

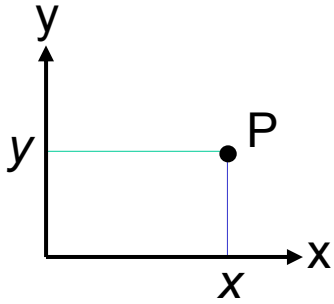


$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$

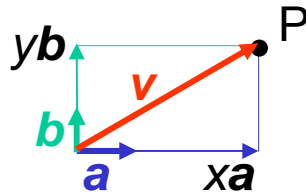
vektorok felbontása



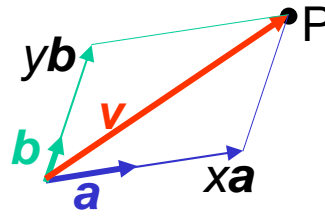
# Koordináták és koordinátarendszerek



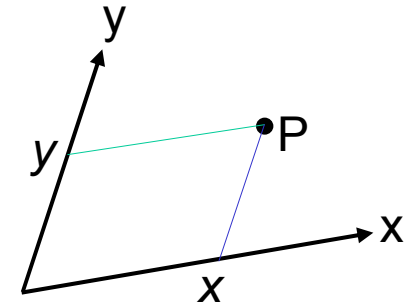
derékszögű  
koordinátarendszer



$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$



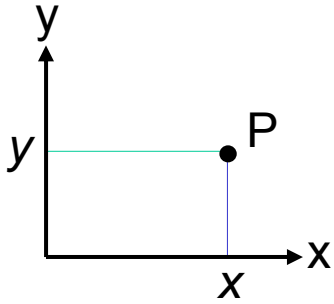
$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$



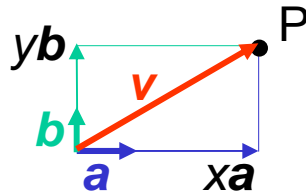
vektorok felbontása



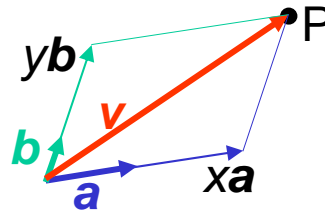
# Koordináták és koordinátarendszerek



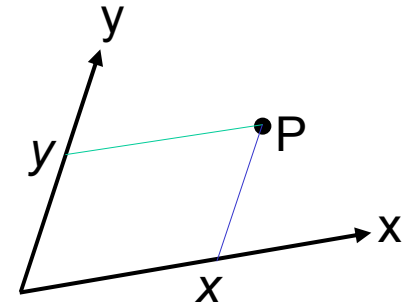
derékszögű  
koordinátarendszer



$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$



$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$

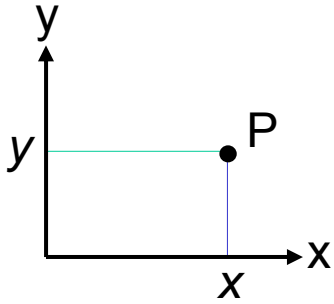


ferdeszögű  
koordinátarendszer

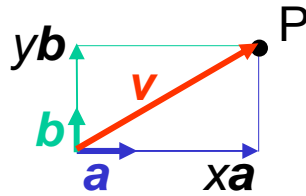
vektorok felbontása



# Koordináták és koordinátarendszerek

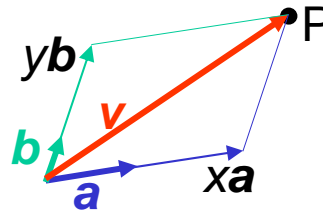


derékszögű  
koordinátarendszer

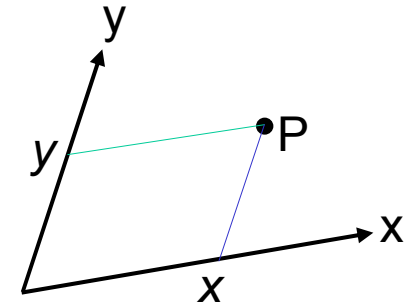


$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$

vektorok felbontása



$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$



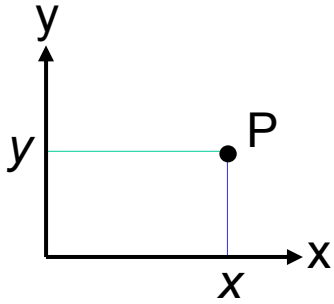
ferdeszögű  
koordinátarendszer

A koordináták leolvasása:  
a **MÁSİK** koordinátatengellyel párhuzamos  
vetítősugarakkal,

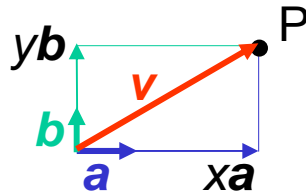




# Koordináták és koordinátarendszerek

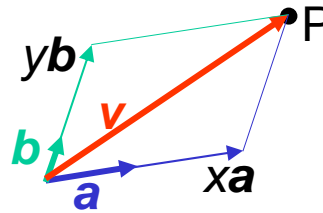


derékszögű  
koordinátarendszer

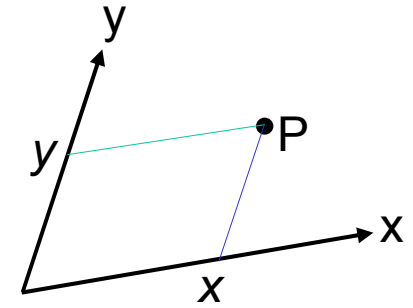


$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$

vektorok felbontása



$$\mathbf{v} = x\mathbf{a} + y\mathbf{b}$$



ferdeszögű  
koordinátarendszer

A koordináták leolvasása:  
a **MÁSİK** koordinátatengellyel párhuzamos  
vetítősugarakkal,  
amelyek a ponttól az adott tengelyig tartanak



# Téridő



# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer:



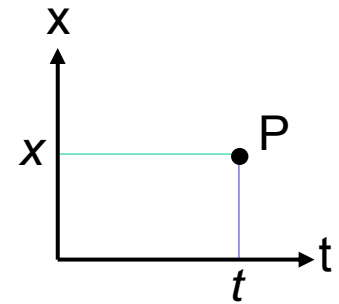
# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



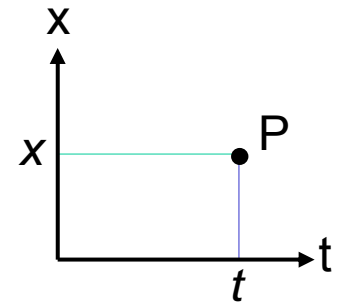
# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram

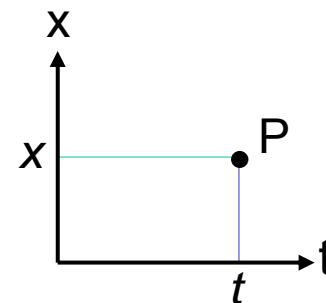


Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz...



# Téridő

$x - t$  koordináta-rendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram

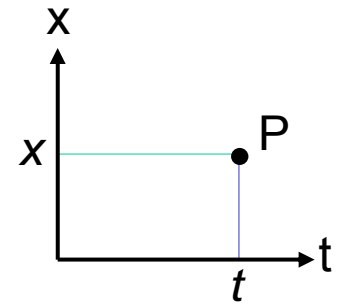


Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!



# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!

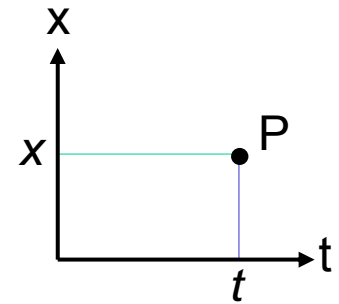
(a matematikusok nem szokták...)





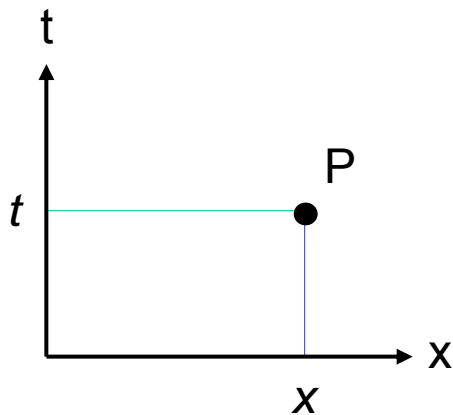
# Tér idő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



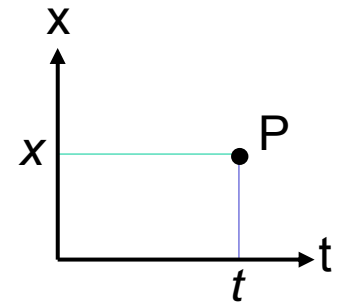
Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!

(a matematikusok nem szokták...)



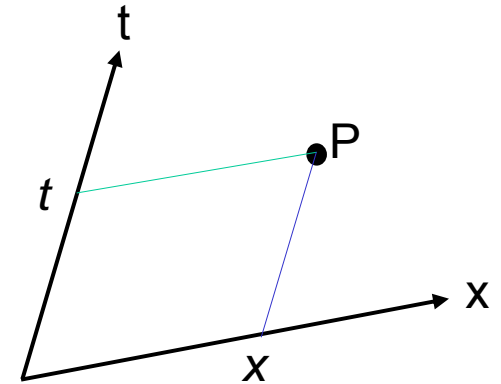
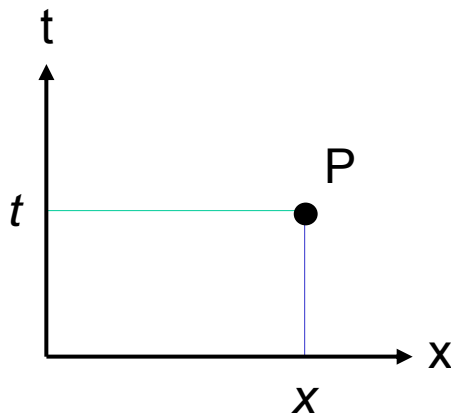
# Tér idő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



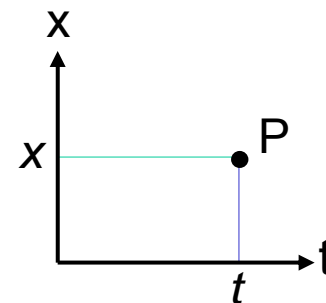
Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!

(a matematikusok nem szokták...)



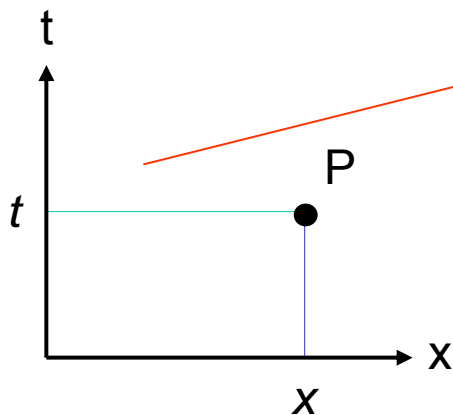
# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram

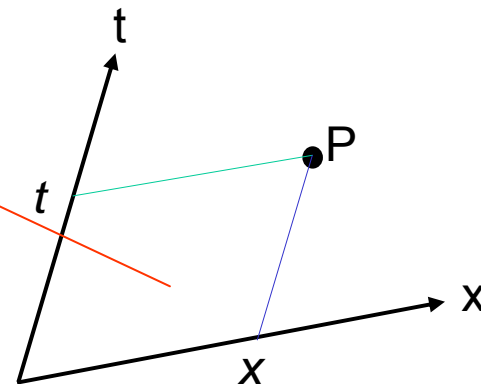


Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!

(a matematikusok nem szokták...)

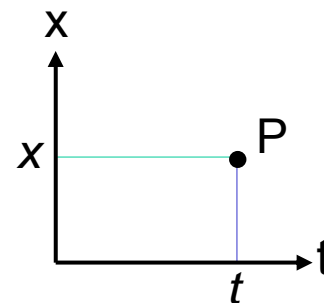


**téridő**



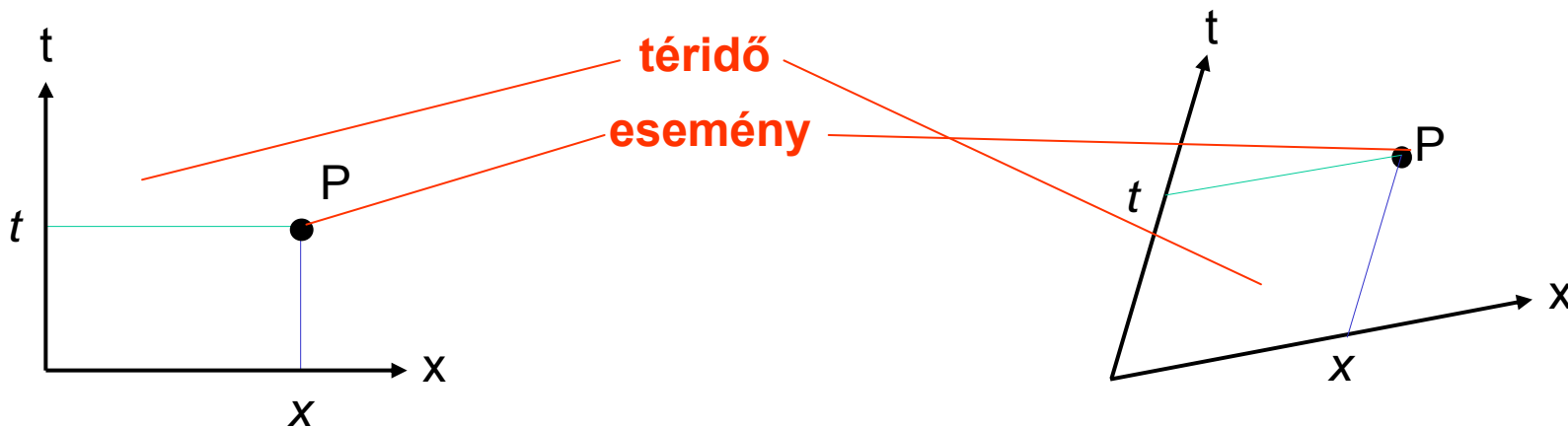
# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



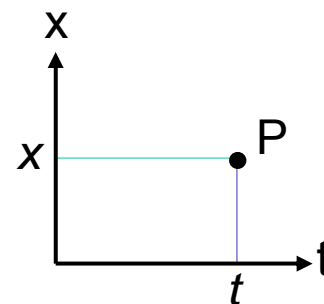
Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!

(a matematikusok nem szokták...)



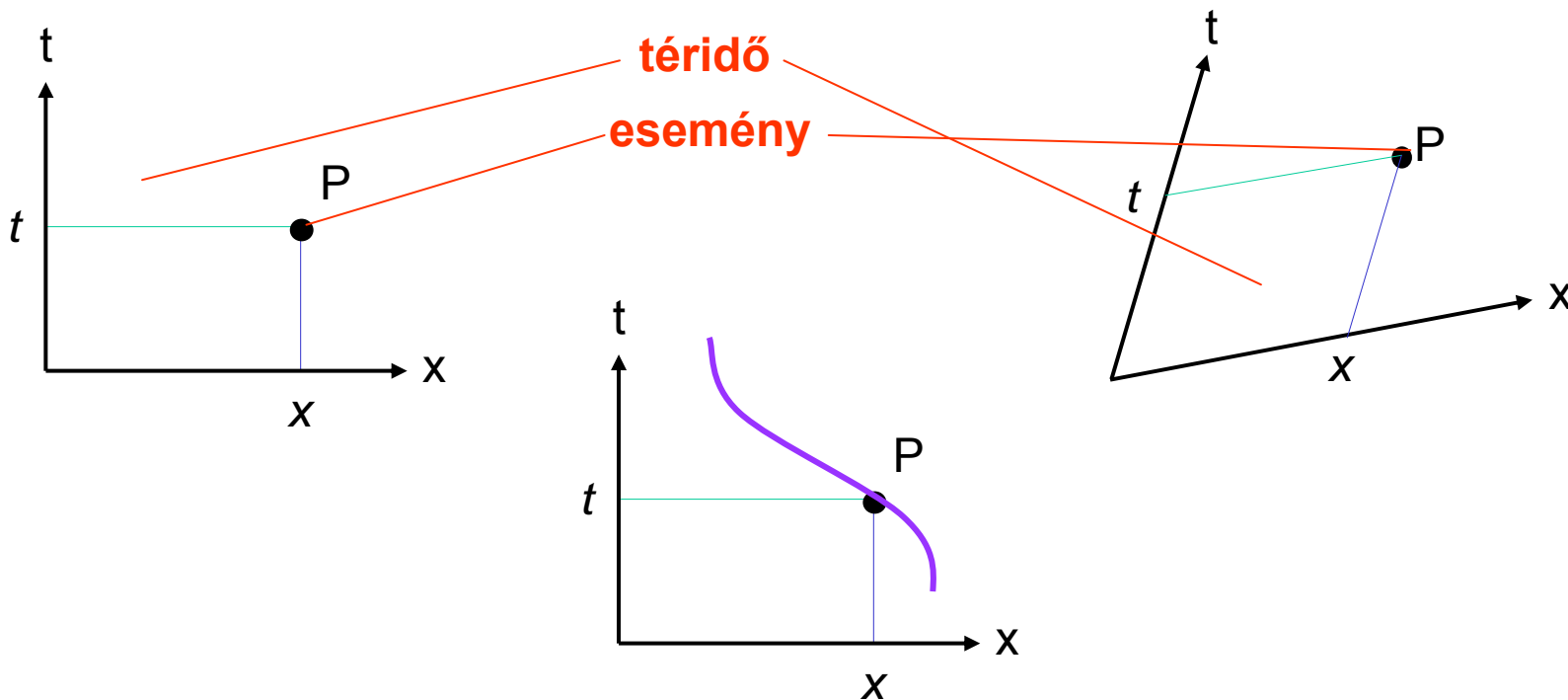
# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



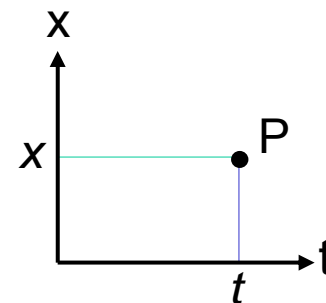
Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!

(a matematikusok nem szokták...)



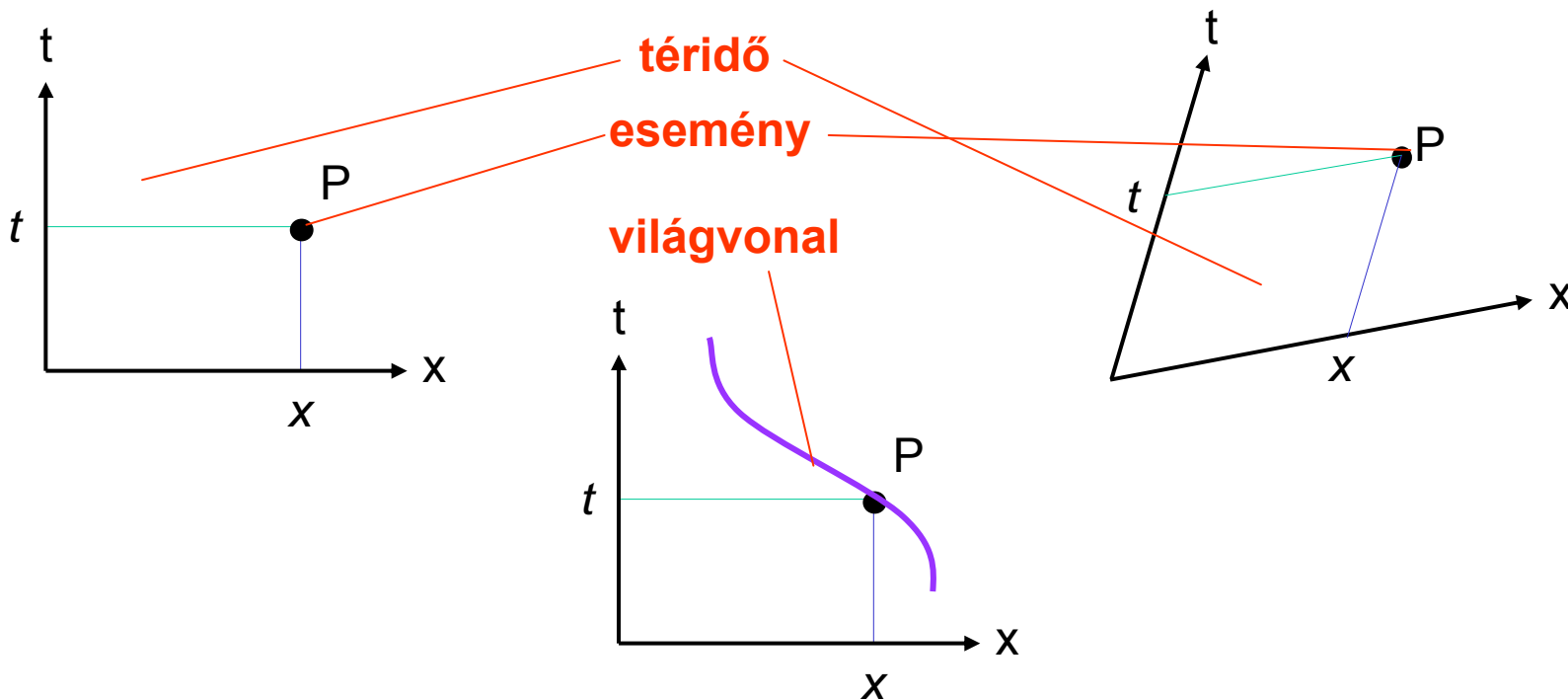
# Téridő

$x - t$  koordinátarendszer: tkp. iskolai út—idő-diagram



Fizikusok vagyunk, vagy mi a szösz... cseréljük fel a tengelyeket!

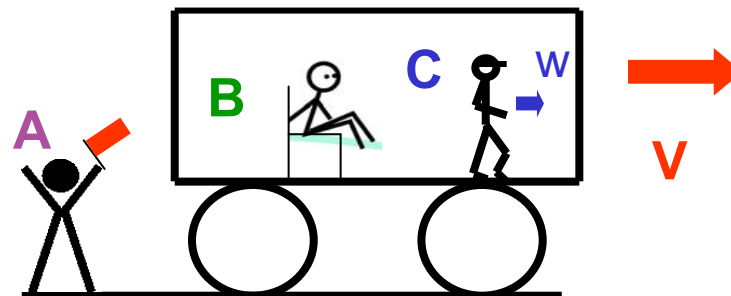
(a matematikusok nem szokták...)



# Galilei-transzformáció

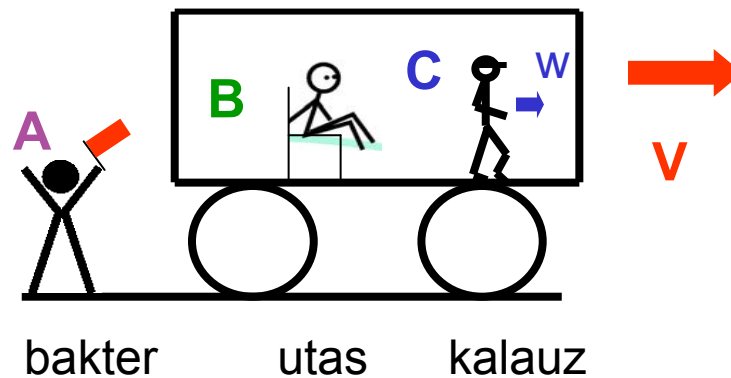


# Galilei-transzformáció

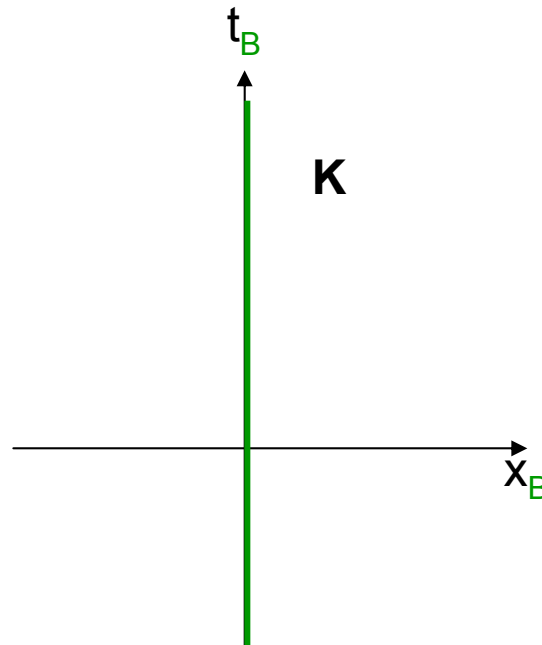
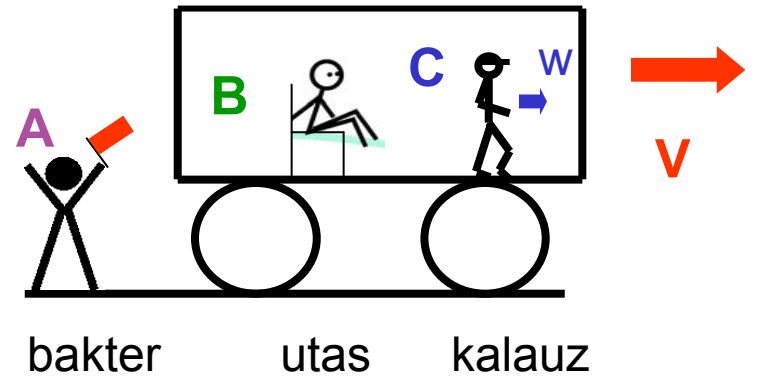




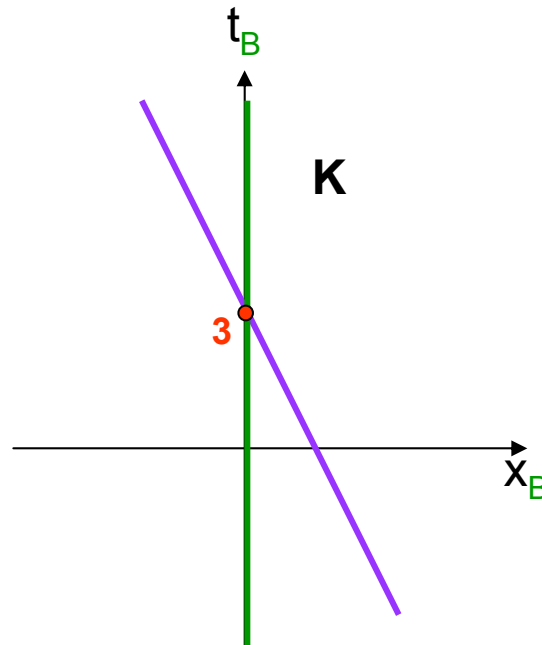
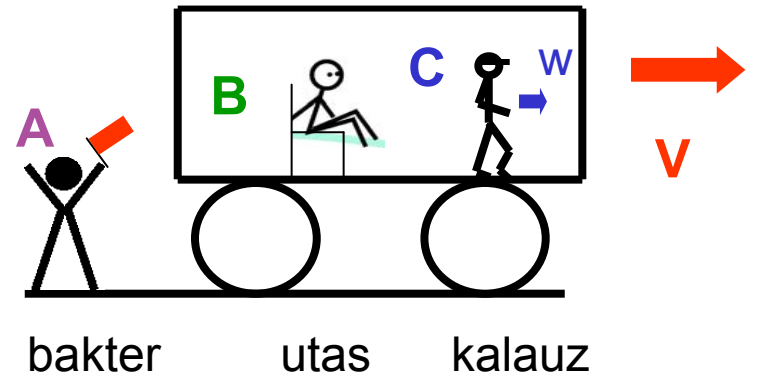
# Galilei-transzformáció



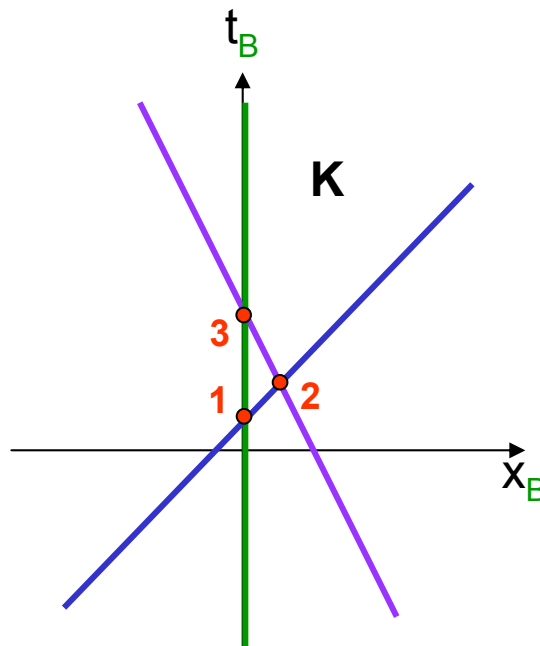
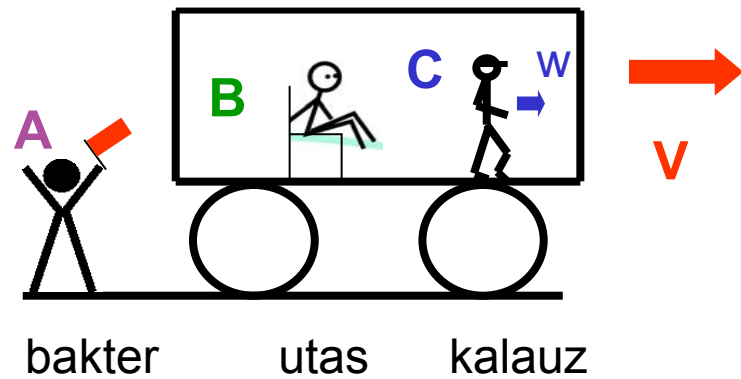
# Galilei-transzformáció



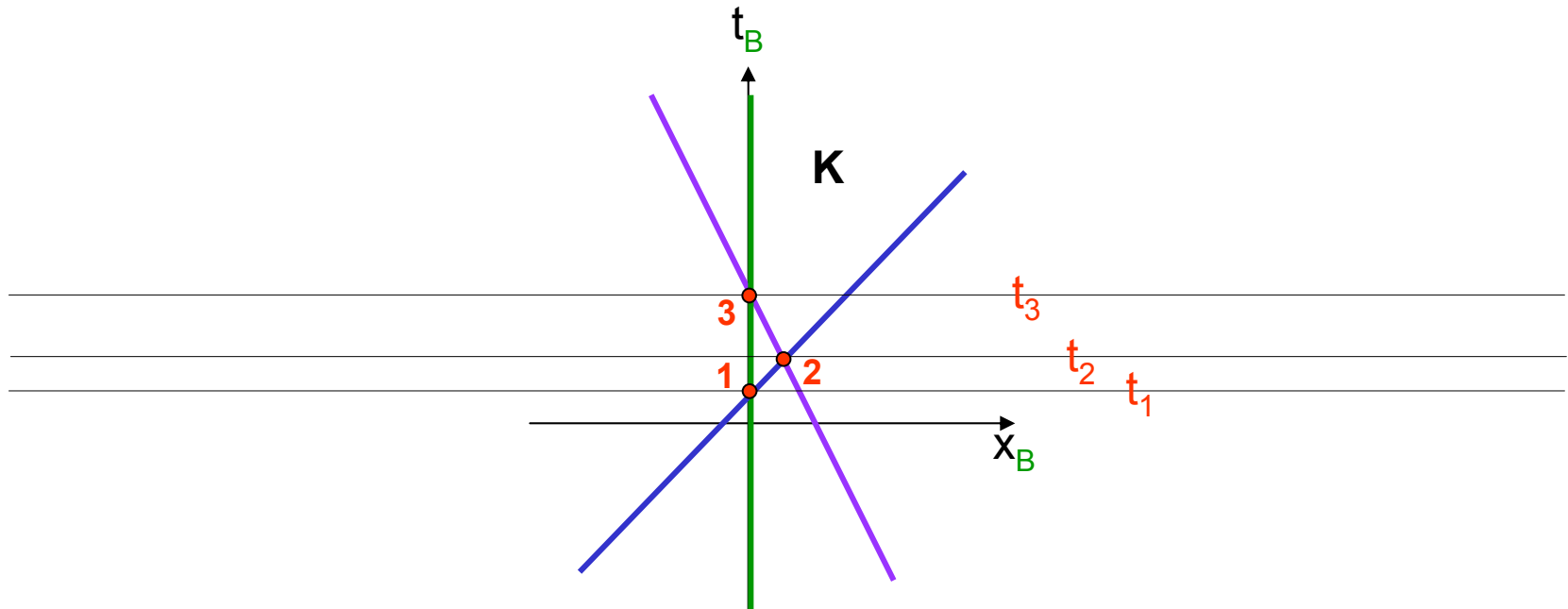
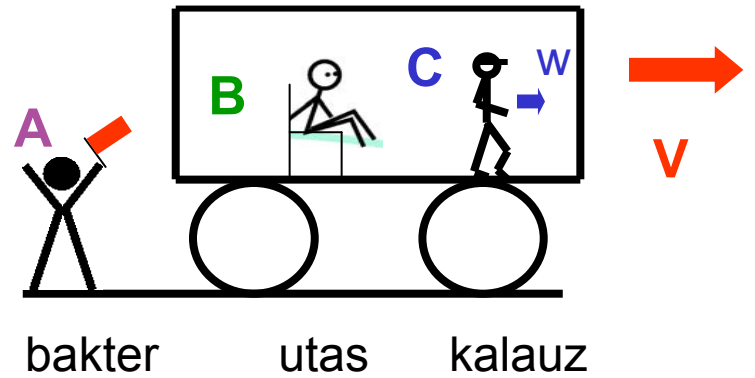
# Galilei-transzformáció



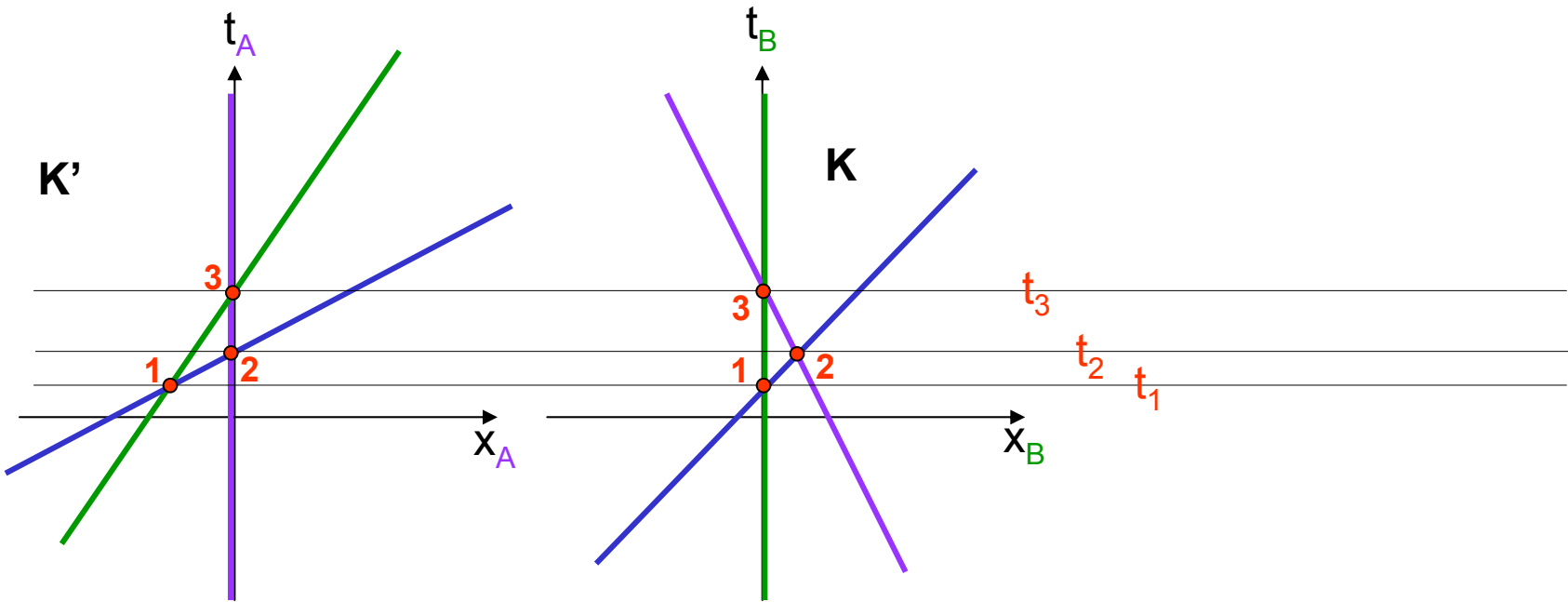
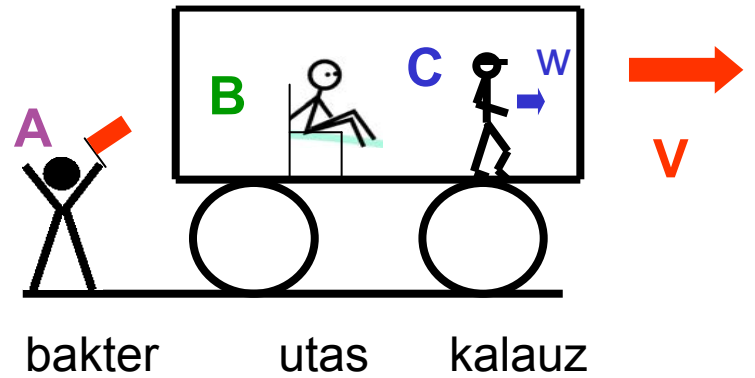
# Galilei-transzformáció



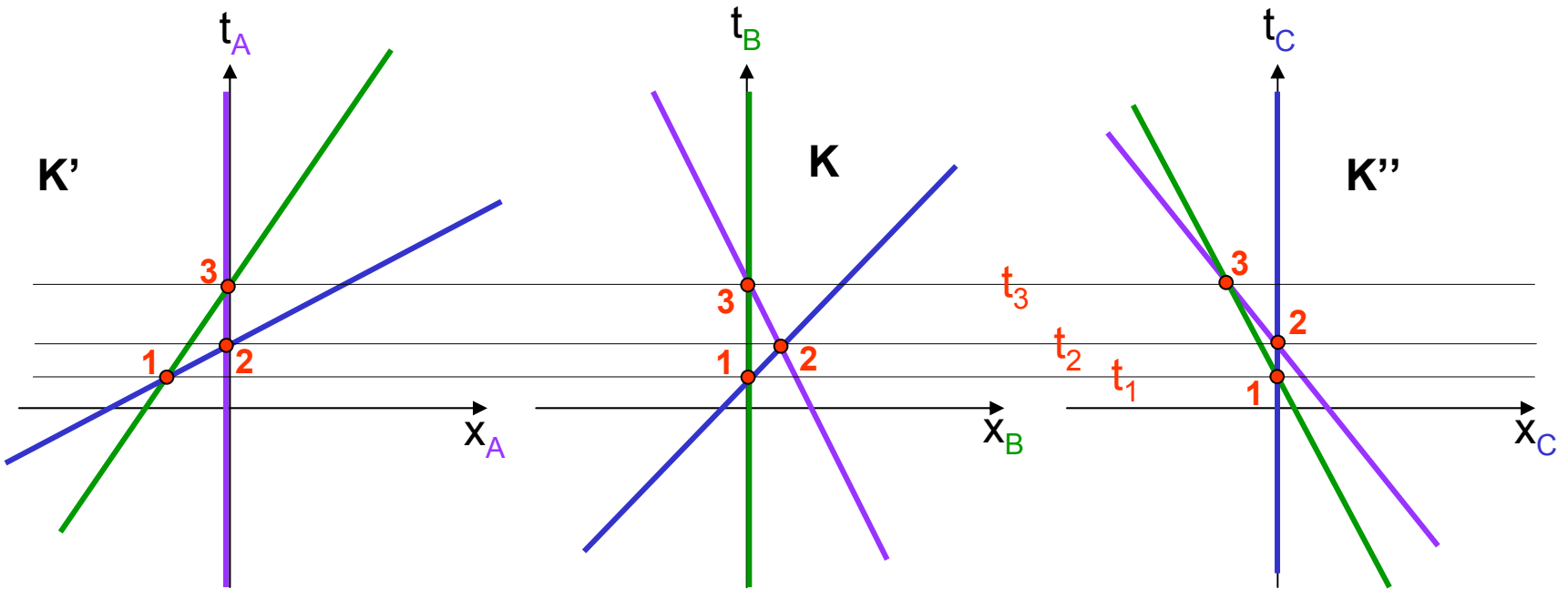
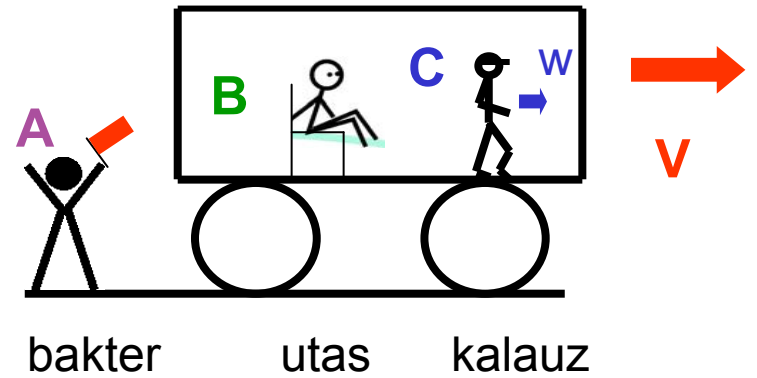
# Galilei-transzformáció



# Galilei-transzformáció

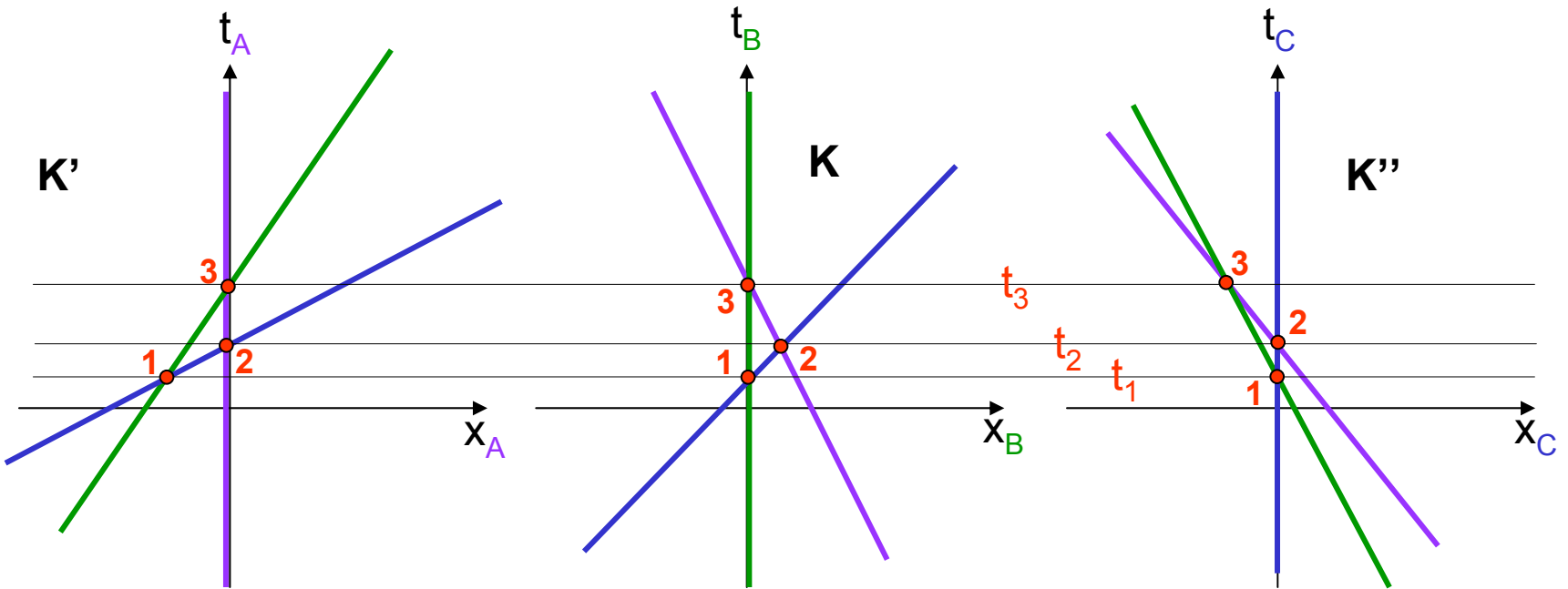
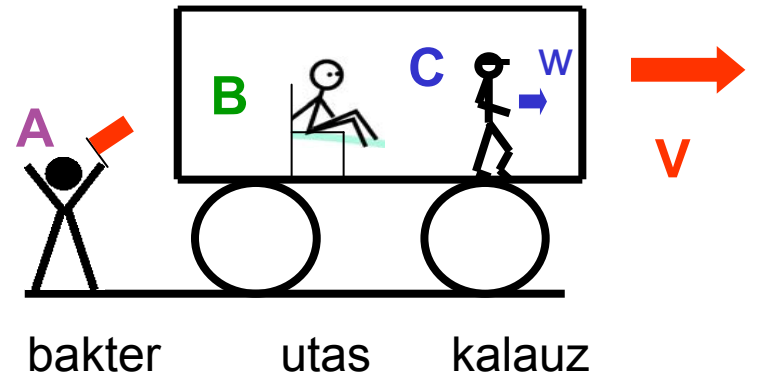


# Galilei-transzformáció



# Galilei-transzformáció

$$t_A = t_B = t_C$$

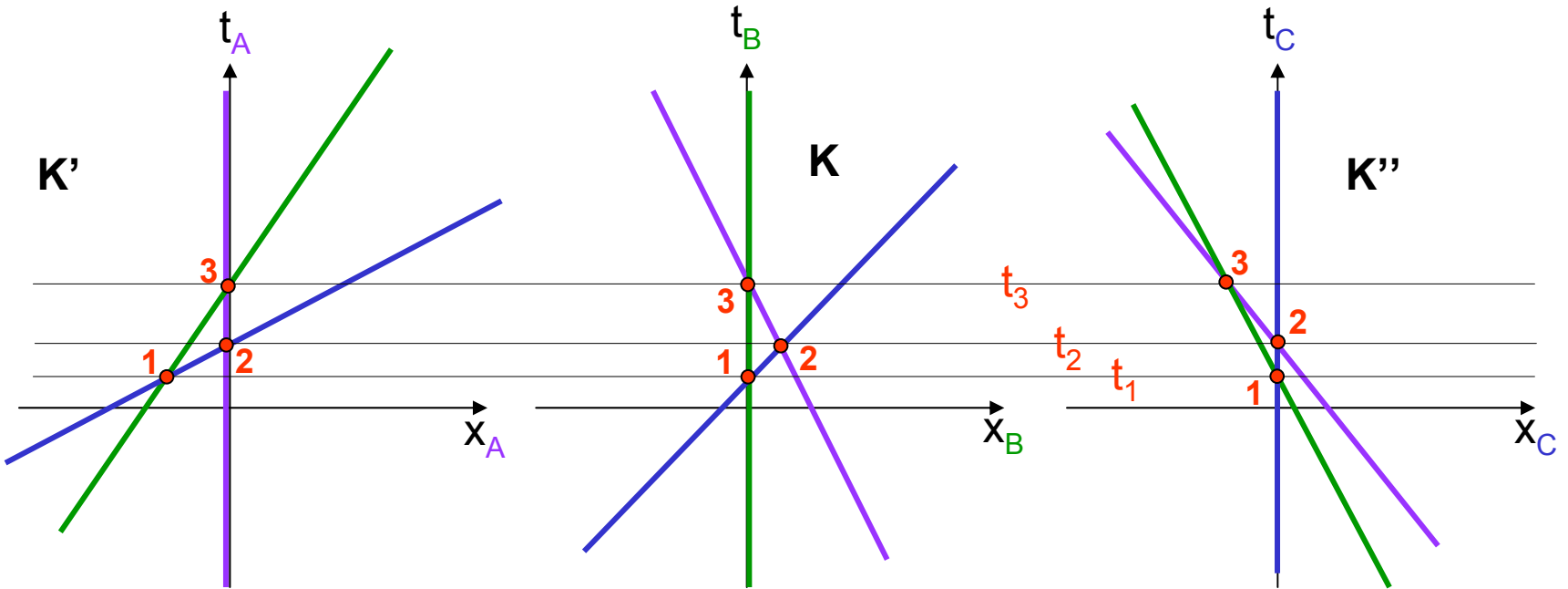
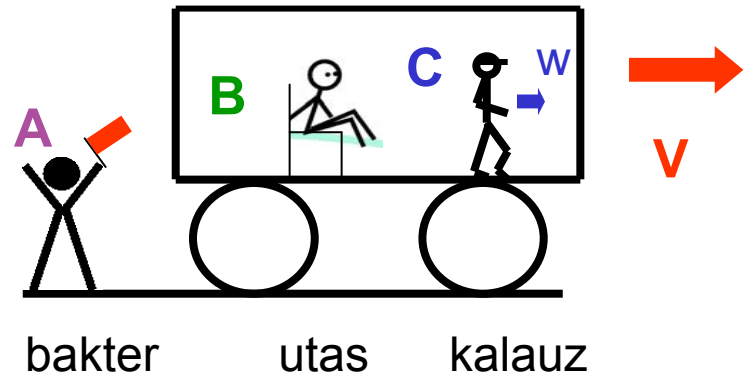




# Galilei-transzformáció

$$t_A = t_B = t_C$$

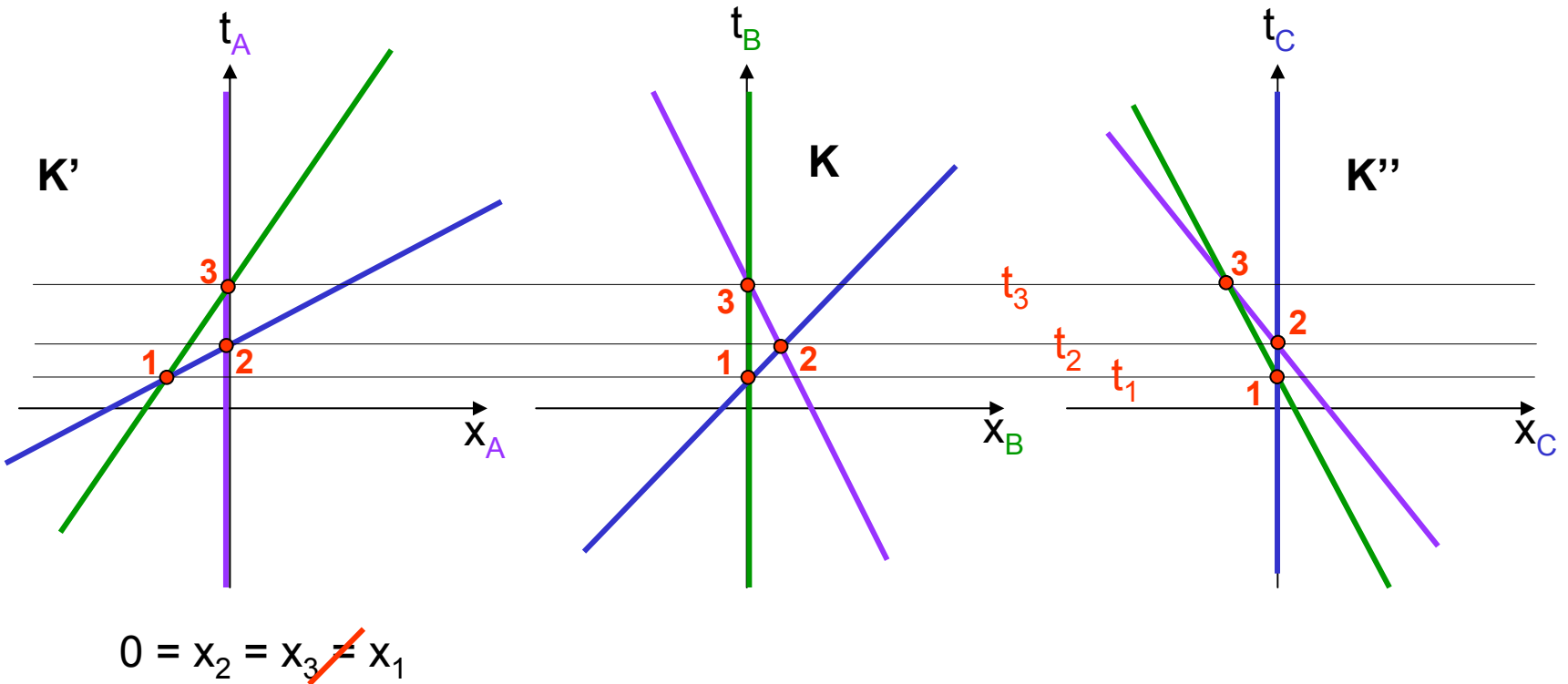
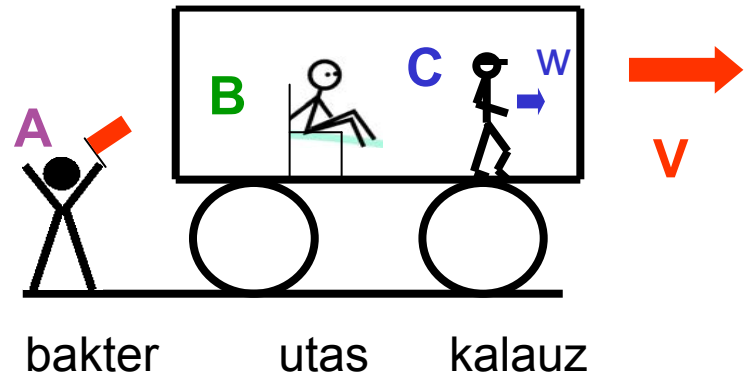
newtoni  
abszolút idő



# Galilei-transzformáció

$$t_A = t_B = t_C$$

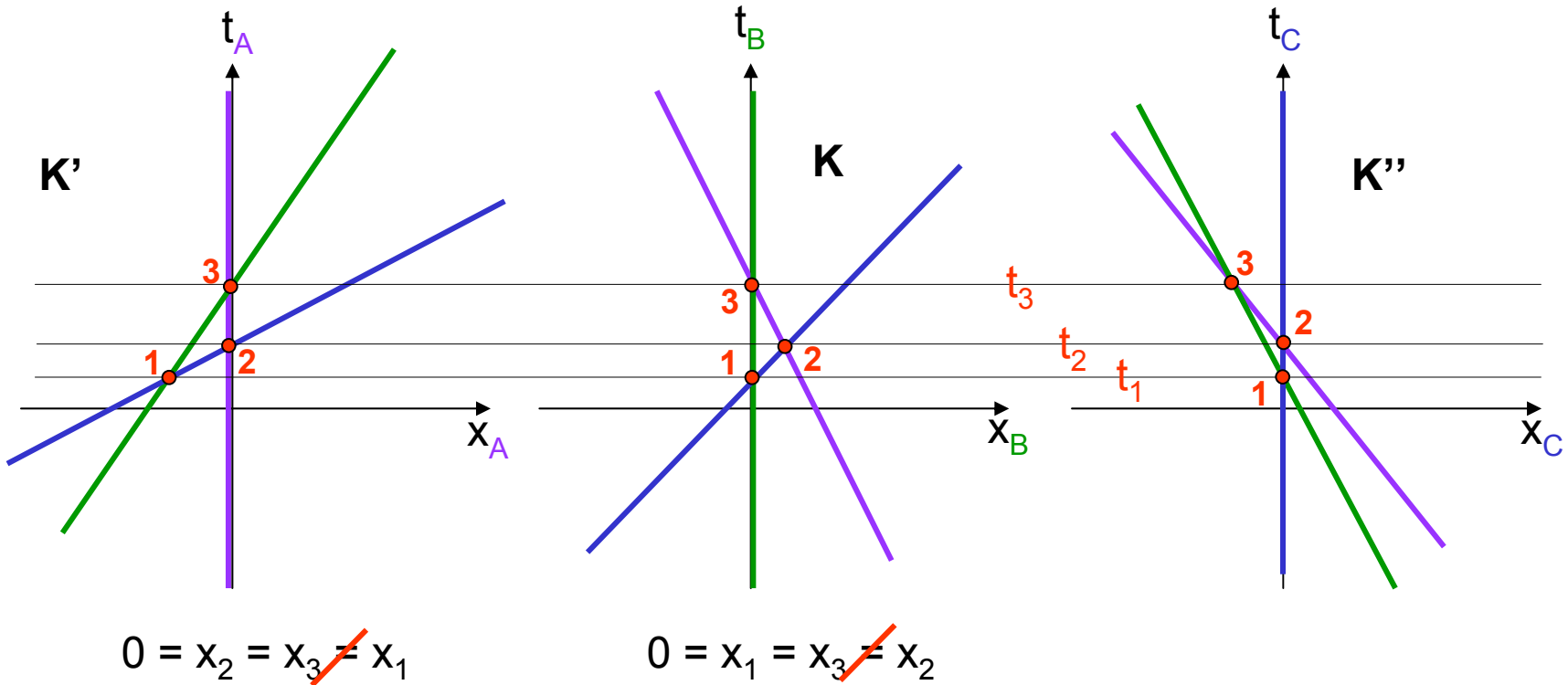
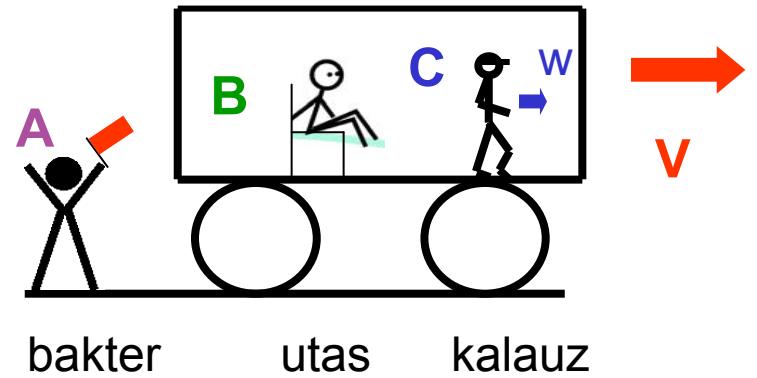
newtoni  
abszolút idő



# Galilei-transzformáció

$$t_A = t_B = t_C$$

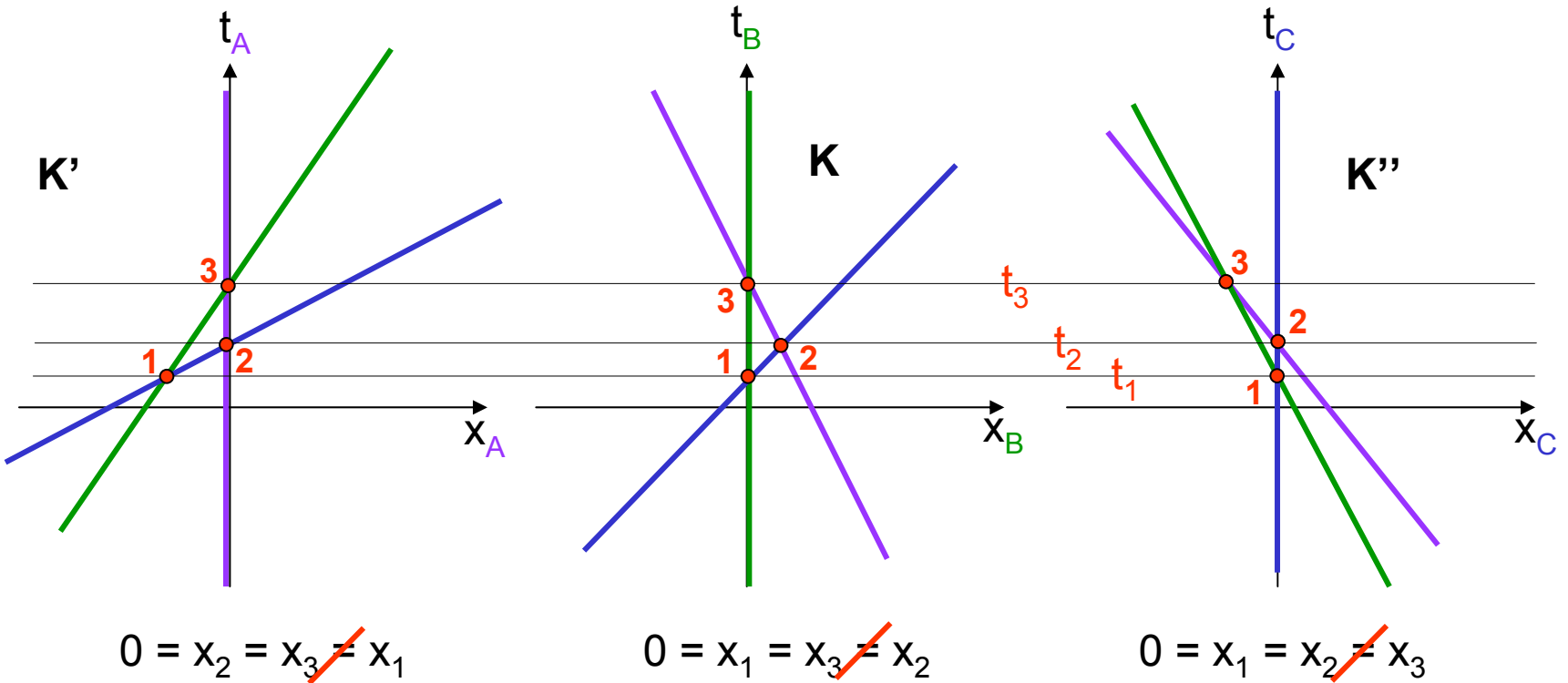
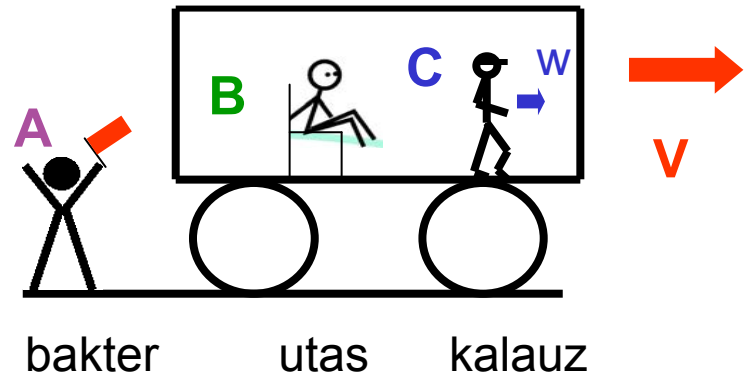
newtoni  
abszolút idő



# Galilei-transzformáció

$$t_A = t_B = t_C$$

newtoni  
abszolút idő



# Események koordinátái



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek.



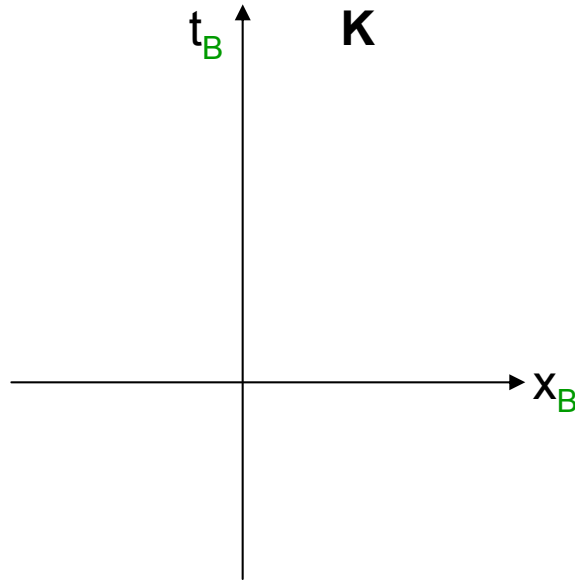
# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek.  
Legyen ez az origó.



# Események koordinátái

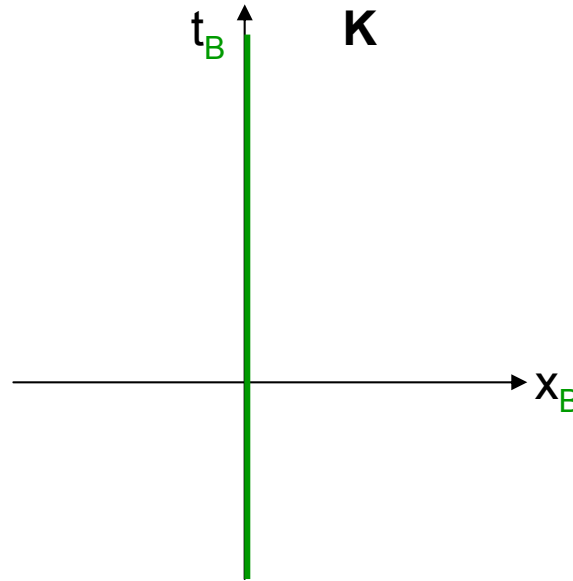
Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek.  
Legyen ez az origó.





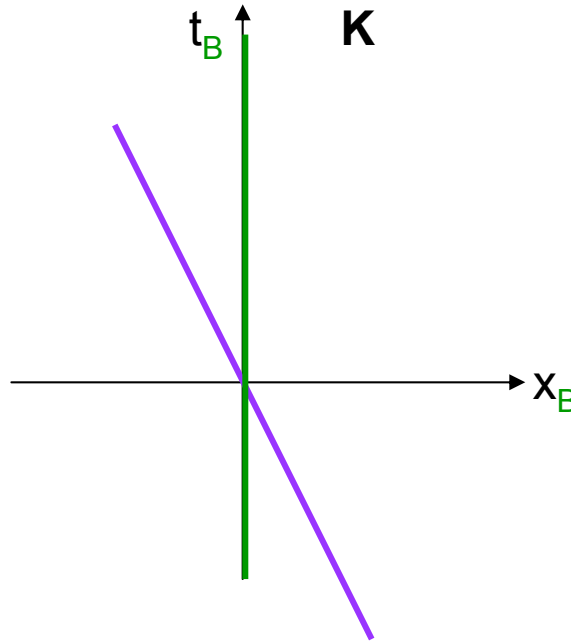
# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek.  
Legyen ez az origó.



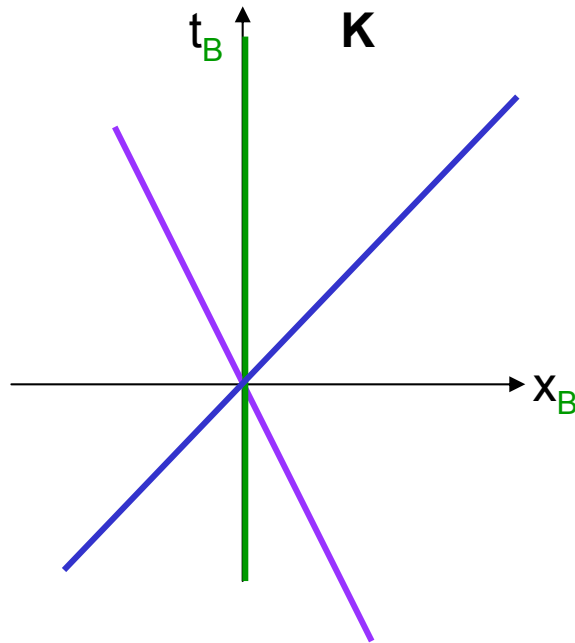
# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



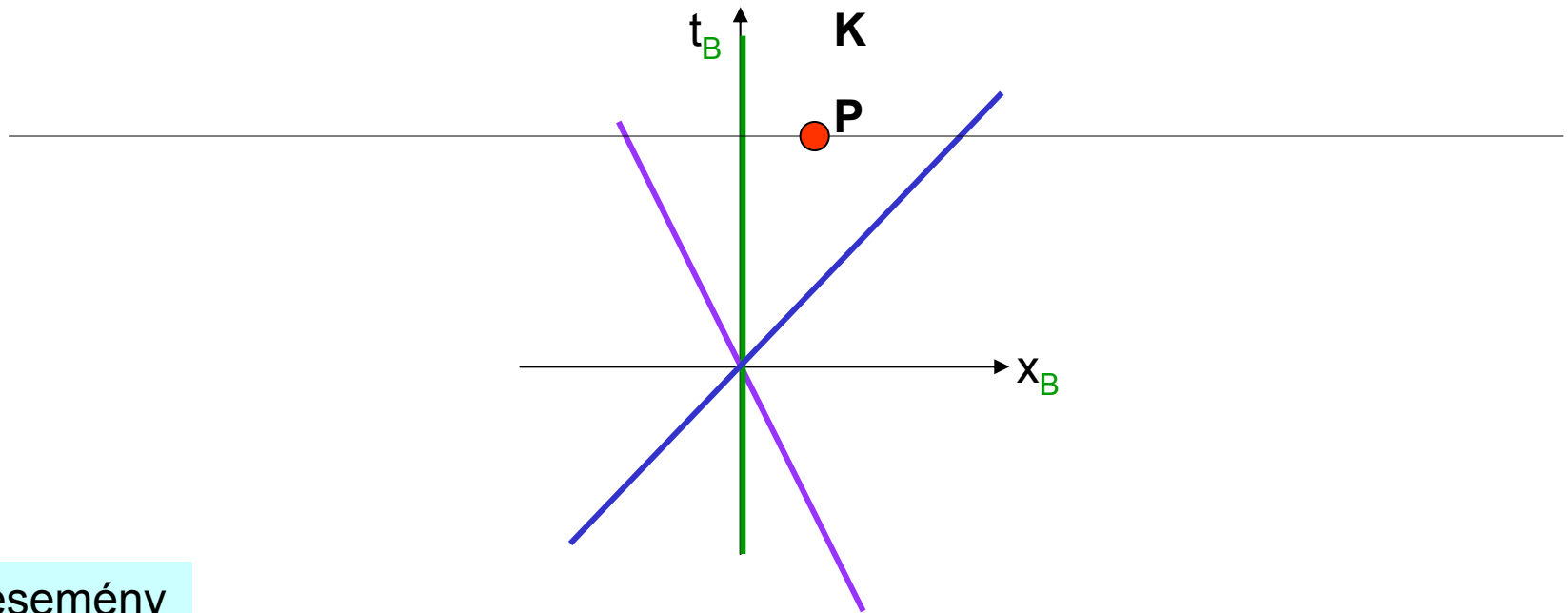
# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek.  
Legyen ez az origó.

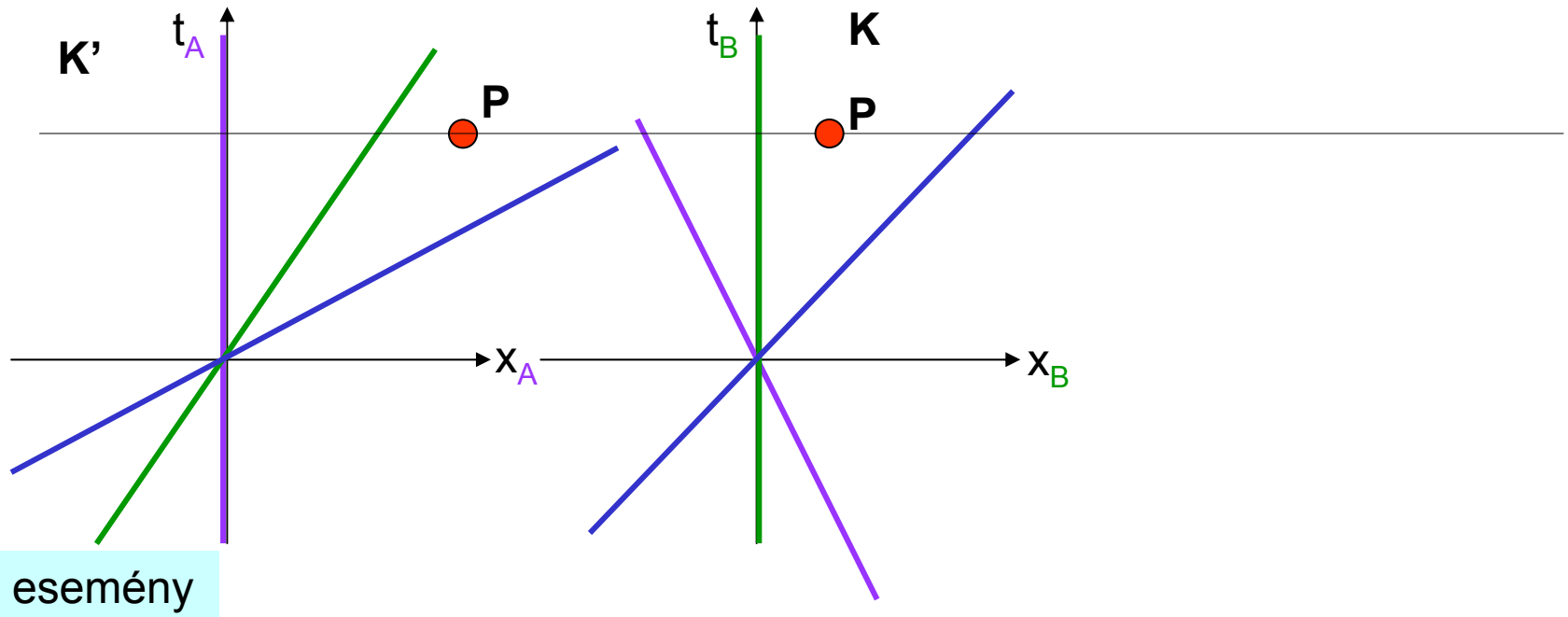


a P esemény



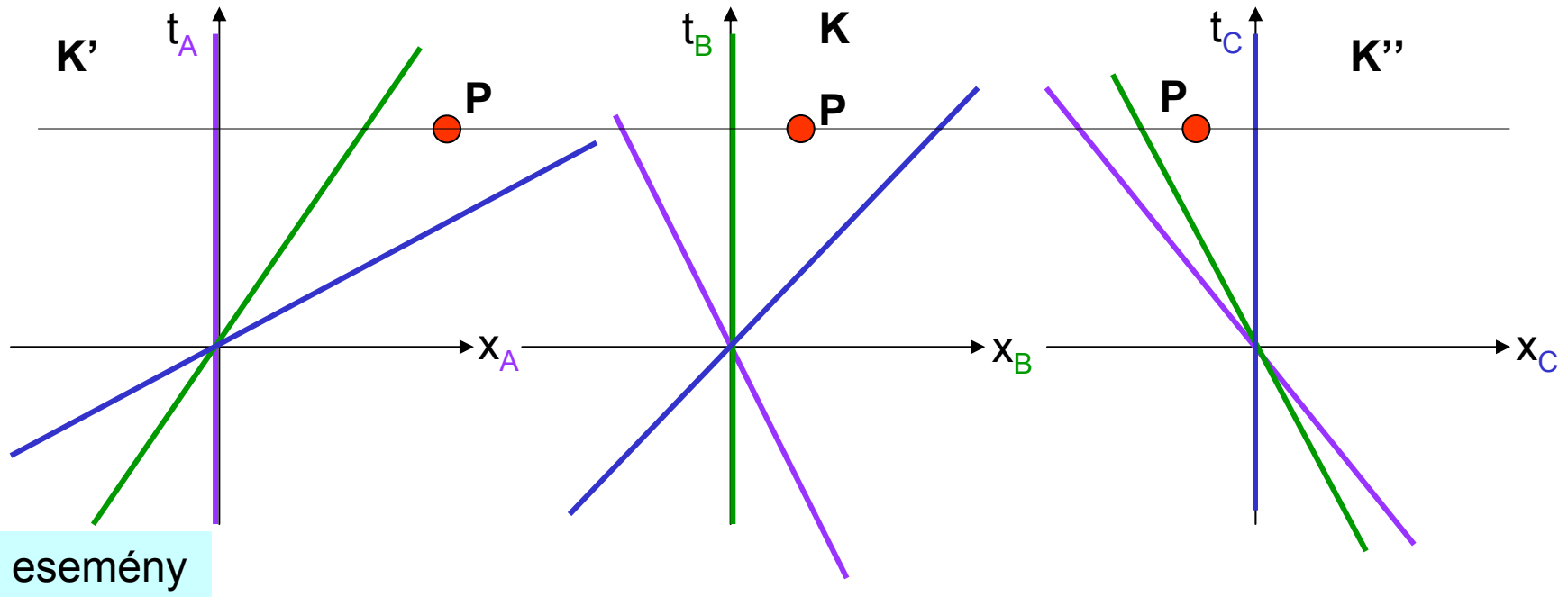
# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



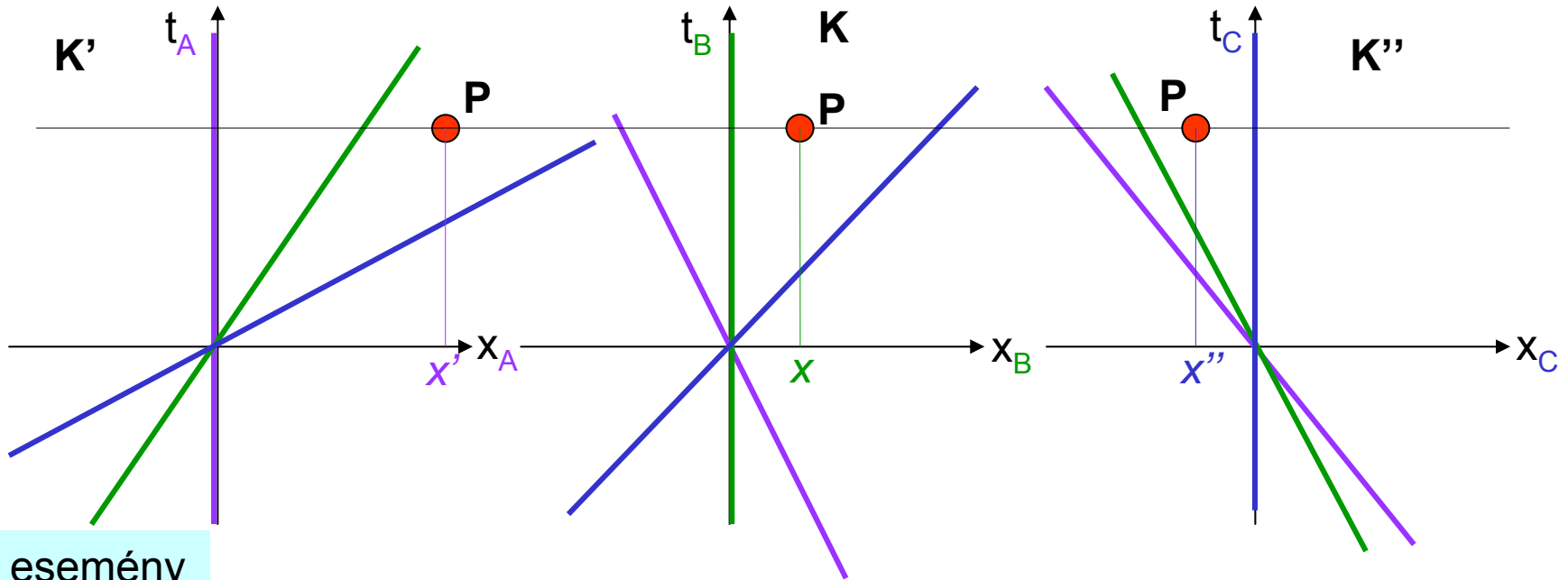
# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.

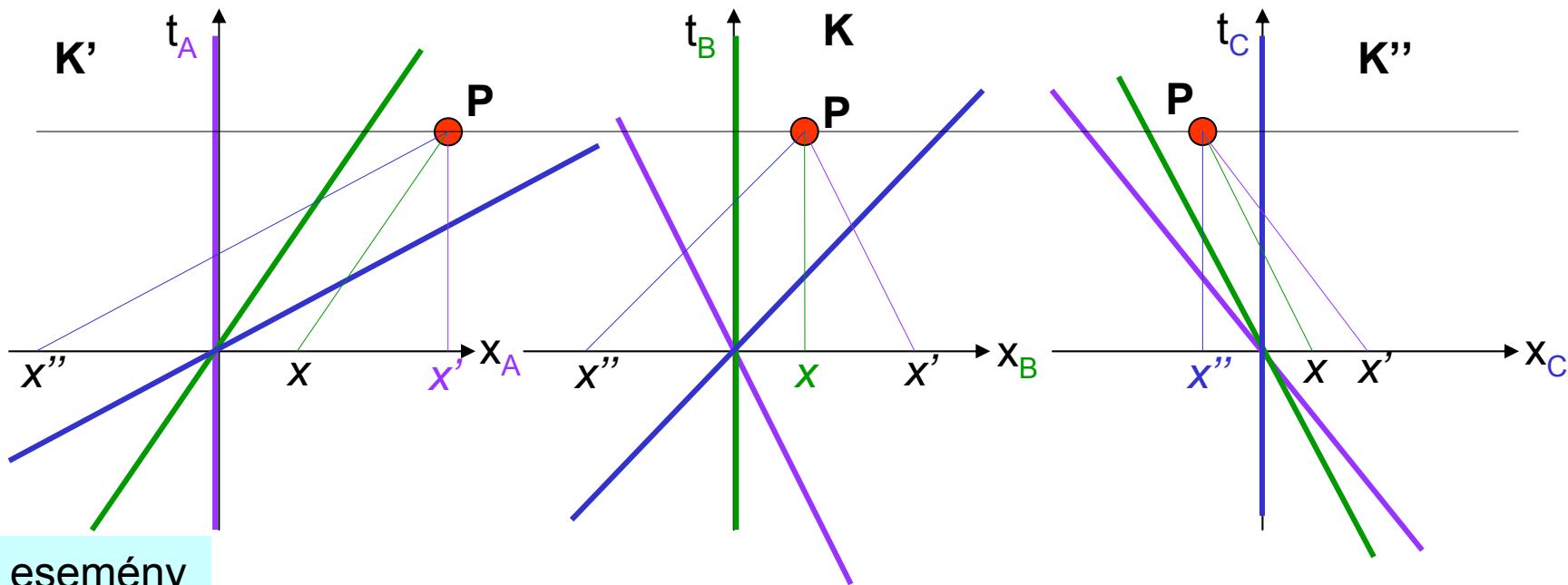


a P esemény  
különböző  
koordinátái



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



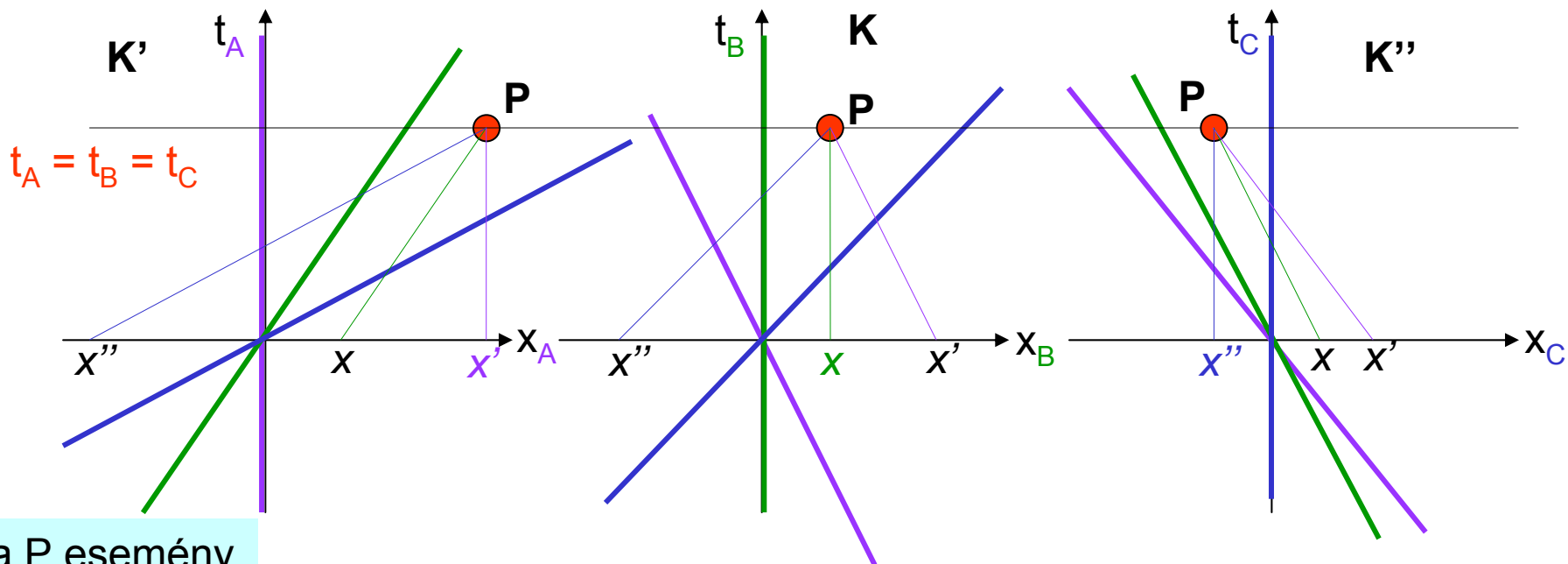
a P esemény  
különböző  
koordinátái





# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.

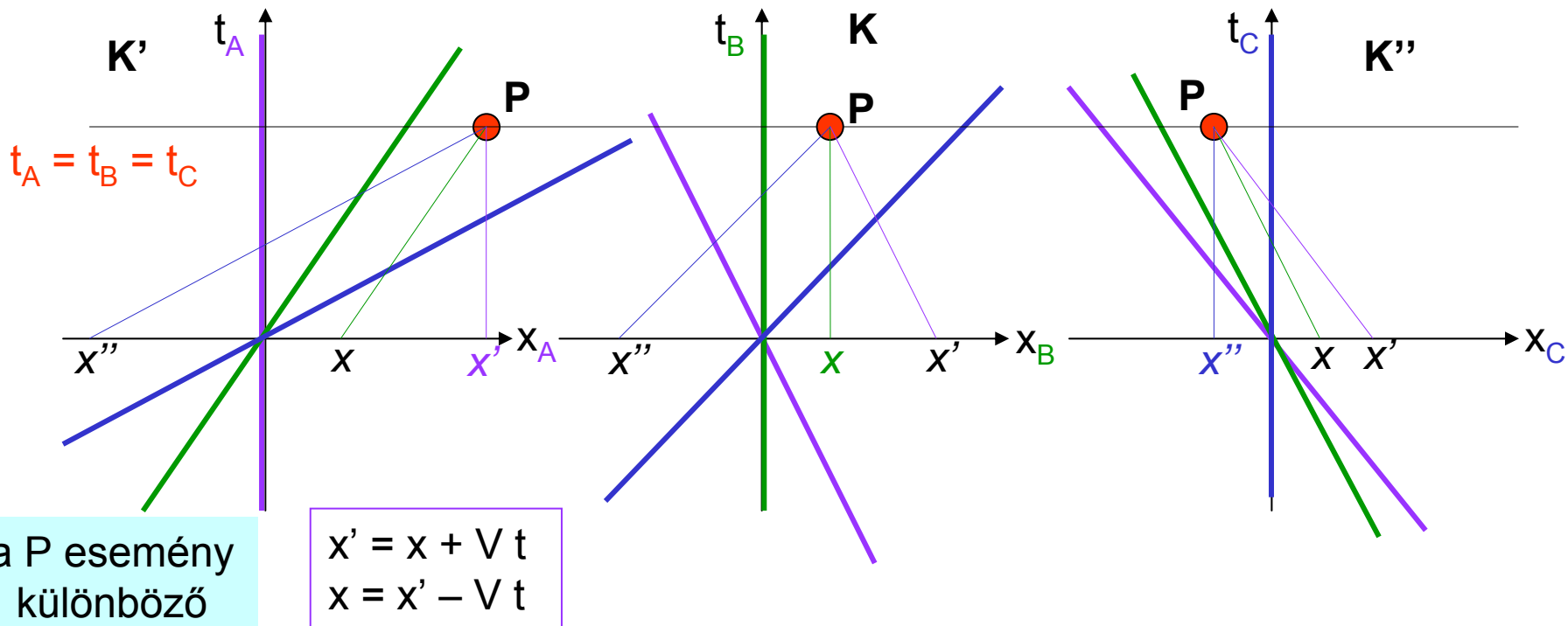


a P esemény  
különböző  
koordinátái



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.

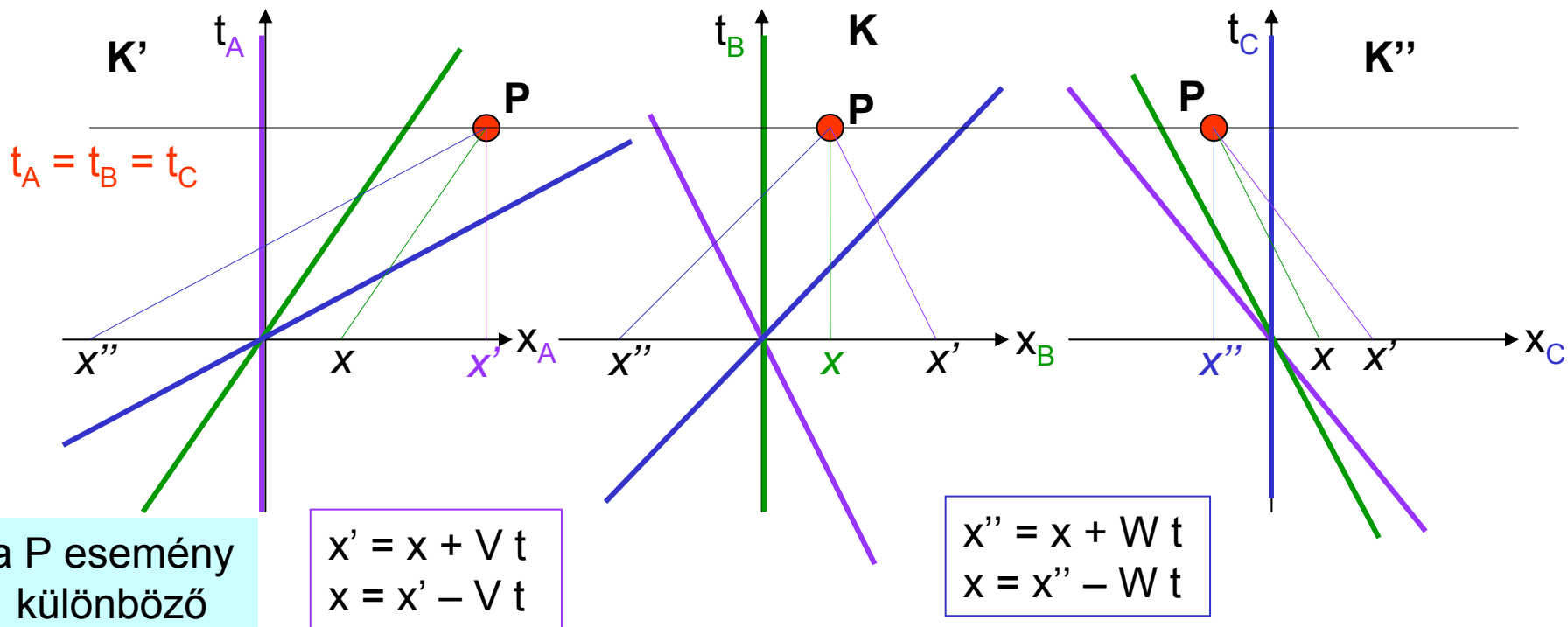


a P esemény  
különböző  
koordinátái  
közti  
kapcsolatok:



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.

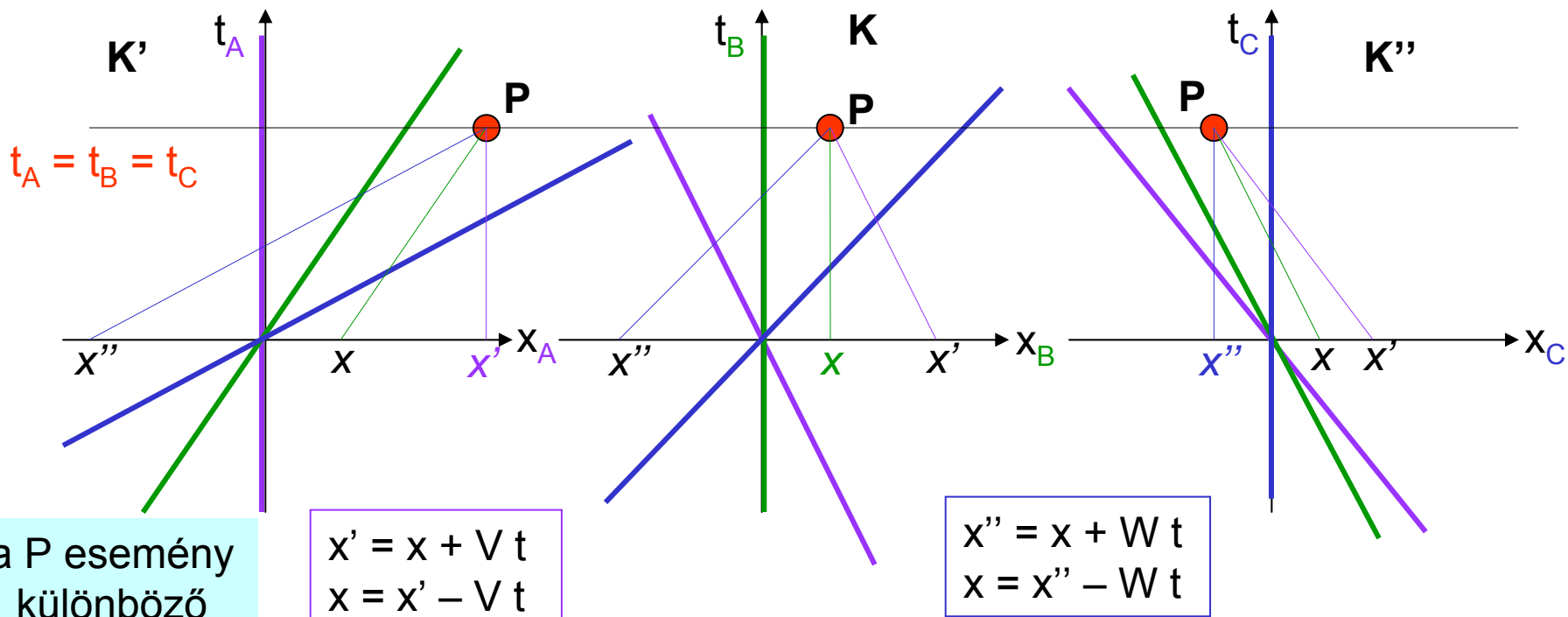


a P esemény különböző koordinátái közti kapcsolatok:



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.

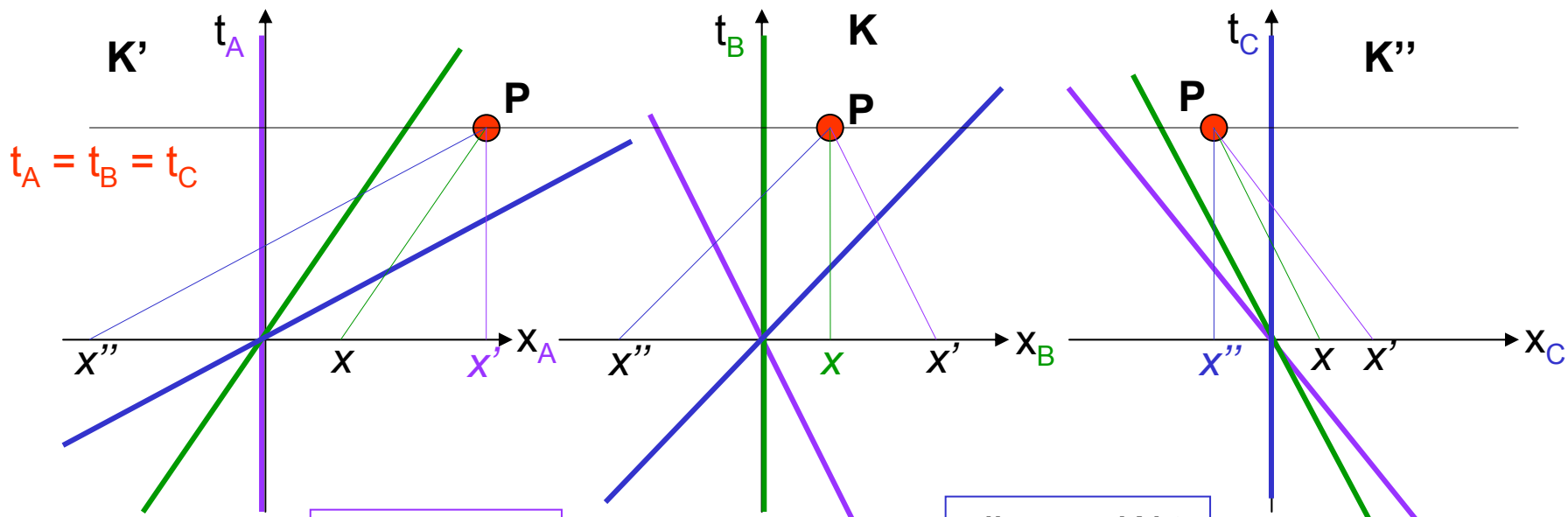


a P esemény különböző koordinátái közötti kapcsolatok:



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



a P esemény különböző koordinátái közti kapcsolatok:

$$\begin{aligned} x' &= x + V t \\ x &= x' - V t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x' + U t \\ x' &= x'' - U t \end{aligned}$$

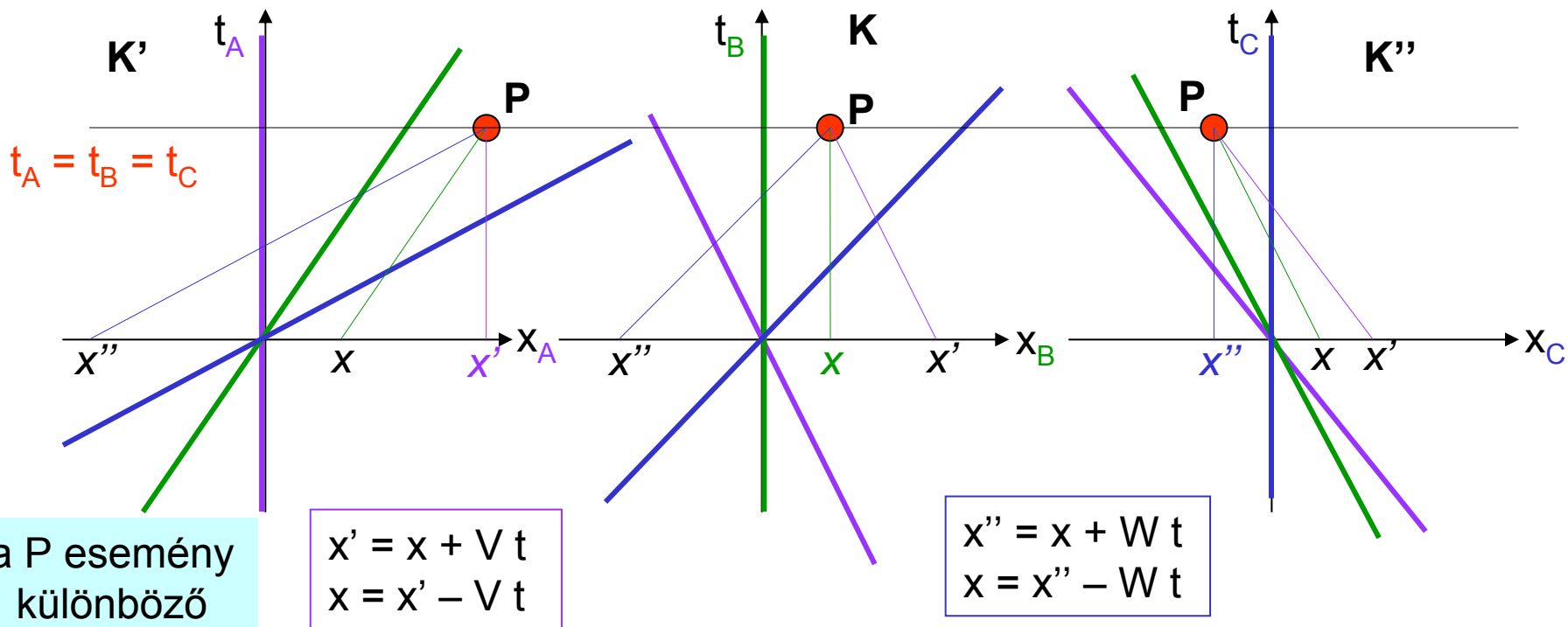
$$\begin{aligned} x'' &= x + W t \\ x &= x'' - W t \end{aligned}$$

$$U = V + W$$



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



a P esemény különböző koordinátái közti kapcsolatok:

$$\begin{aligned} x' &= x + V t \\ x &= x' - V t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x' + U t \\ x' &= x'' - U t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x + W t \\ x &= x'' - W t \end{aligned}$$

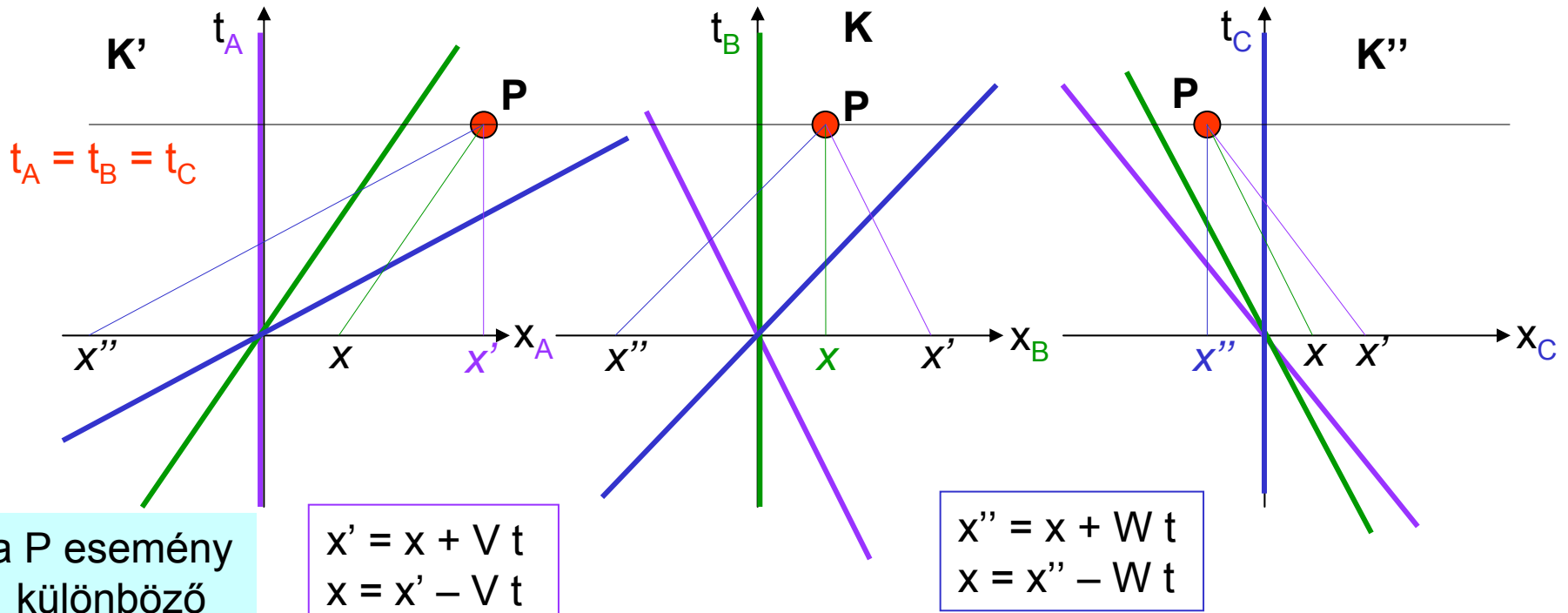
$$U = V + W$$

Sebesség-összeadás



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



a P esemény különböző koordinátái közti kapcsolatok:

$$\begin{aligned} x' &= x + V t \\ x &= x' - V t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x' + U t \\ x' &= x'' - U t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x + W t \\ x &= x'' - W t \end{aligned}$$

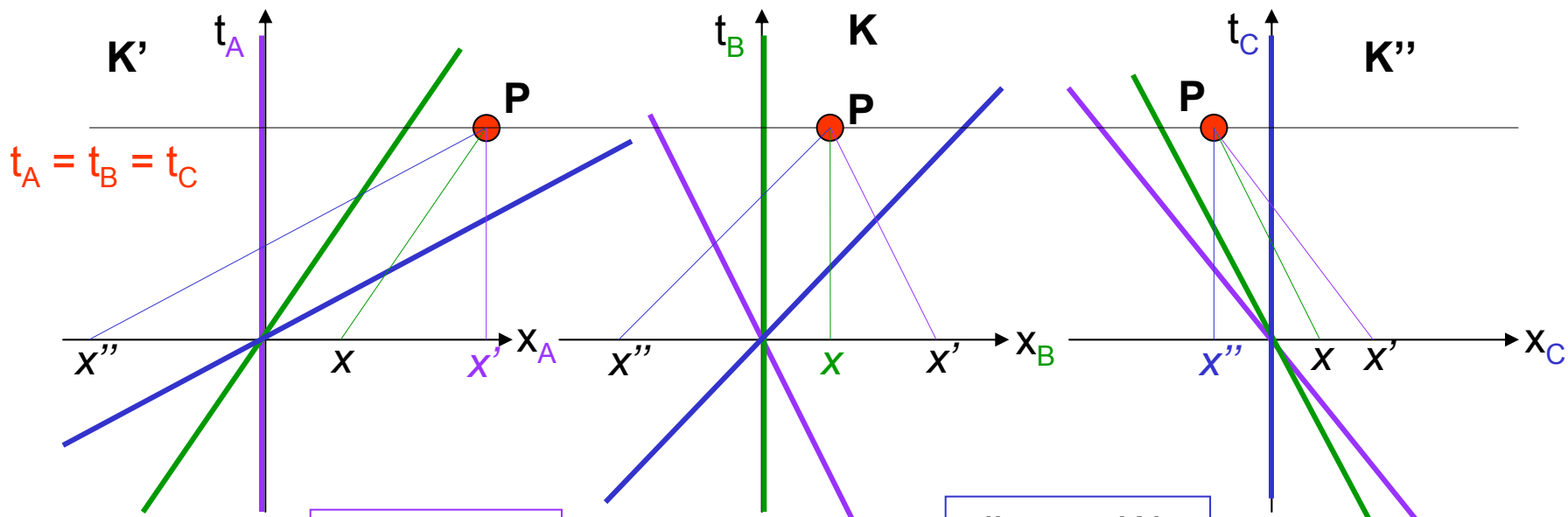
$$U = V + W$$

**Sebesség-összeadás**  
Galilei  
(és a józan ész) szerint



# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



a P esemény különböző koordinátái közti kapcsolatok:

$$\begin{aligned} x' &= x + V t \\ x &= x' - V t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x' + U t \\ x' &= x'' - U t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x + W t \\ x &= x'' - W t \end{aligned}$$

$$U = V + W$$

$$t_A = t_B = t_C$$

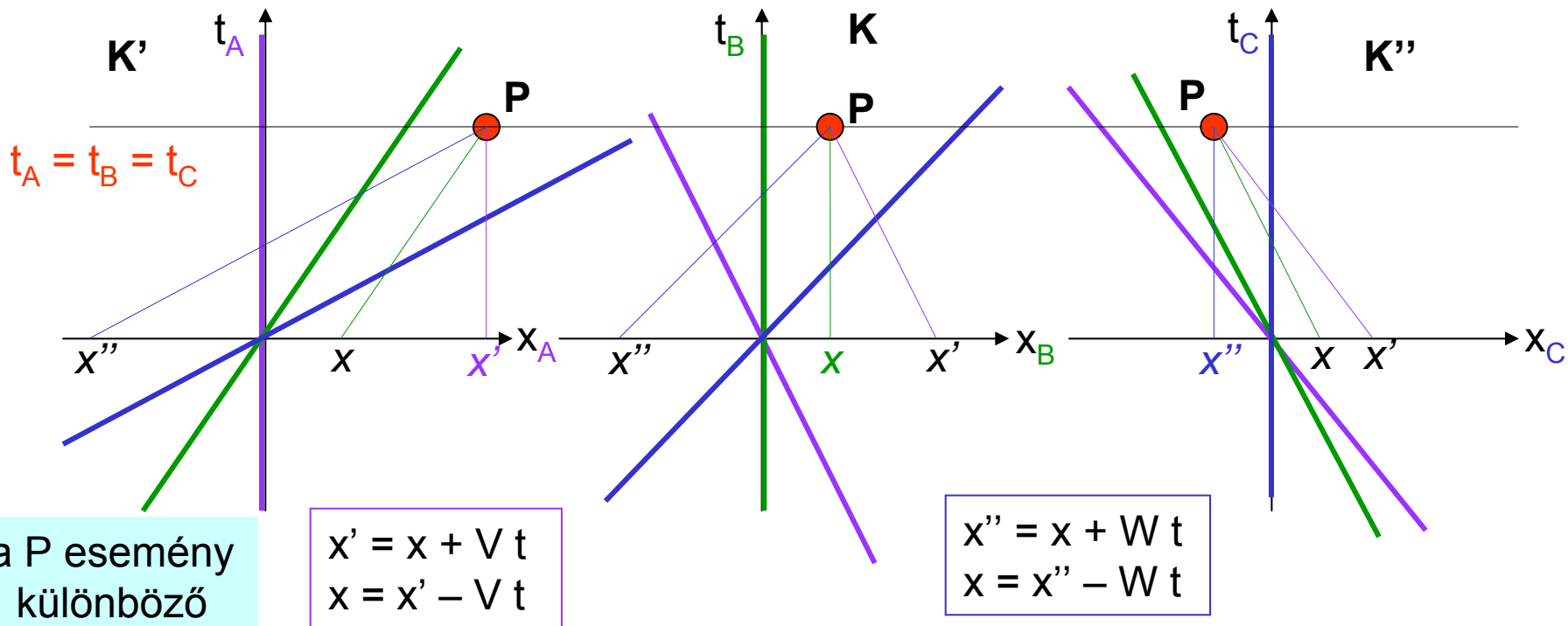
Sebesség-összeadás  
Galilei  
(és a józan ész) szerint





# Események koordinátái

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy az 1, 2 és 3 események egybeesnek. Legyen ez az origó.



a P esemény különböző koordinátái közti kapcsolatok:

$$\begin{aligned} x' &= x + V t \\ x &= x' - V t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x + W t \\ x &= x'' - W t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= x' + U t \\ x' &= x'' - U t \end{aligned}$$

$$U = V + W$$

newtoni abszolút idő

Sebesség-összeadás  
Galilei  
(és a józan ész) szerint

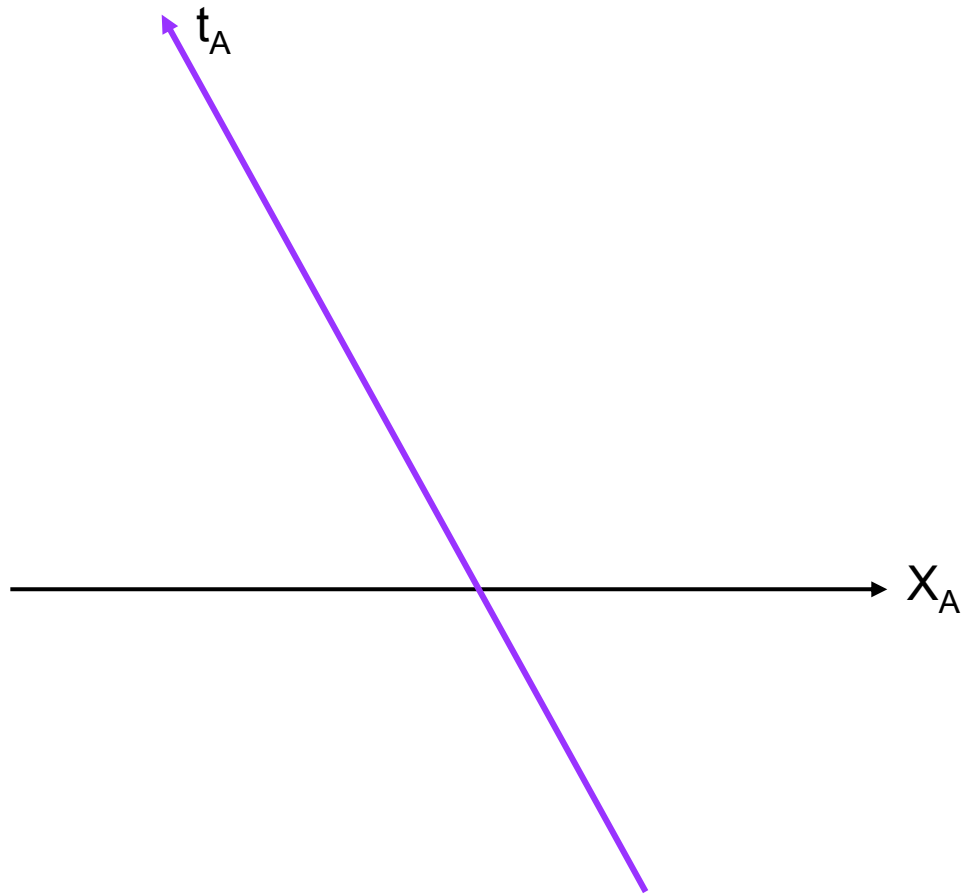
$$t_A = t_B = t_C$$



# Sebességek mérése

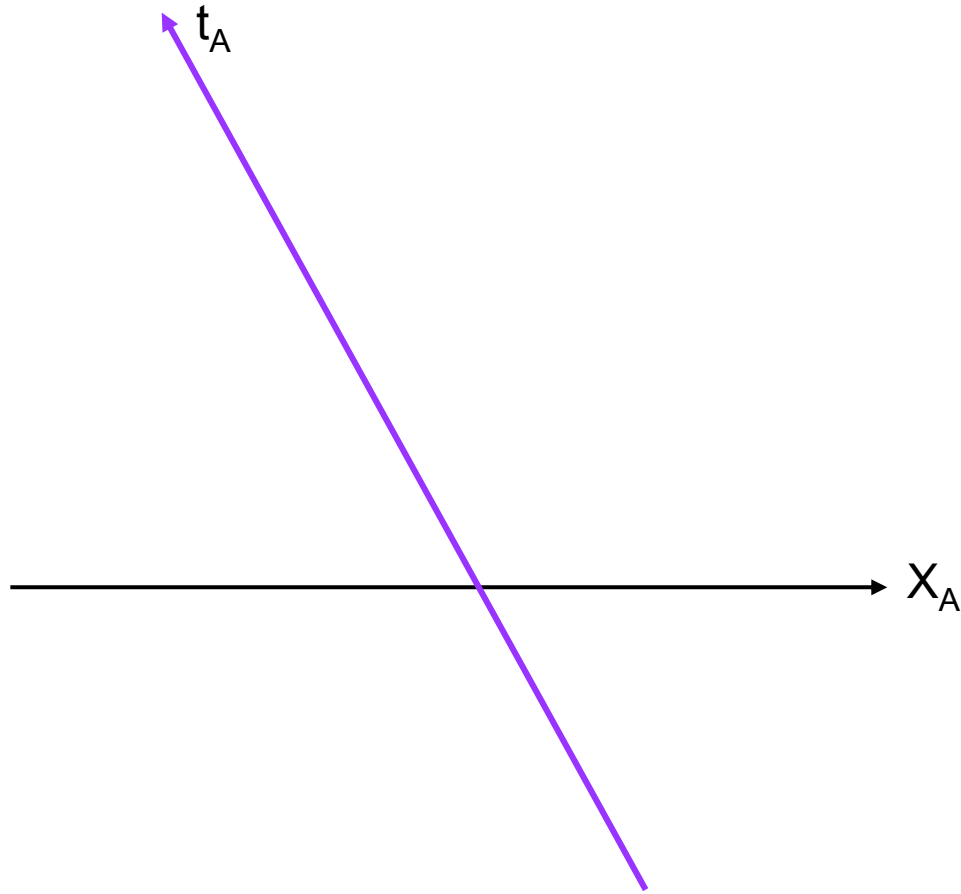


# Sebességek mérése



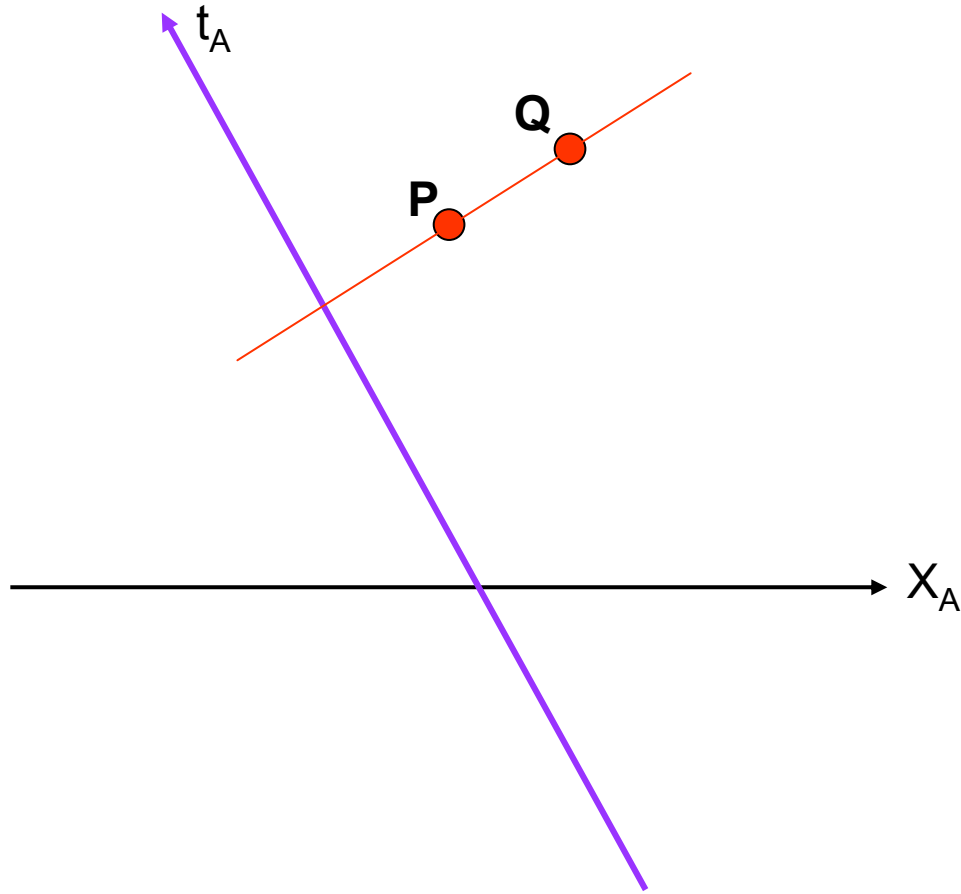
# Sebességek mérése

két esemény közt!



# Sebességek mérése

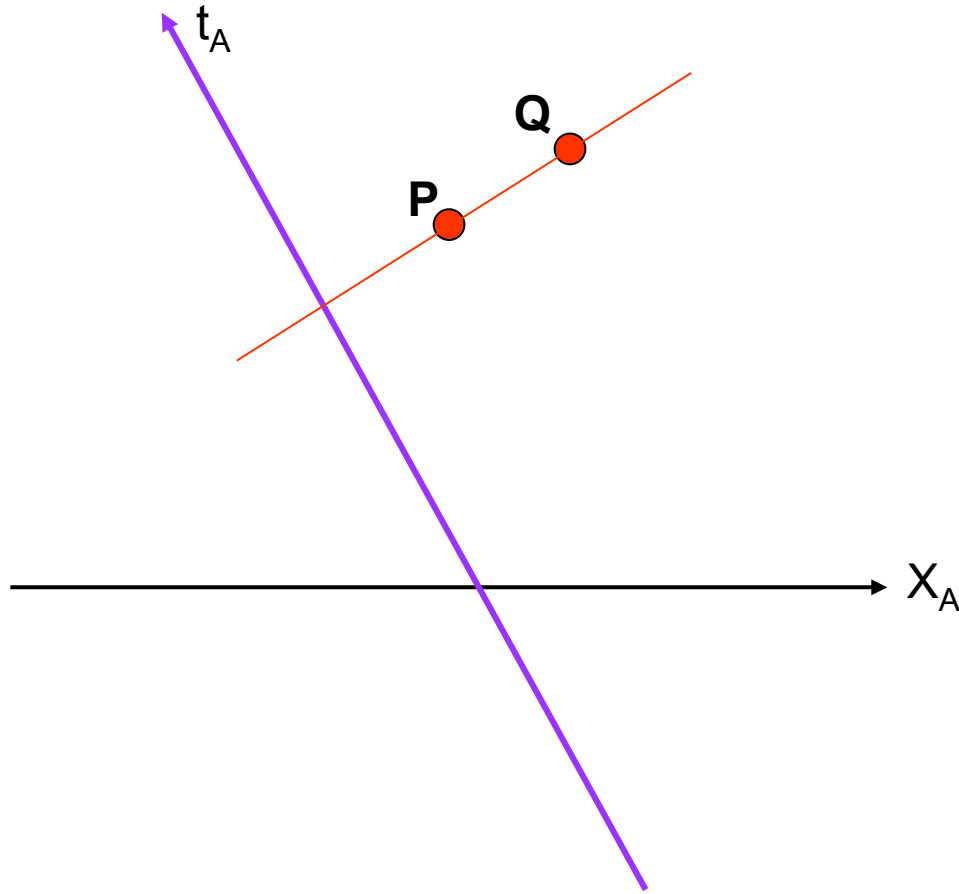
két esemény közt!



# Sebességek mérése

két esemény közt!

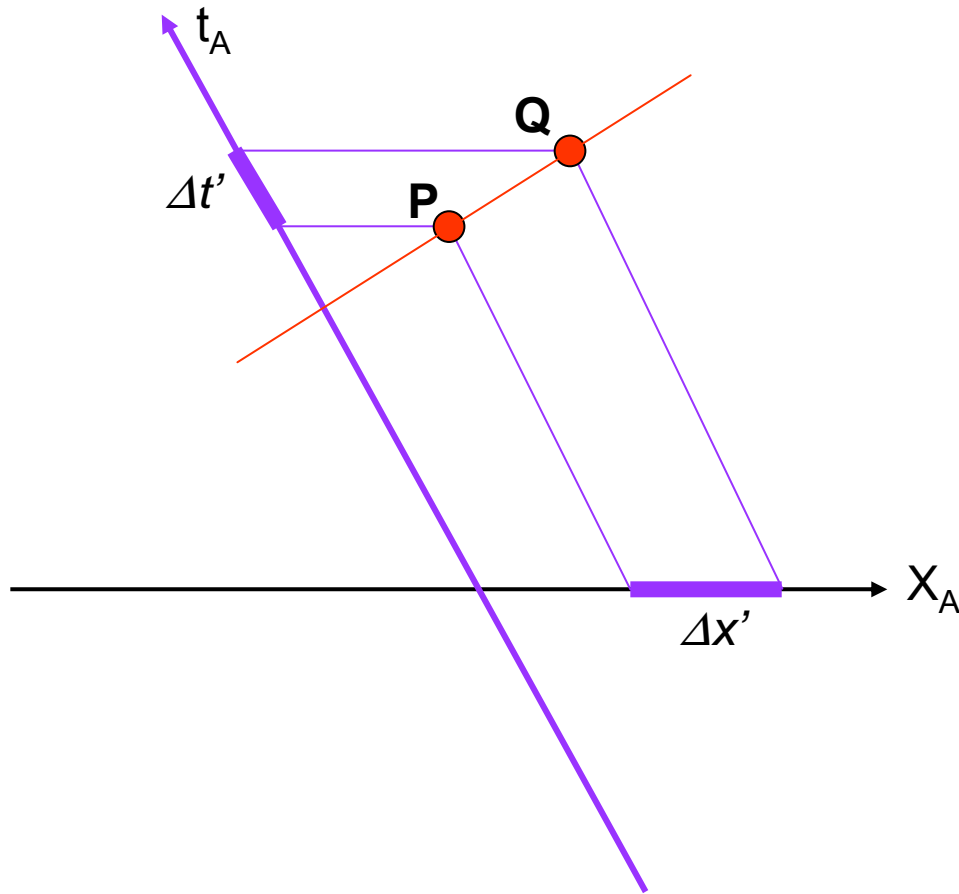
PQ pl egy madár pályája



# Sebességek mérése

két esemény közt!

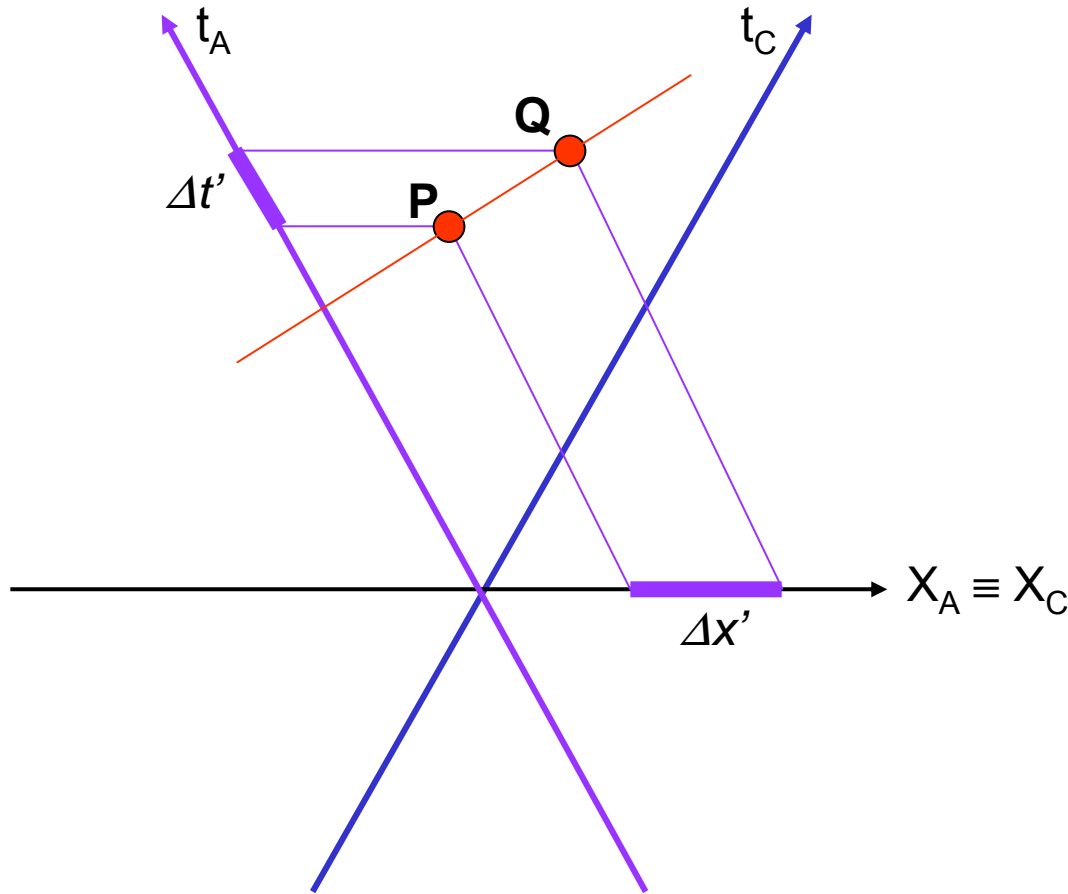
PQ pl egy madár pályája



# Sebességek mérése

két esemény közt!

PQ pl egy madár pályája

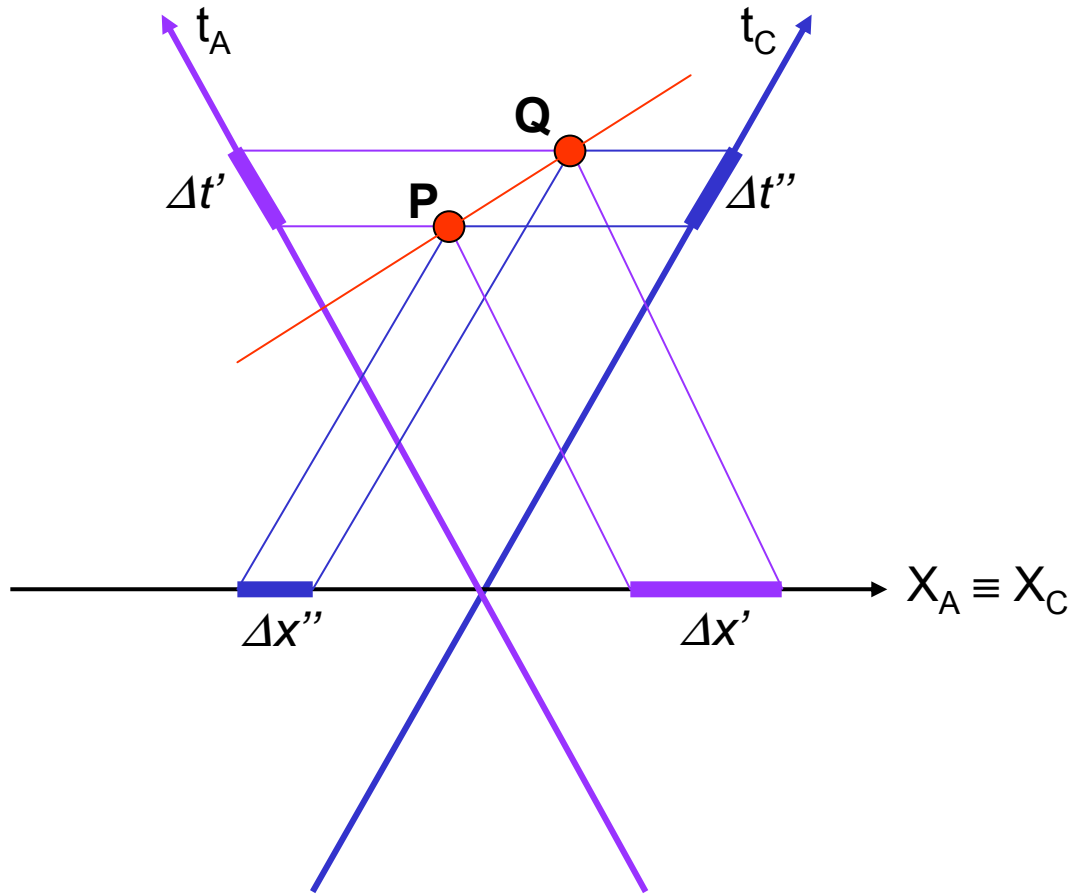




# Sebességek mérése

két esemény közt!

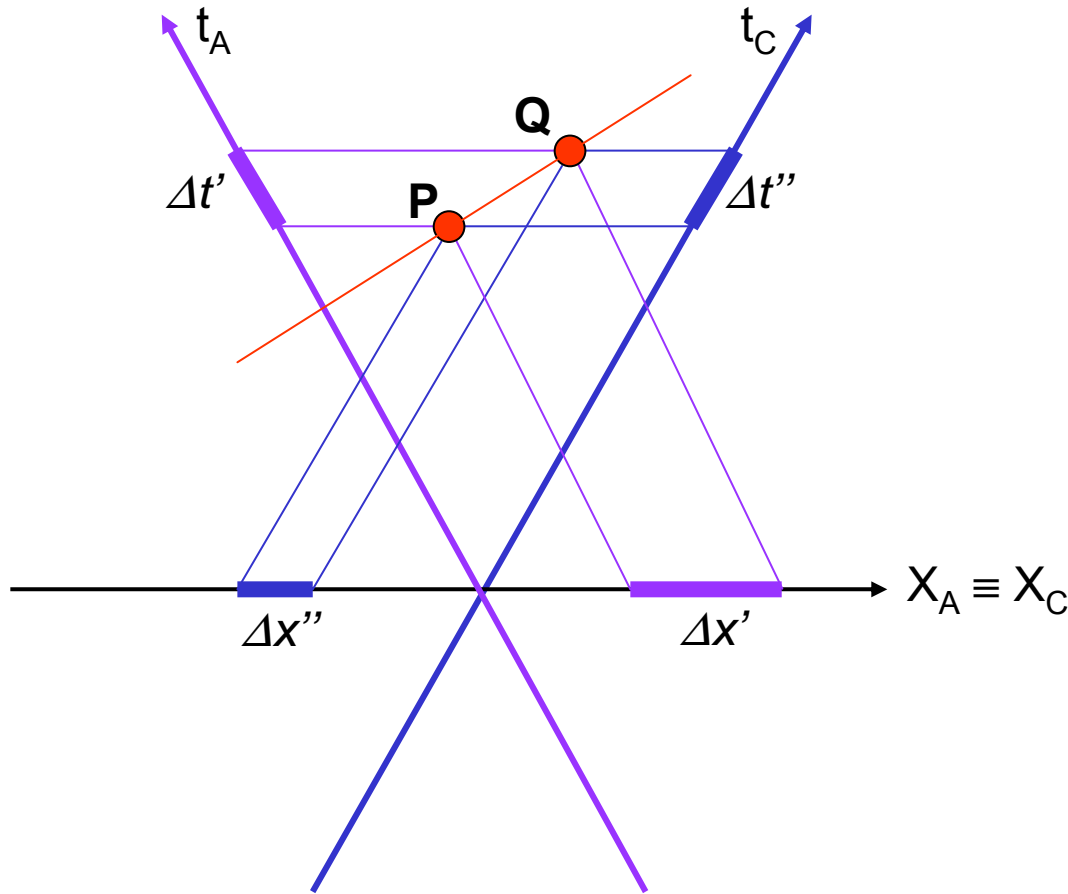
PQ pl egy madár pályája



# Sebességek mérése

két esemény közt!

PQ pl egy madár pályája



$$\Delta t'' = \Delta t'$$

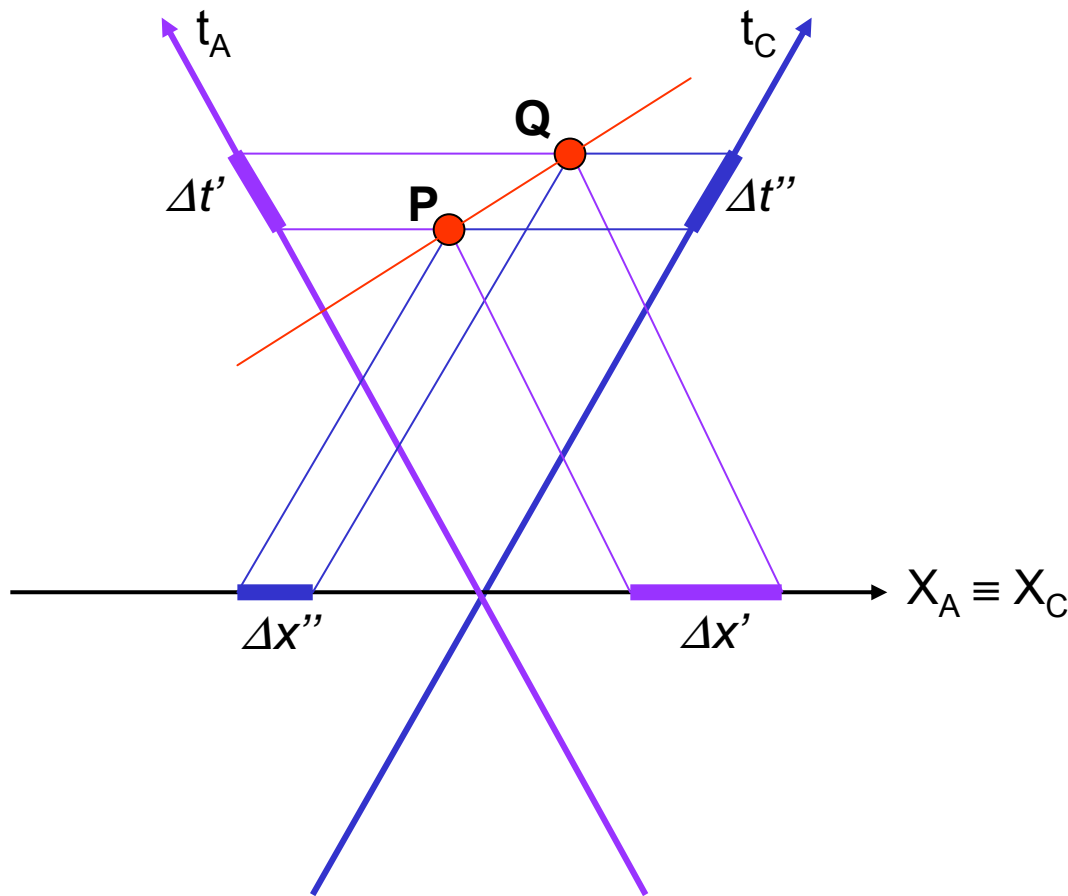
$$\Delta x'' \neq \Delta x'$$



# Sebességek mérése

két esemény közt!

PQ pl egy madár pályája



$$\Delta t'' = \Delta t'$$

$$\Delta x'' \neq \Delta x'$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$



# Sebességek mérése

két esemény közt!

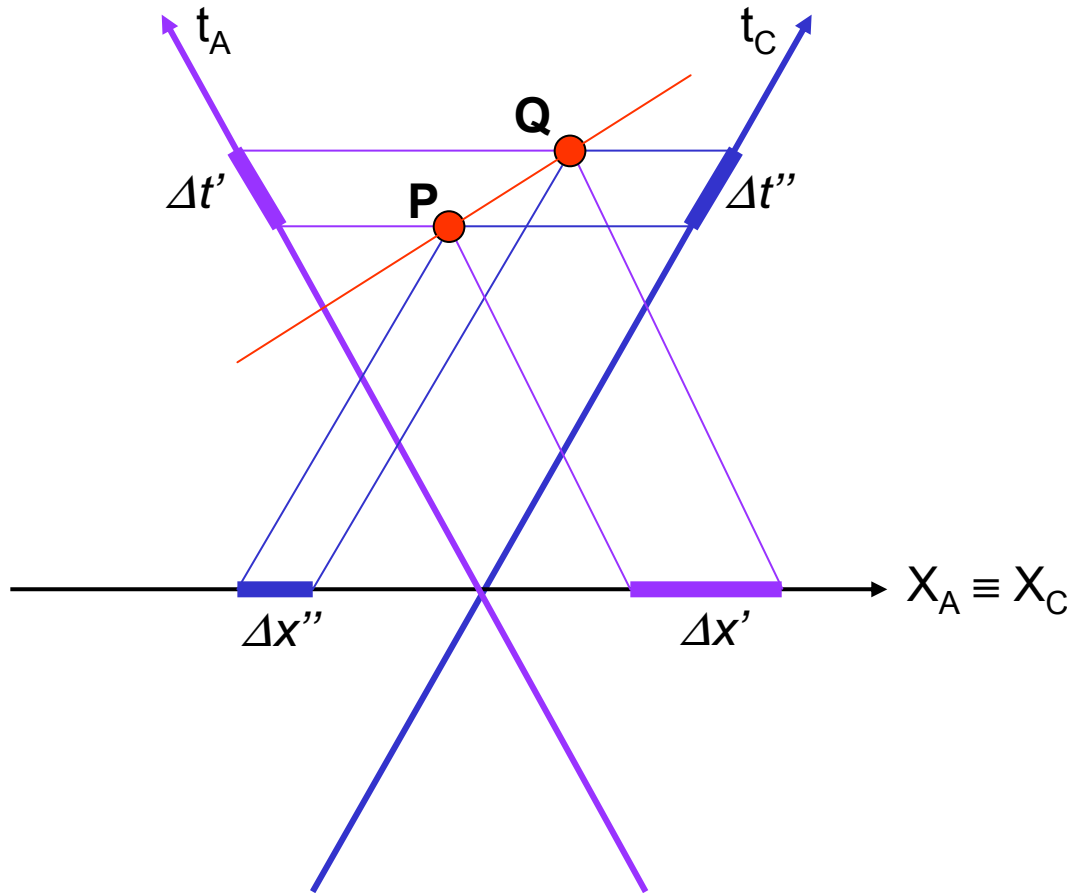
PQ pl egy madár pályája

$$\Delta t'' = \Delta t'$$

$$\Delta x'' \neq \Delta x'$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} \neq \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$

Az **NEM LEHET**, hogy egy objektum két, egymáshoz képest mozgó IR-ben ugyanakkora sebességűnek látsszon!



# Sebességek mérése

két esemény közt!

PQ pl egy madár pályája

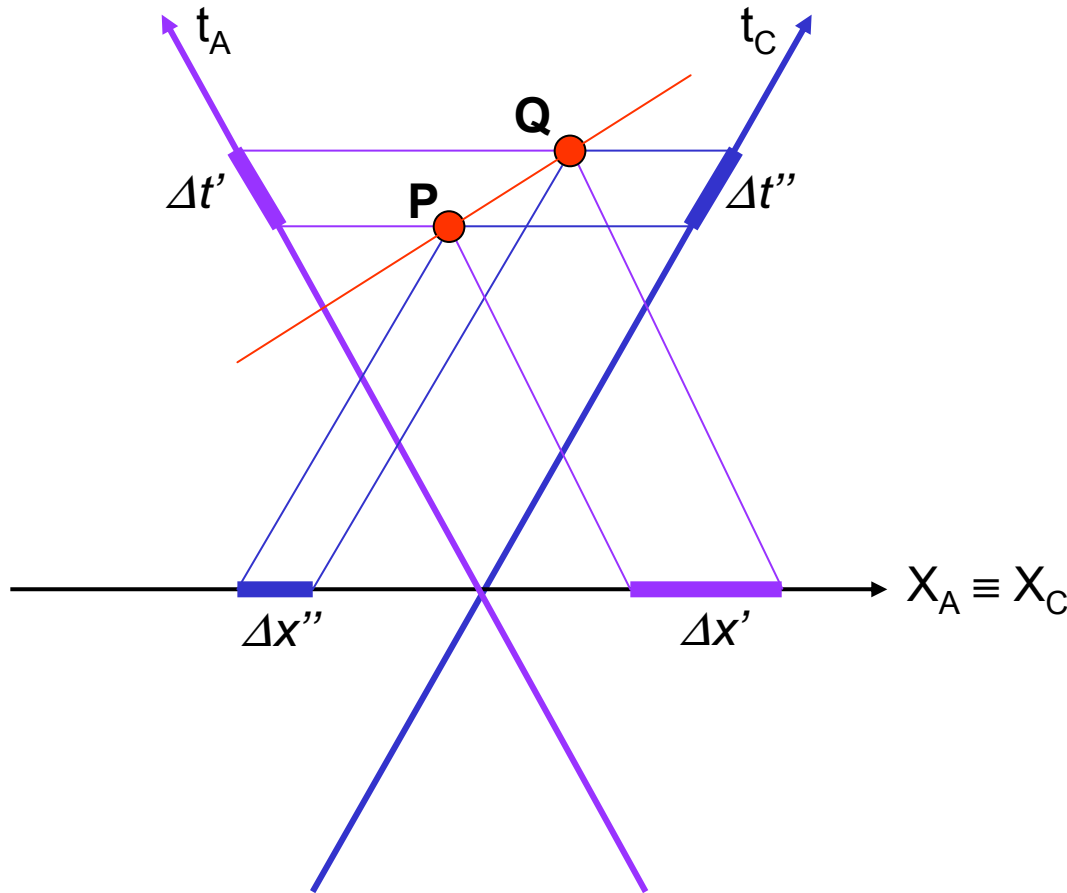
$$\Delta t'' = \Delta t'$$

$$\Delta x'' \neq \Delta x'$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} \neq \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$

Az **NEM LEHET**, hogy egy objektum két, egymáshoz képest mozgó IR-ben ugyanakkora sebességűnek látszon!

Hát még **MINDEN** IR-ben...



# Sebességek mérése

két esemény közt!

PQ pl egy madár pályája

$$\Delta t'' = \Delta t'$$

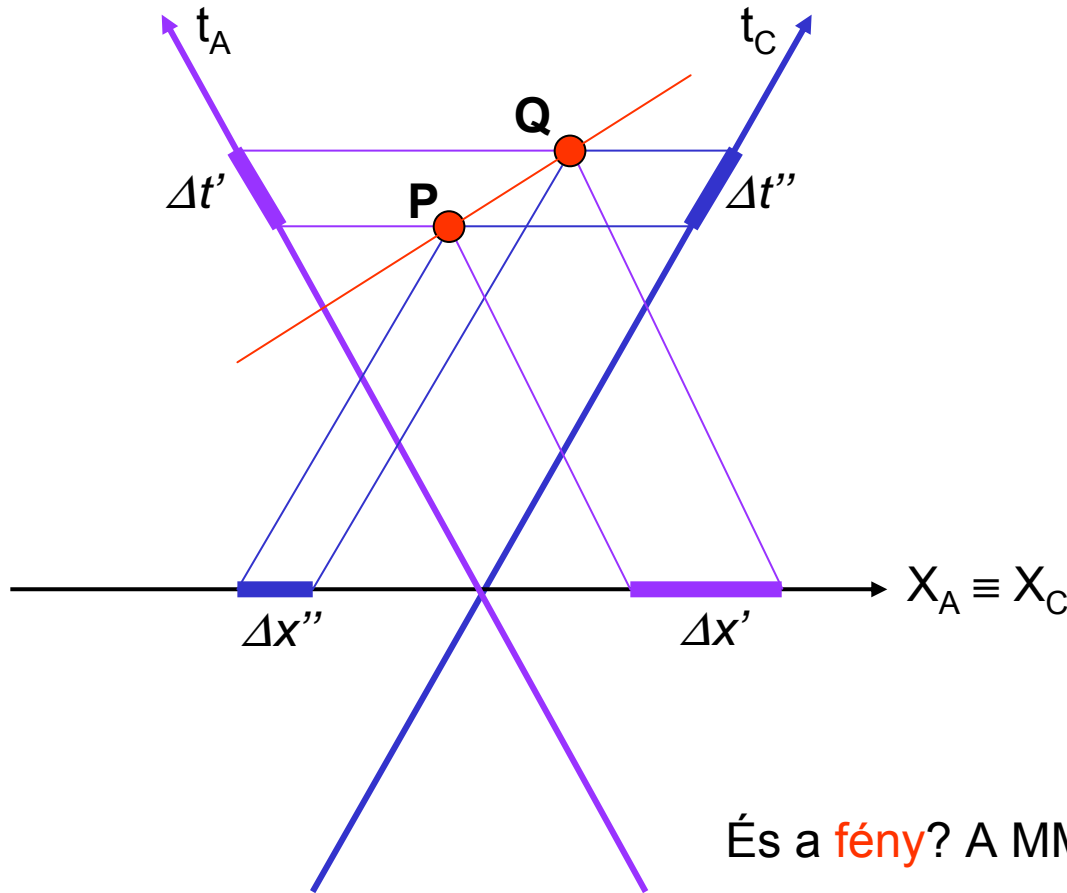
$$\Delta x'' \neq \Delta x'$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} \neq \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$

Az **NEM LEHET**, hogy egy objektum két, egymáshoz képest mozgó IR-ben ugyanakkora sebességűnek látsszon!

Hát még **MINDEN** IR-ben...

És a **fény**? A MM-kísérlet szerint ezt teszi...



# Einstein zseniális trükkje

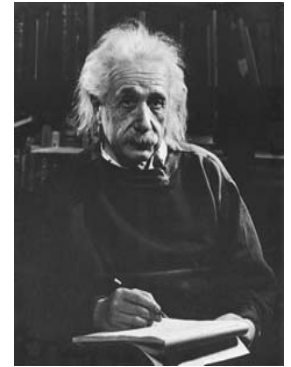


# Einstein zseniális trükkje (1905)



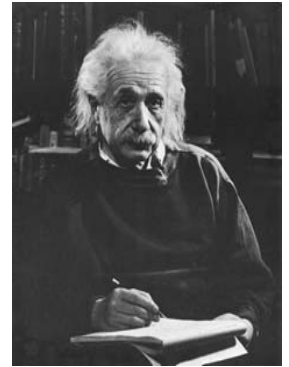


# Einstein zseniális trükkje (1905)



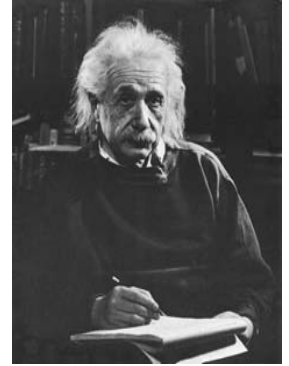
# Einstein zseniális trükkje (1905)

Albert Einstein  
(1879-1955)



# Einstein zseniális trükkje (1905)

Albert Einstein  
(1879-1955)

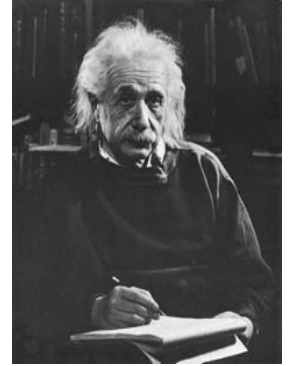


Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?



# Einstein zseniális trükkje (1905)

Albert Einstein  
(1879-1955)



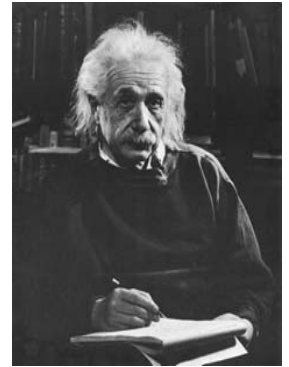
Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben **c = 1**,



# Einstein zseniális trükkje (1905)

Albert Einstein  
(1879-1955)



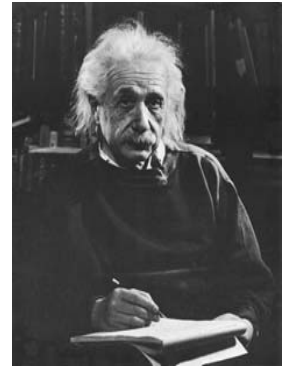
Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ ,  
pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)



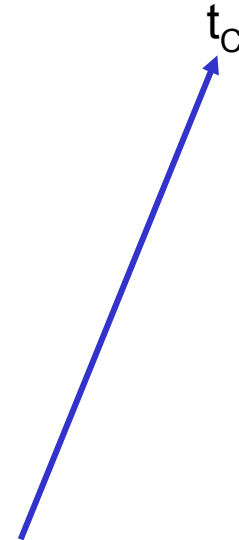
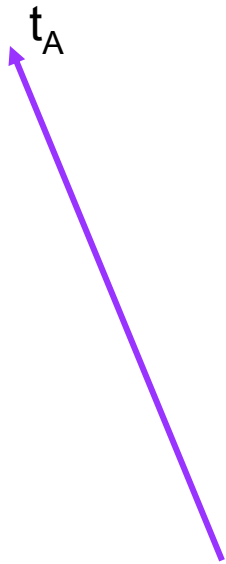
# Einstein zseniális trükkje (1905)

Albert Einstein  
(1879-1955)



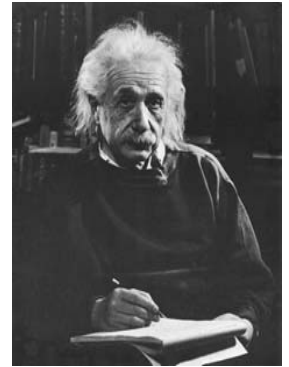
Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)



# Einstein zseniális trükkje (1905)

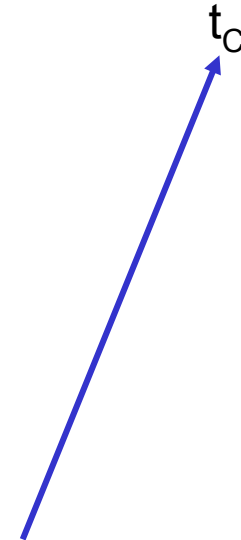
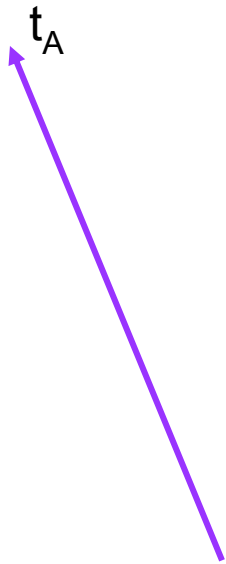
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

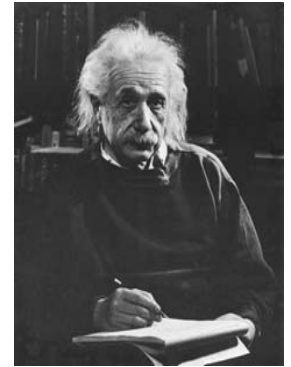
(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!



# Einstein zseniális trükkje (1905)

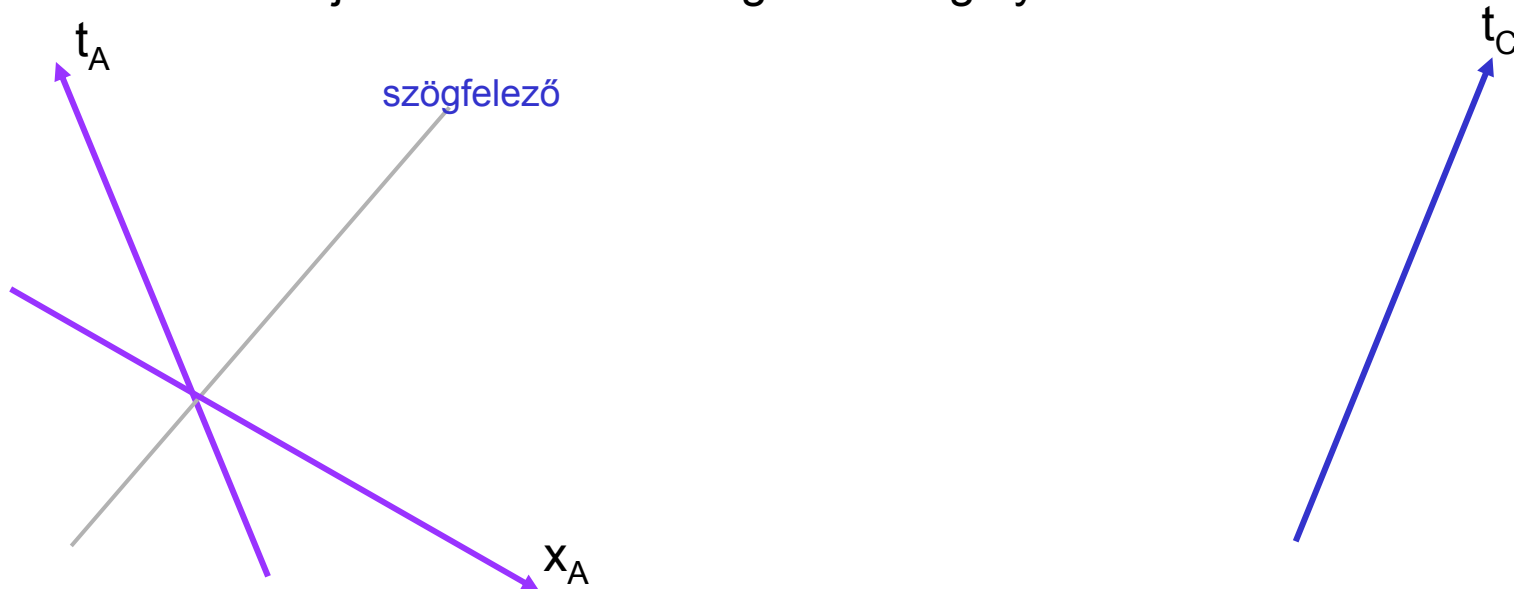
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

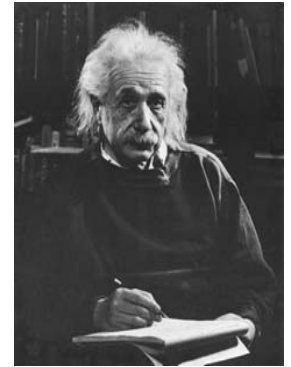
Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!





# Einstein zseniális trükkje (1905)

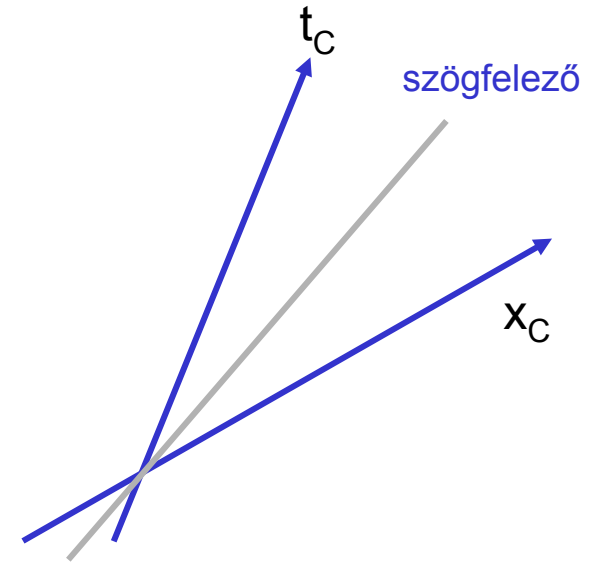
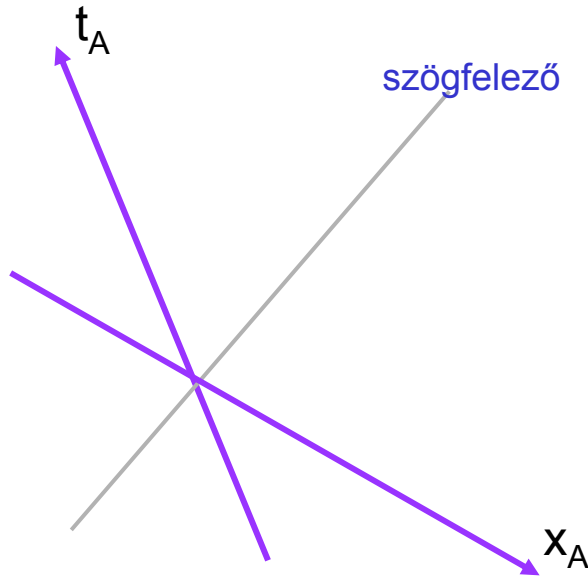
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

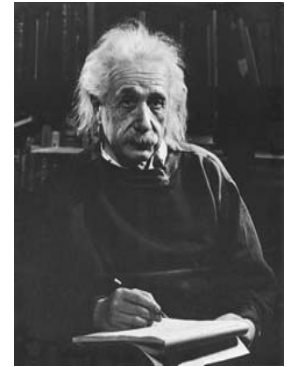
(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!



# Einstein zseniális trükkje (1905)

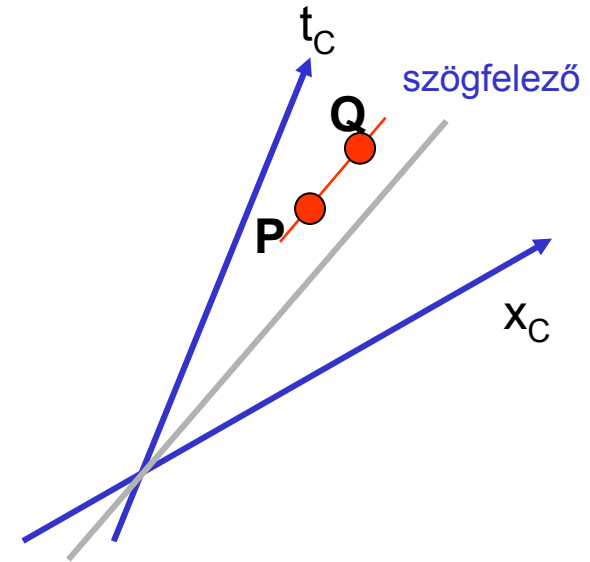
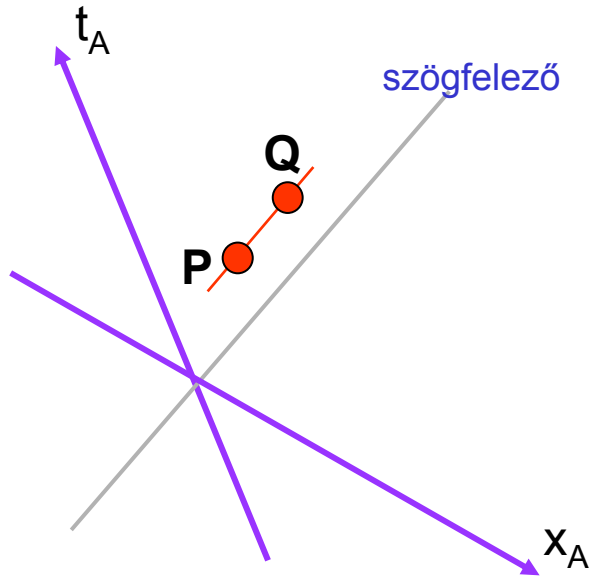
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

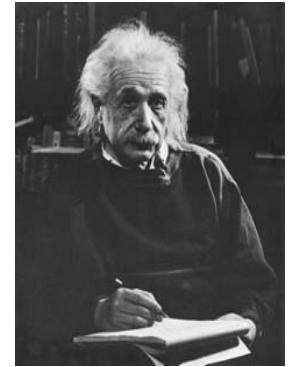
(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!



# Einstein zseniális trükkje (1905)

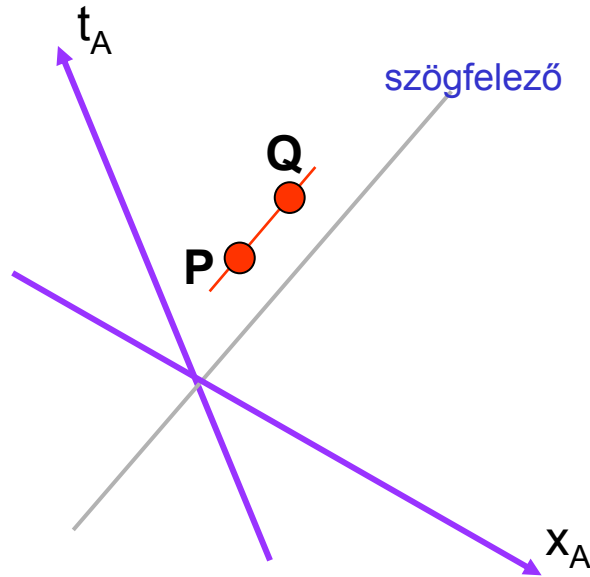
Albert Einstein  
(1879-1955)



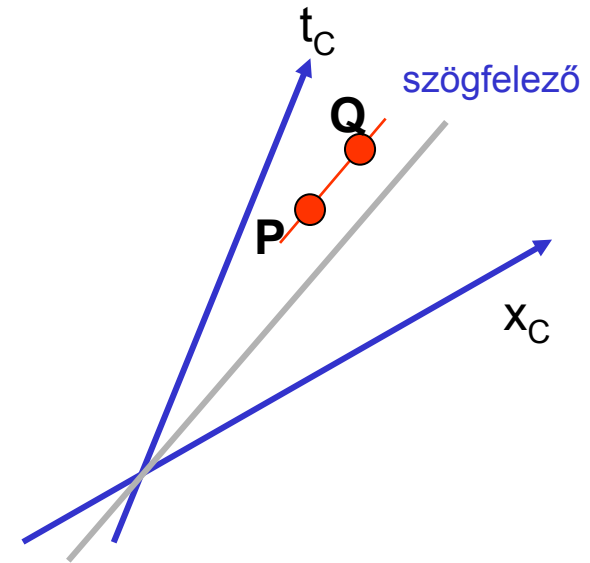
Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

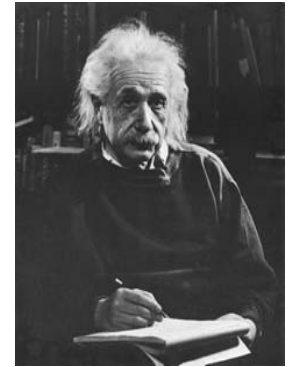


PQ a fény pályája



# Einstein zseniális trükkje (1905)

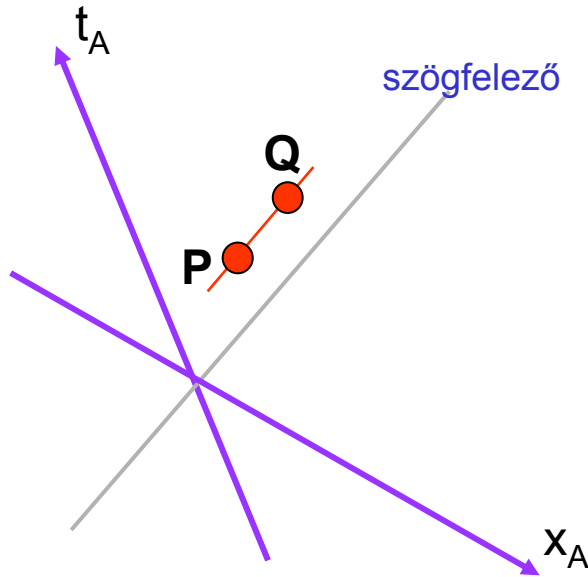
Albert Einstein  
(1879-1955)



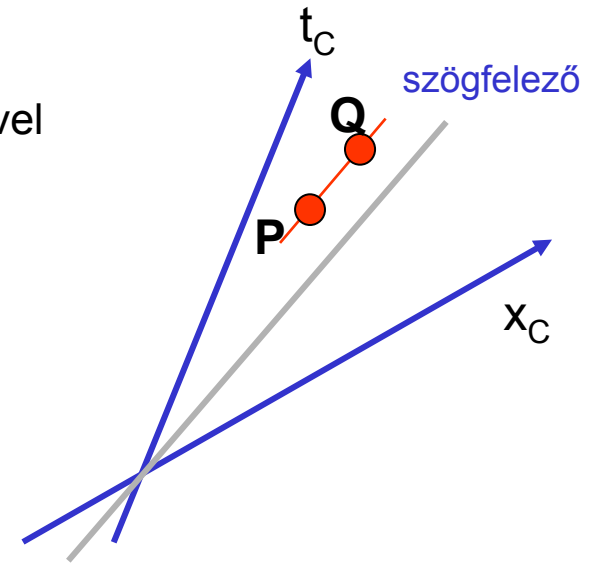
Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

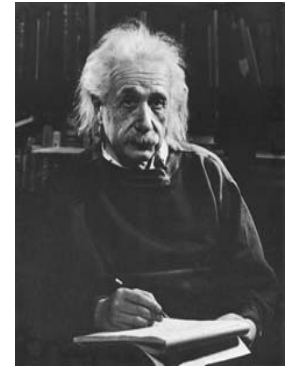


PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel



# Einstein zseniális trükkje (1905)

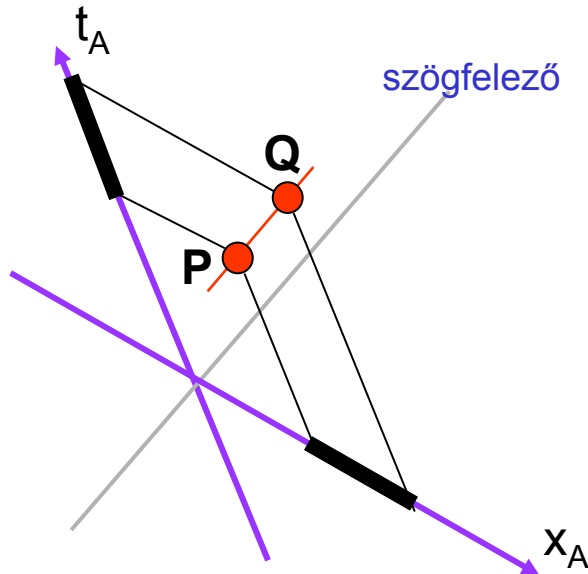
Albert Einstein  
(1879-1955)



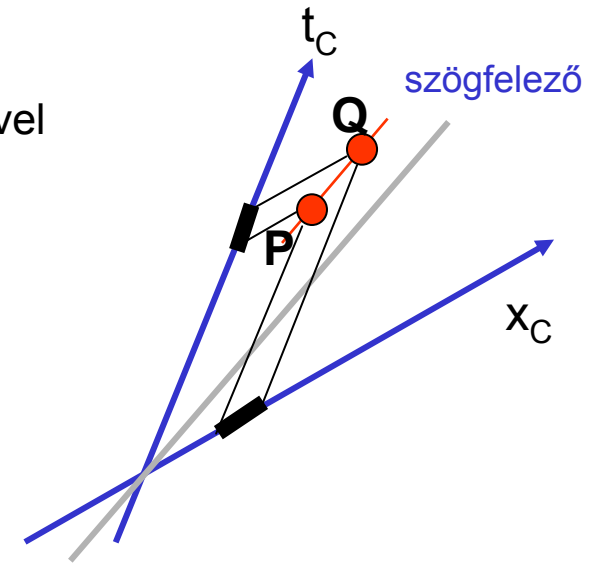
Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

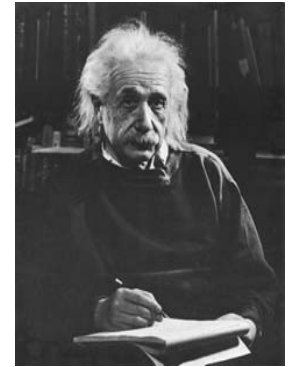


**PQ** a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel



# Einstein zseniális trükkje (1905)

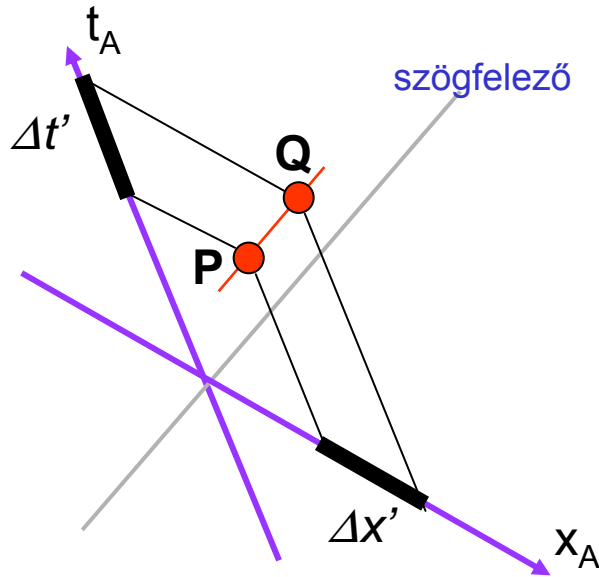
Albert Einstein  
(1879-1955)



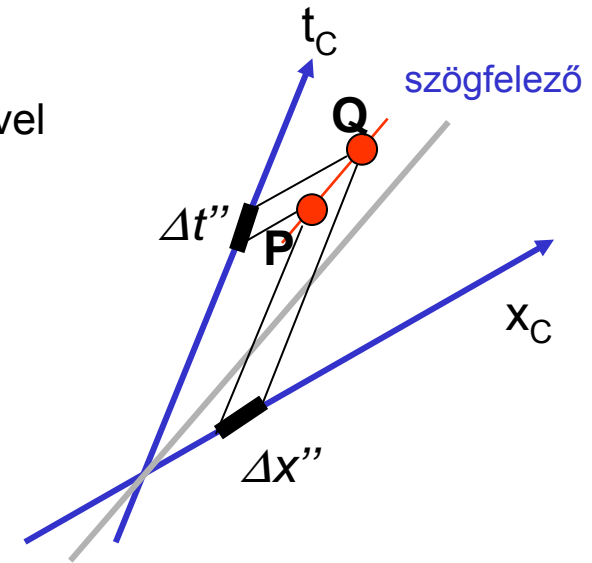
Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

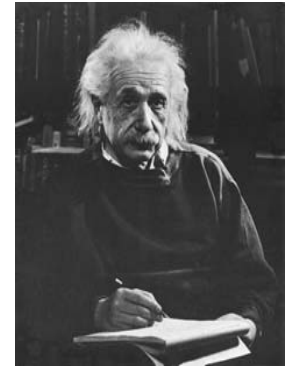


PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel



# Einstein zseniális trükkje (1905)

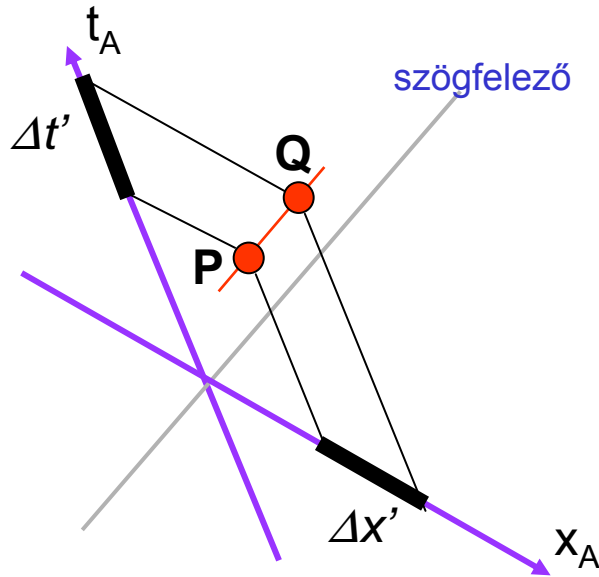
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

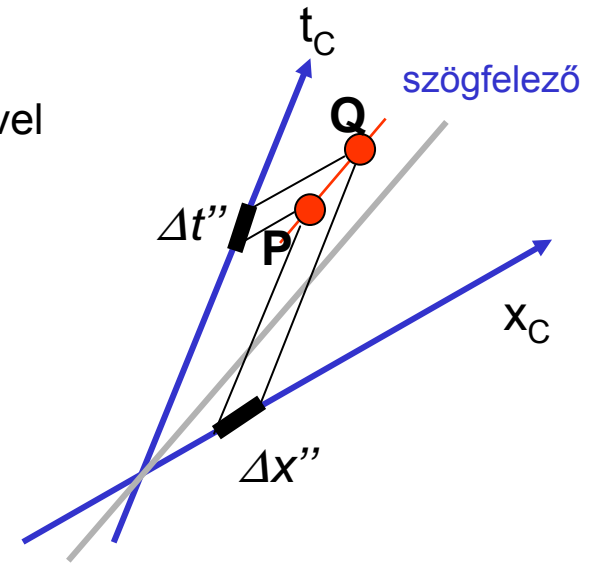
(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!



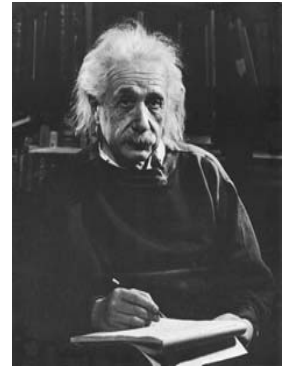
PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\Delta x'' \neq \Delta x' \quad \Delta t'' \neq \Delta t'$$



# Einstein zseniális trükkje (1905)

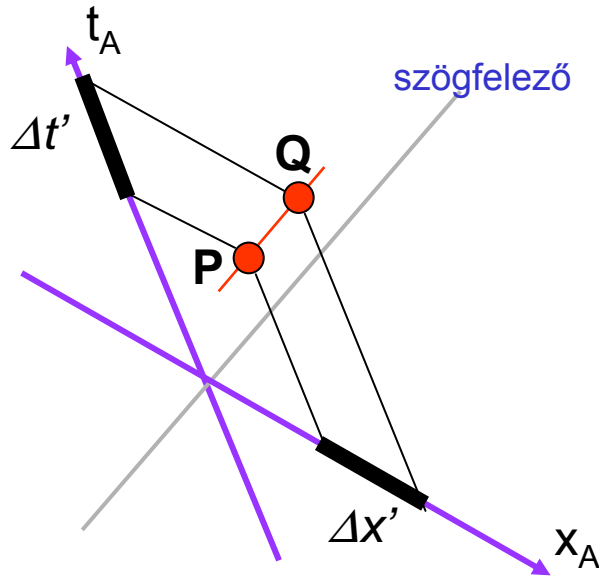
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

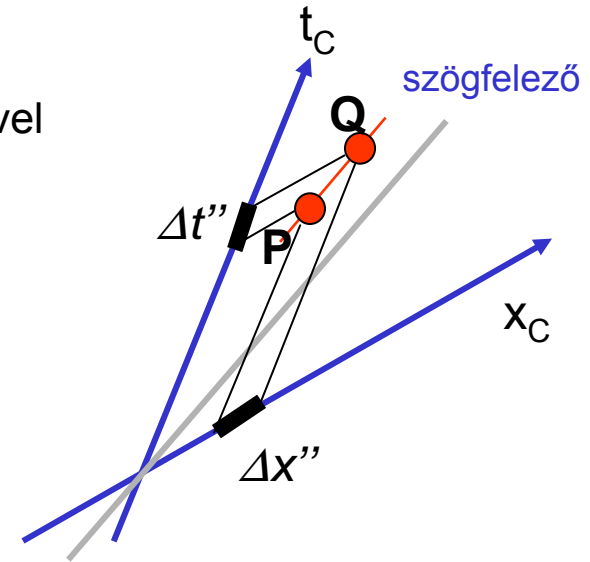
Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!



PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\Delta x'' \neq \Delta x' \quad \Delta t'' \neq \Delta t'$$

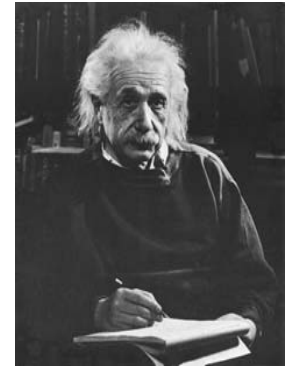
$$\Delta x' = \Delta t'$$





# Einstein zseniális trükkje (1905)

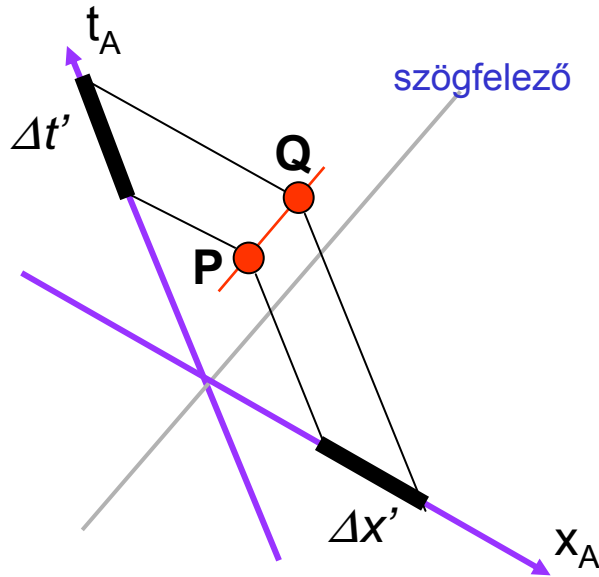
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

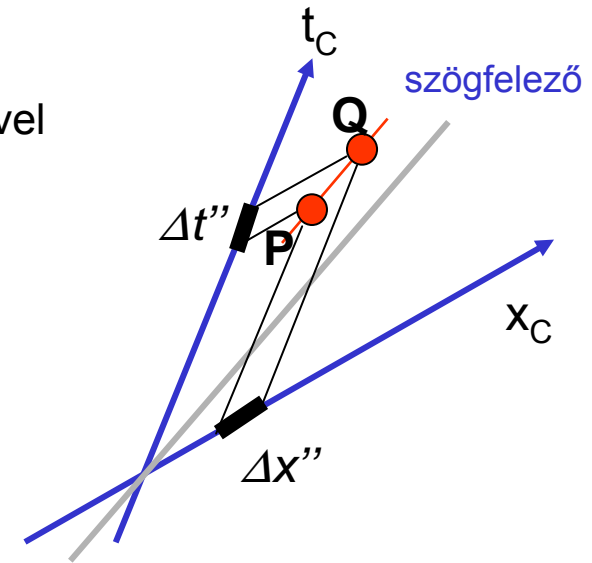
(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben **c = 1**, pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!



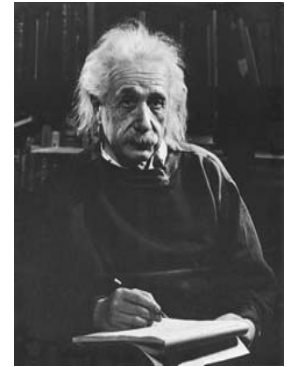
PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\begin{aligned} \Delta x'' &\neq \Delta x' & \Delta t'' &\neq \Delta t' \\ \Delta x' &= \Delta t' & \Delta x'' &= \Delta t'' \end{aligned}$$



# Einstein zseniális trükkje (1905)

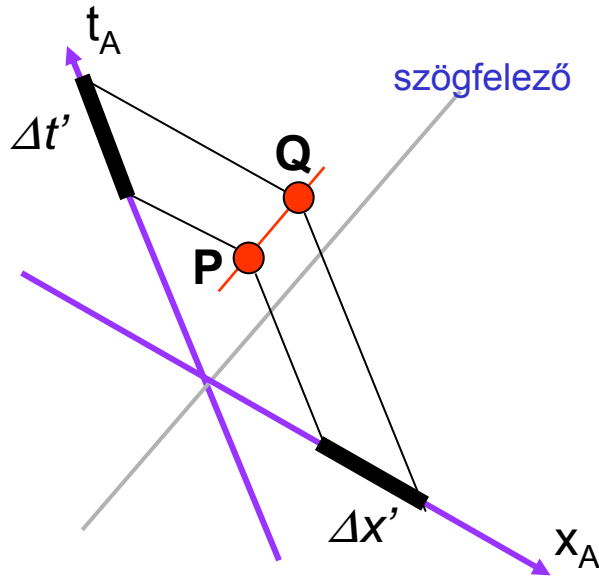
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben **c = 1**, pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

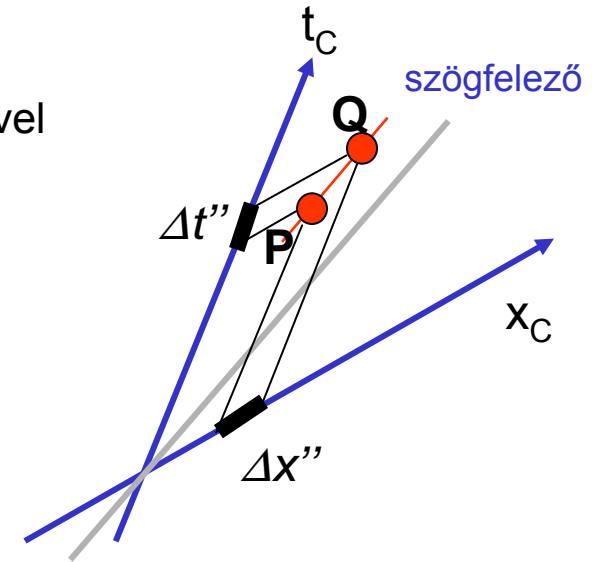


PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\Delta x'' \neq \Delta x' \quad \Delta t'' \neq \Delta t'$$

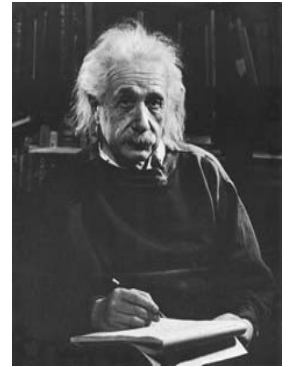
$$\Delta x' = \Delta t' \quad \Delta x'' = \Delta t''$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} = 1 = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$



# Einstein zseniális trükkje (1905)

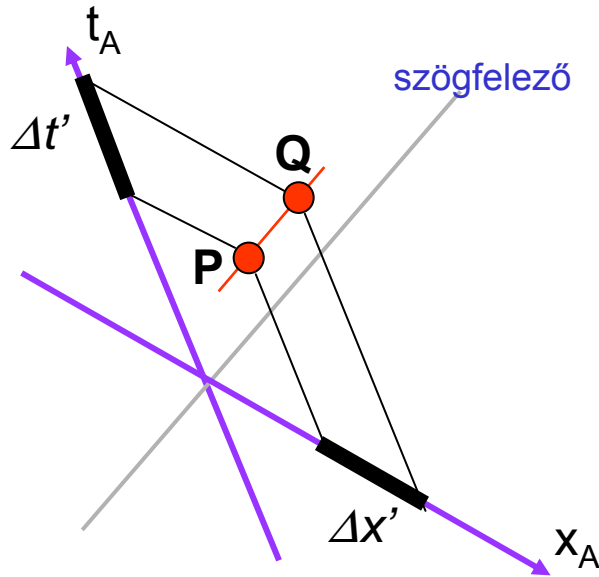
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

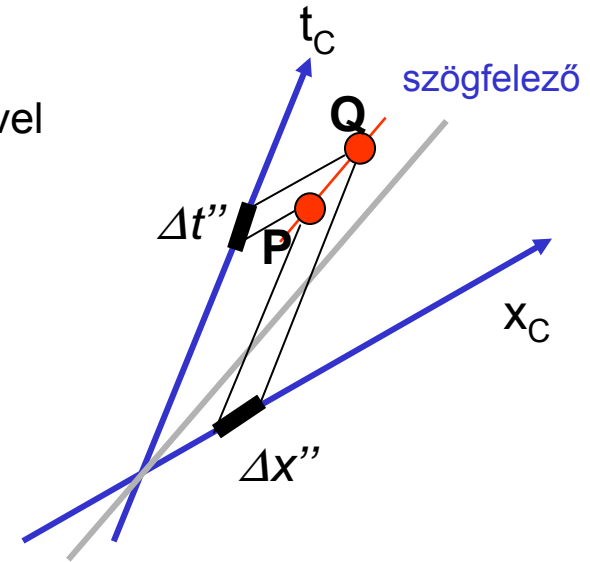


PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\Delta x'' \neq \Delta x' \quad \Delta t'' \neq \Delta t'$$

$$\Delta x' = \Delta t' \quad \Delta x'' = \Delta t''$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} = 1 = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$

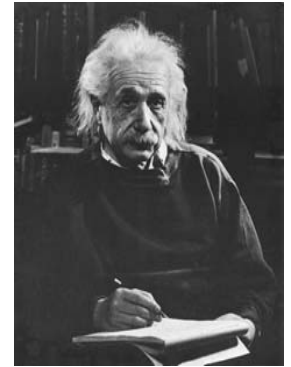


**A PQ mozgás sebessége mindkét IR-ben  $1 = c$  !**



# Einstein zseniális trükkje (1905)

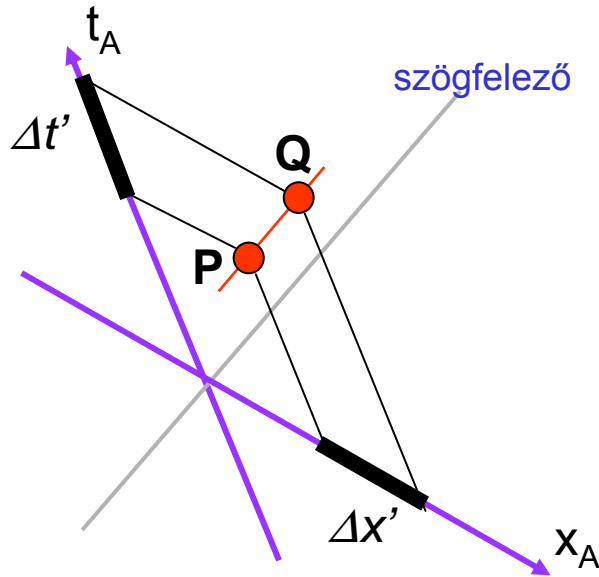
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

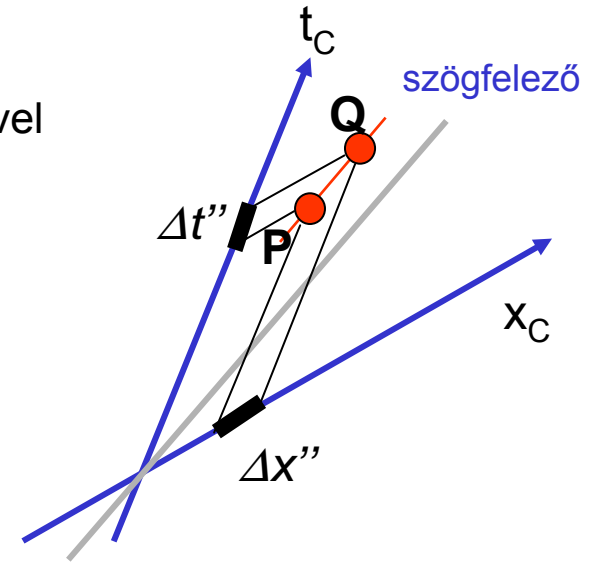


PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\Delta x'' \neq \Delta x' \quad \Delta t'' \neq \Delta t'$$

$$\Delta x' = \Delta t' \quad \Delta x'' = \Delta t''$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} = 1 = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$



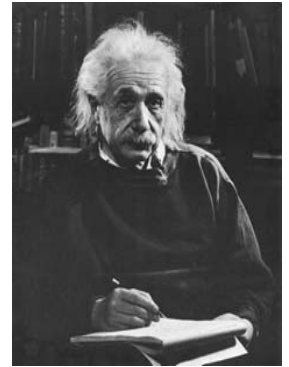
**A PQ mozgás sebessége mindkét IR-ben  $1 = c$  !**

Ennek ára:



# Einstein zseniális trükkje (1905)

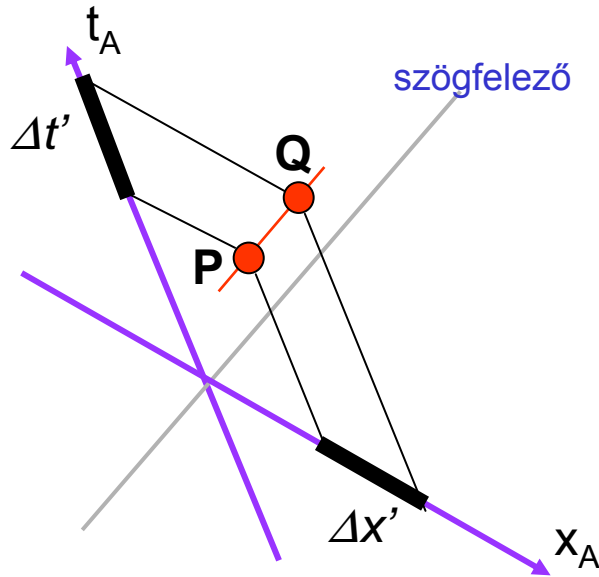
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

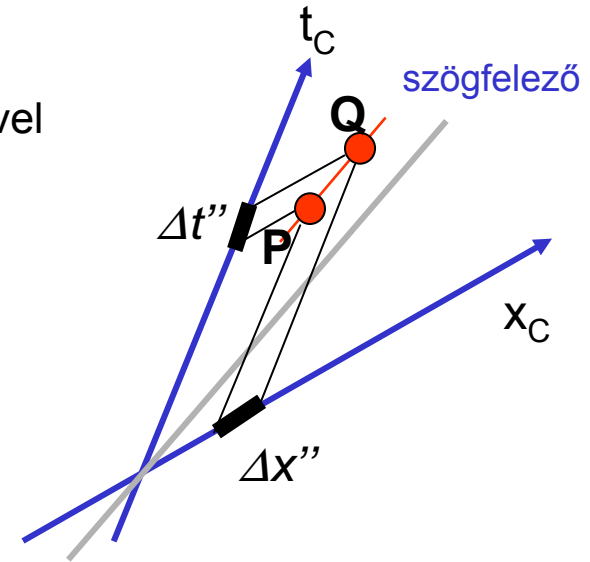


PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\Delta x'' \neq \Delta x' \quad \Delta t'' \neq \Delta t'$$

$$\Delta x' = \Delta t' \quad \Delta x'' = \Delta t''$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} = 1 = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$



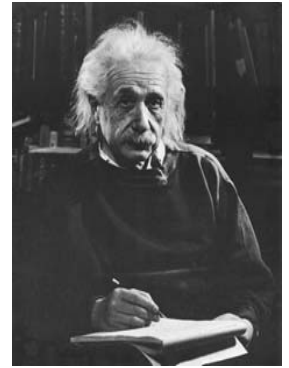
**A PQ mozgás sebessége mindkét IR-ben  $1 = c$  !**

Ennek ára:  ~~$\Delta t'' = \Delta t'$~~



# Einstein zseniális trükkje (1905)

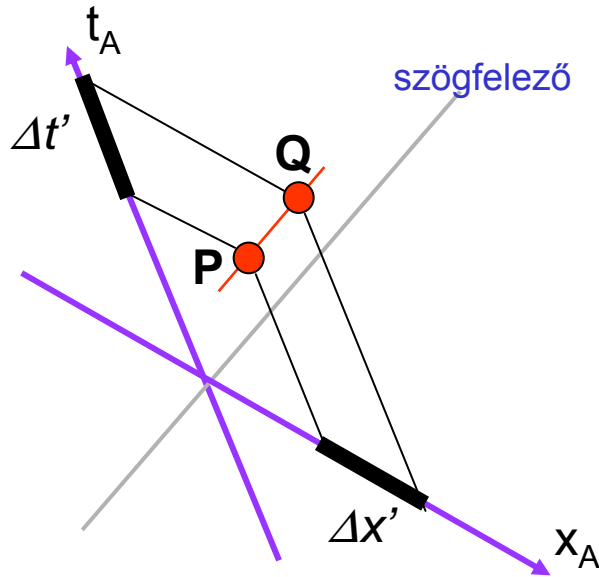
Albert Einstein  
(1879-1955)



Hogy tudnánk lerajzolni azt a tapasztalatot, hogy valami **MINDEN IR-hez képest** ugyanazzal a **c** sebességgel halad?

(Mostantól olyan egységrendszerben dolgozunk, amelyben  $c = 1$ , pl. az időt évben, a távolságot fényévben mérjük.)

Einstein trükkje: változtassuk meg az x tengelyt is!

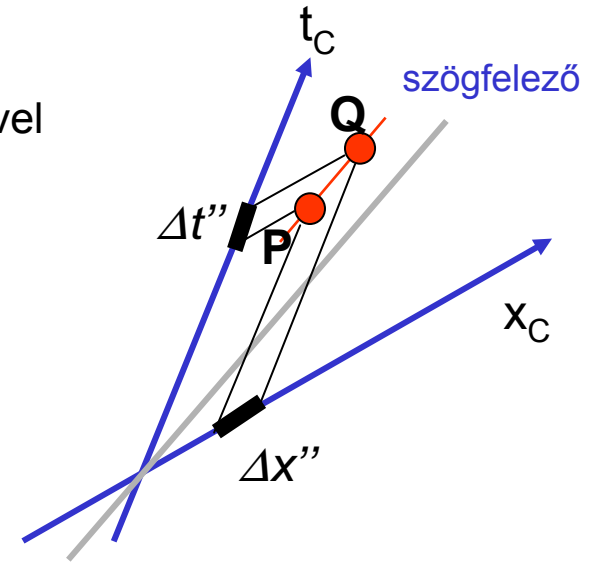


PQ a fény pályája  
párhuzamos a szögfelezővel

$$\cancel{\Delta x''} \neq \Delta x' \quad \cancel{\Delta t''} \neq \Delta t'$$

$$\Delta x' = \Delta t' \quad \Delta x'' = \Delta t''$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta t''} = 1 = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = V'$$



**A PQ mozgás sebessége mindkét IR-ben  $1 = c$  !**

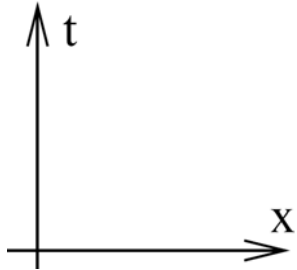
Ennek ára:  $\cancel{\Delta t''} \neq \Delta t'$  - megszűnt a newtoni abszolút idő!!!



# Koordináta-tengelyek

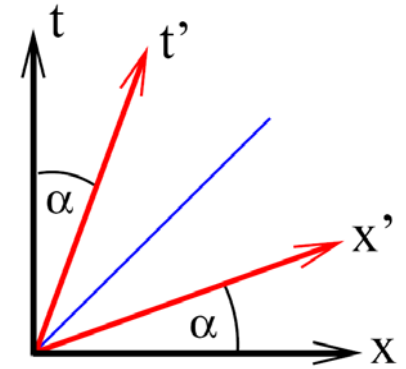
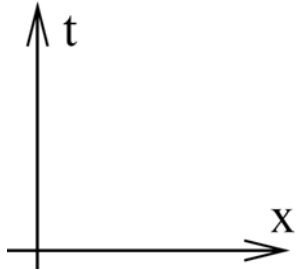


# Koordináta-tengelyek

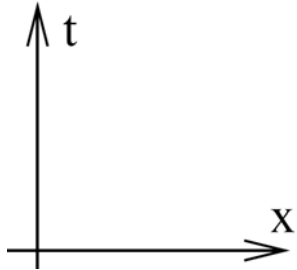




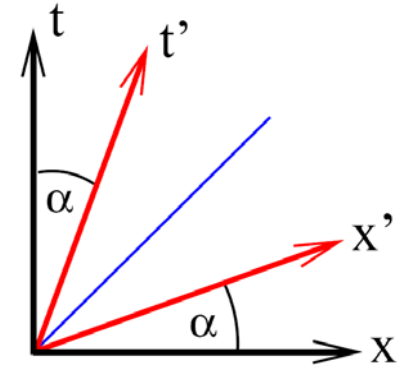
# Koordináta-tengelyek



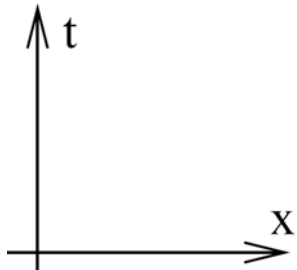
# Koordináta-tengelyek



$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

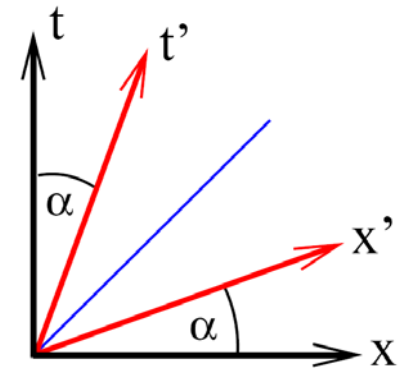


# Koordináta-tengelyek

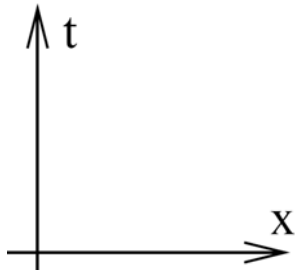


$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye

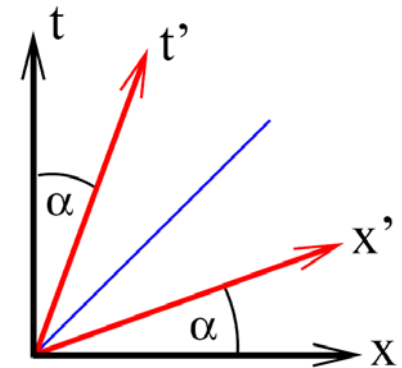


# Koordináta-tengelyek



$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

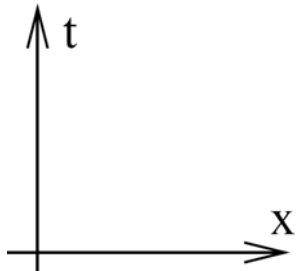
$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye



**A szögfelező közös!**

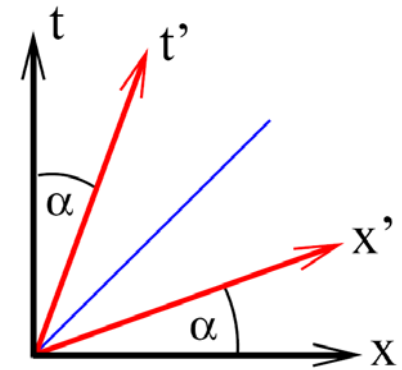


# Koordináta-tengelyek



$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye

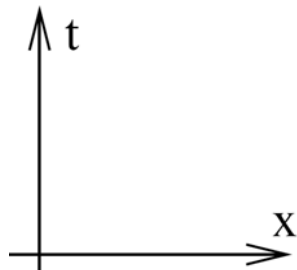


**A szögfelező közös!**

Az  $\alpha$  szög csak az ábrán létezik!

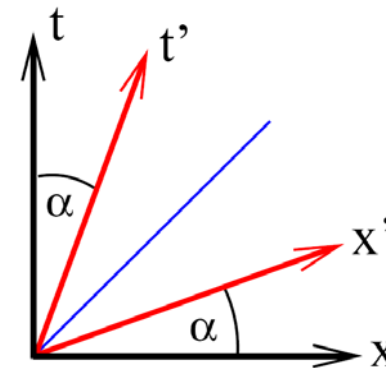


# Koordináta-tengelyek



$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye



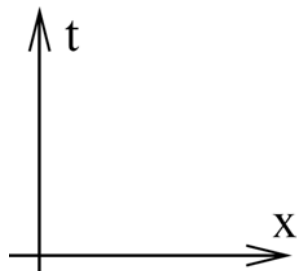
K' rendszerből nézve:

**A szögfelező közös!**

Az  $\alpha$  szög csak az ábrán létezik!

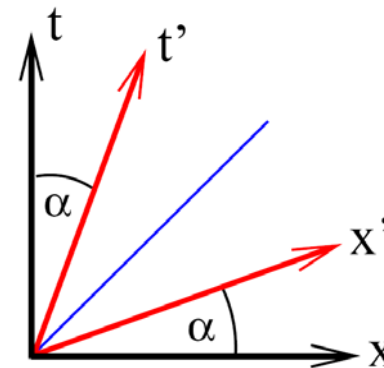


# Koordináta-tengelyek

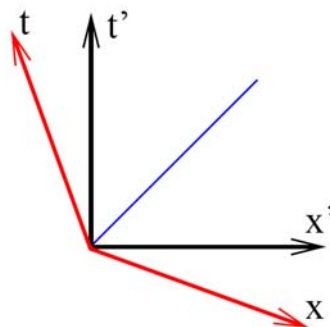


$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye



K' rendszerből nézve:

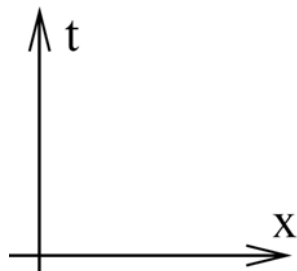


**A szögfelező közös!**

Az  $\alpha$  szög csak az ábrán létezik!

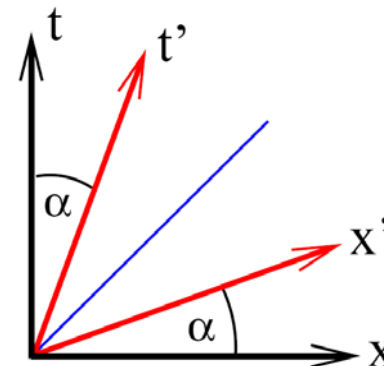


# Koordináta-tengelyek

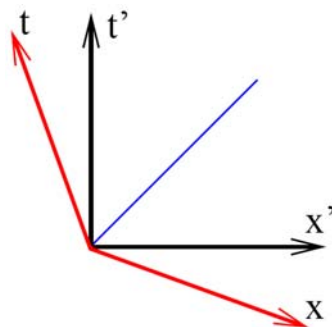


$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye



K' rendszerből nézve:



**A szögfelező közös!**

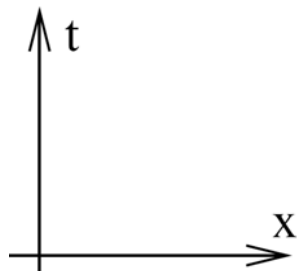
Az  $\alpha$  szög csak az ábrán létezik!

Emlékeztető: forgatás



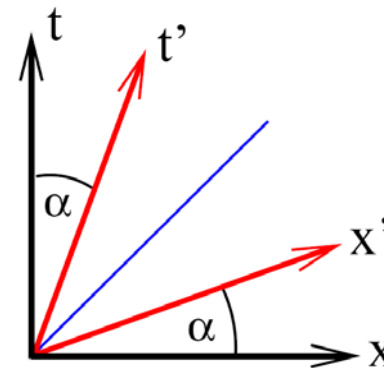


# Koordináta-tengelyek

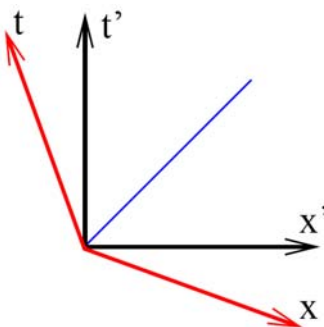


$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye



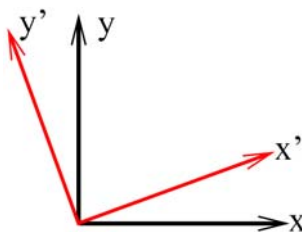
K' rendszerből nézve:



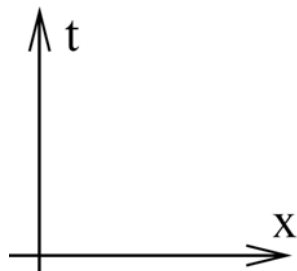
**A szögfelező közös!**

Az  $\alpha$  szög csak az ábrán létezik!

Emlékeztető: forgatás

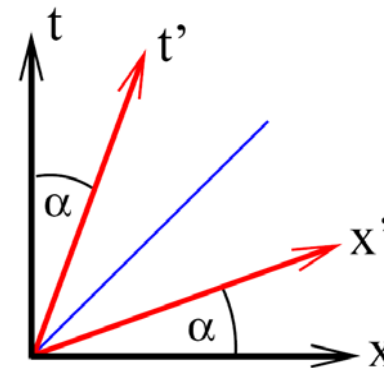


# Koordináta-tengelyek

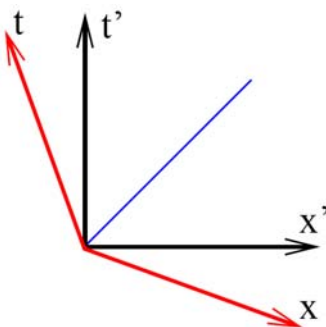


$t'$  tengely: az  $x' = 0$  pontok mértani helye

$x'$  tengely: az  $t' = 0$  pontok mértani helye



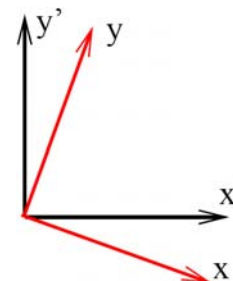
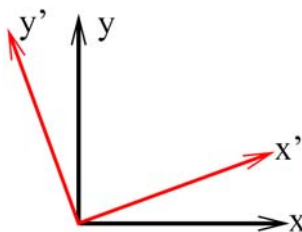
K' rendszerből nézve:



**A szögfelező közös!**

Az  $\alpha$  szög csak az ábrán létezik!

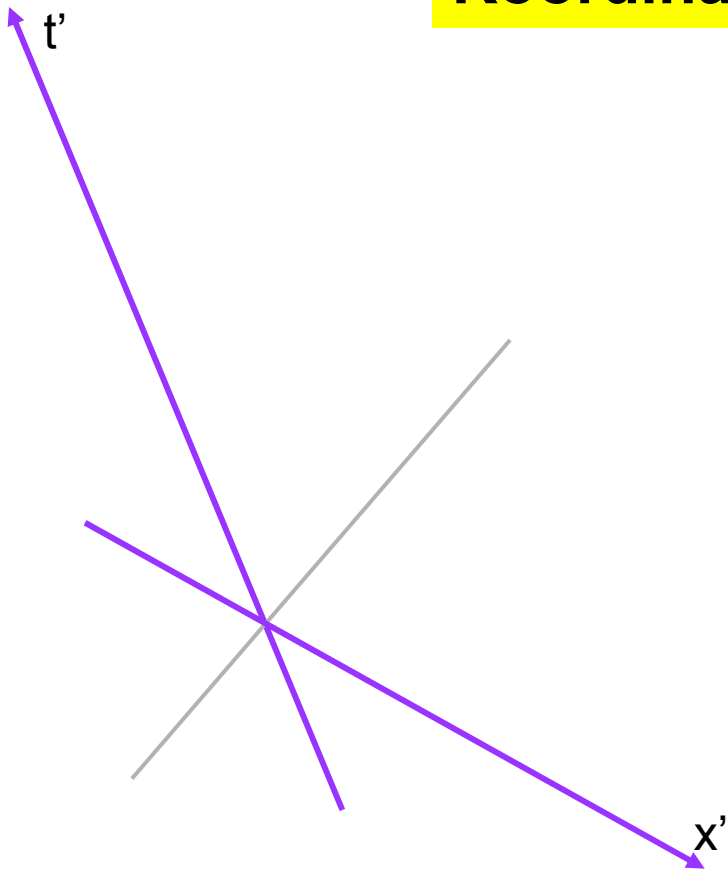
Emlékeztető: forgatás



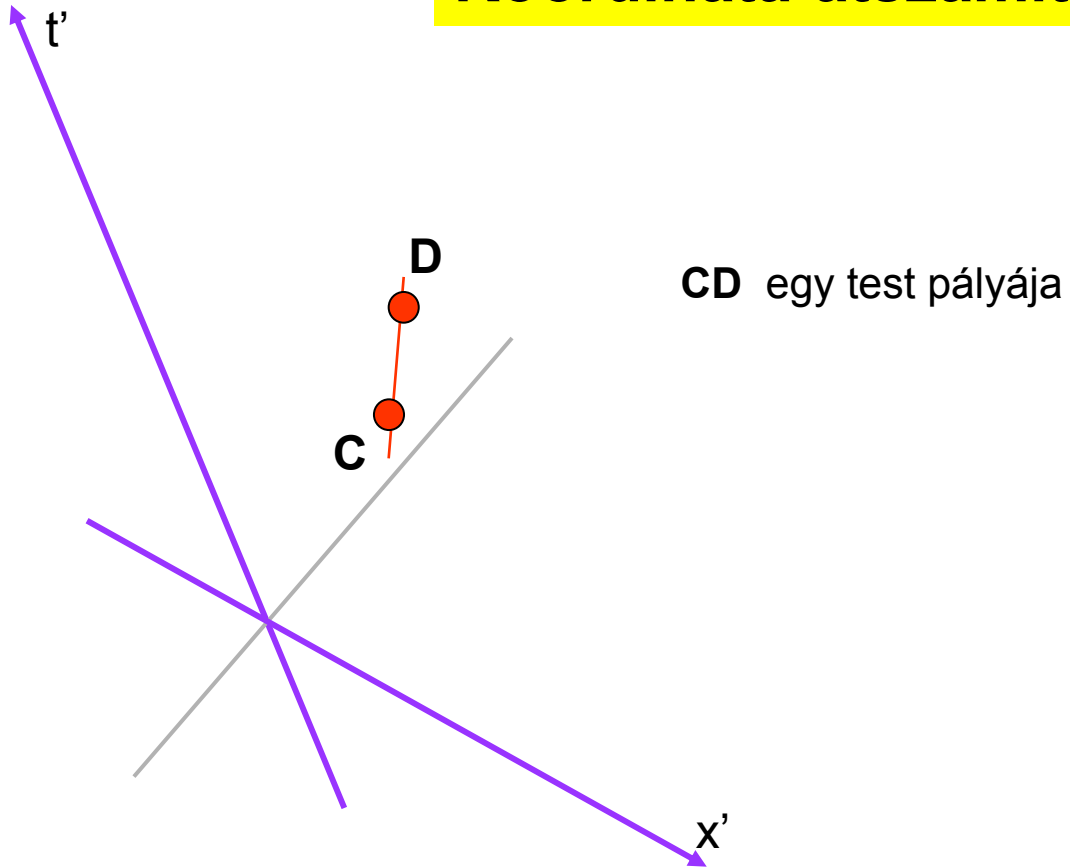
# Koordináta-átszámítás



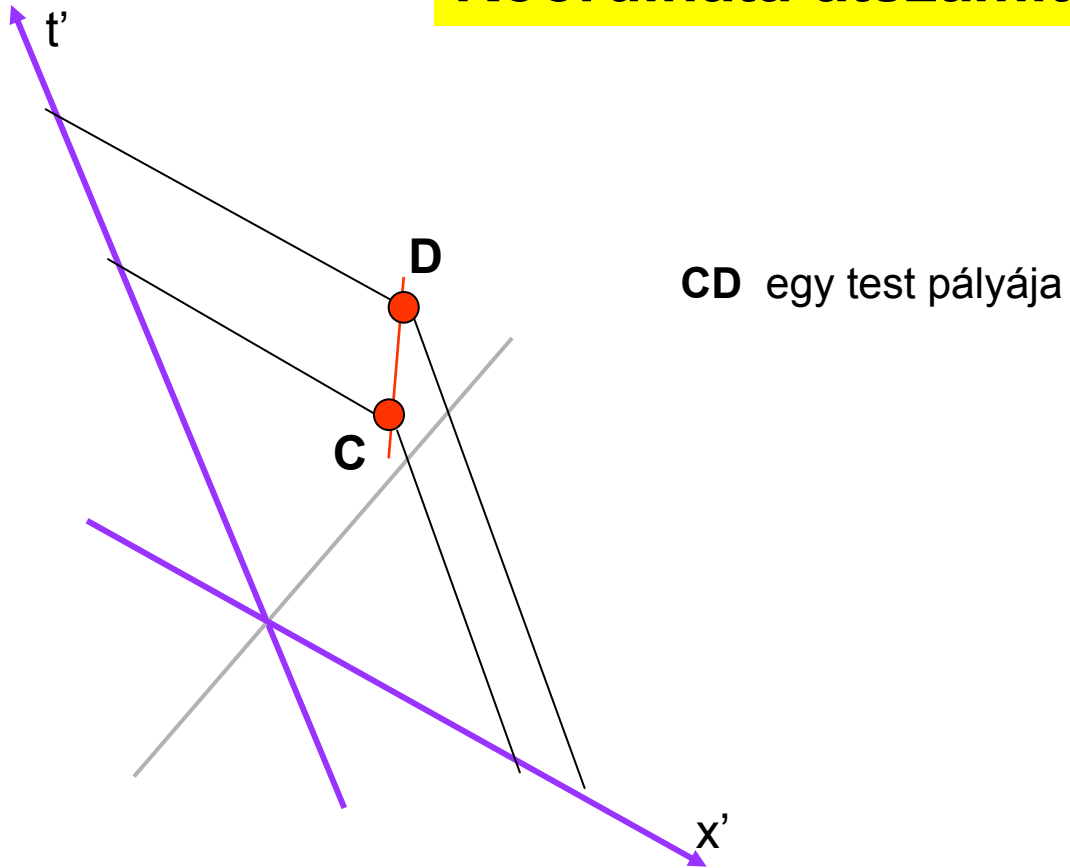
# Koordináta-átszámítás



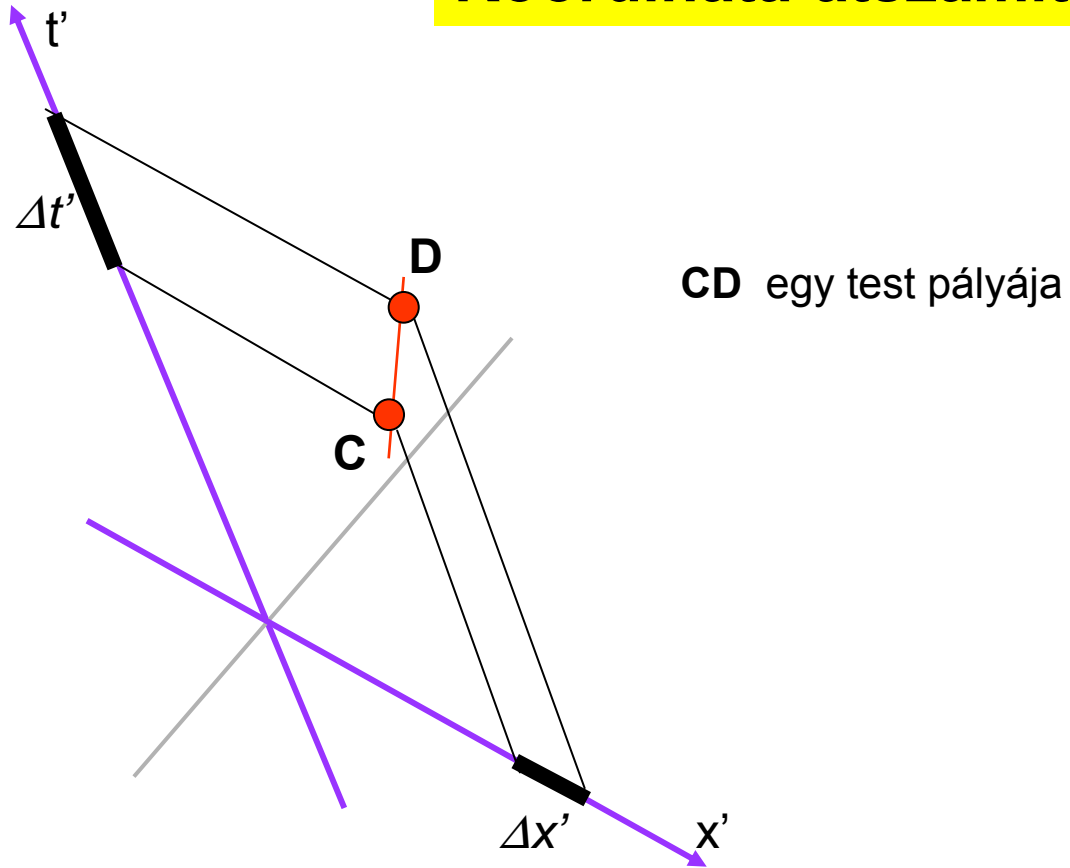
# Koordináta-átszámítás



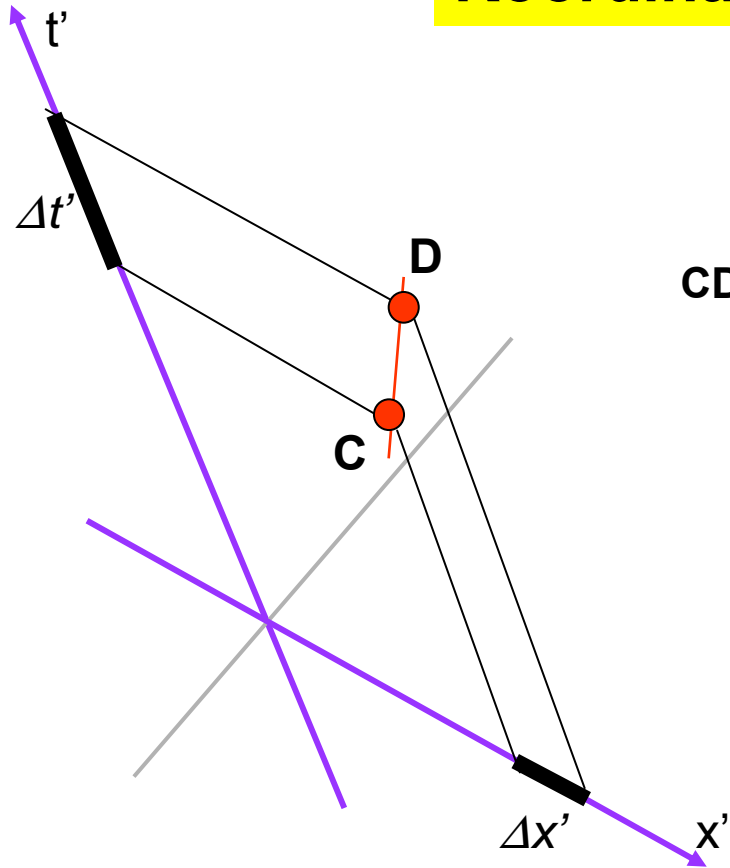
# Koordináta-átszámítás



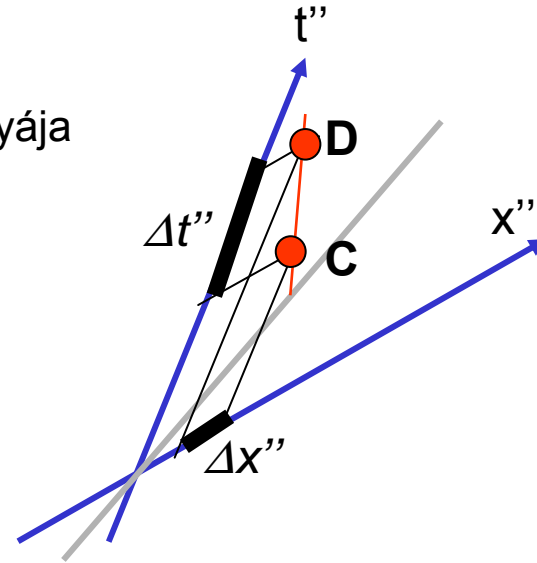
# Koordináta-átszámítás



# Koordináta-átszámítás

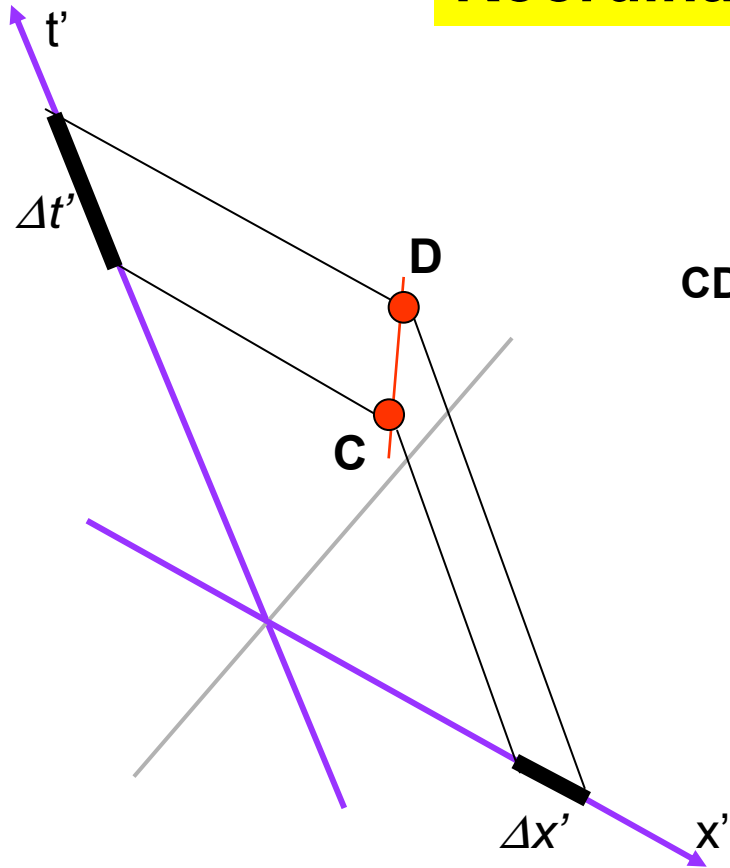


CD egy test pályája

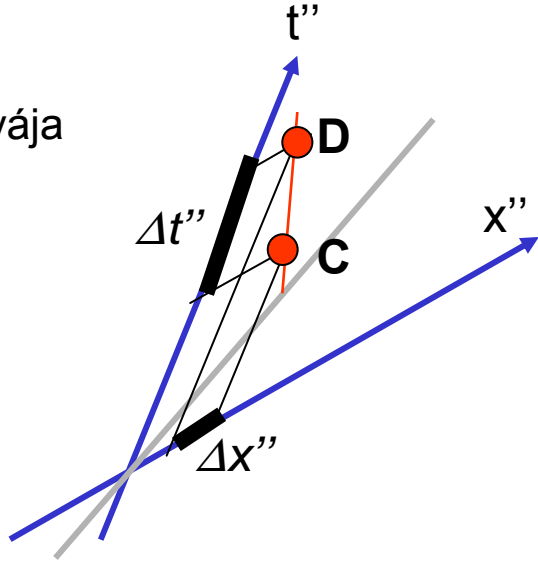




# Koordináta-átszámítás



CD egy test pályája



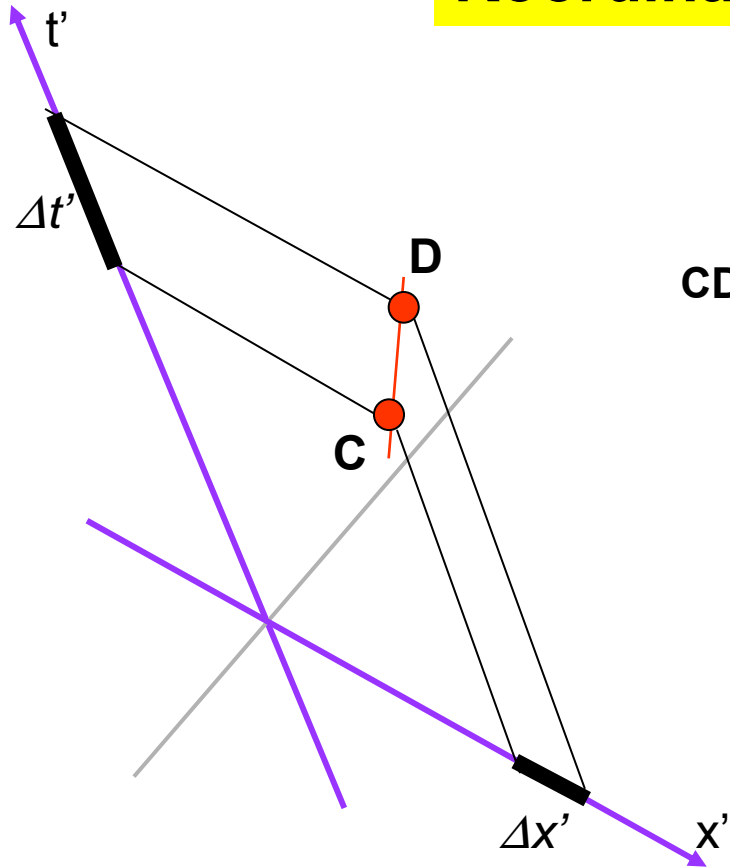
oda:

$$\Delta x'' = f(U) \Delta x' + g(U) \Delta t'$$

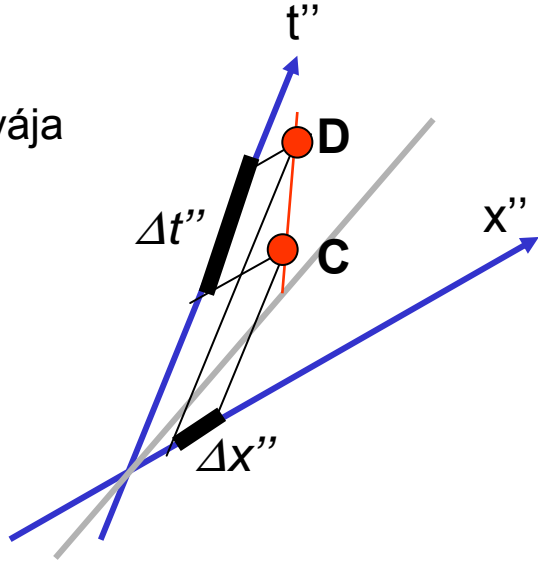
$$\Delta t'' = h(U) \Delta x' + i(U) \Delta t'$$



# Koordináta-átszámítás



CD egy test pályája



oda:

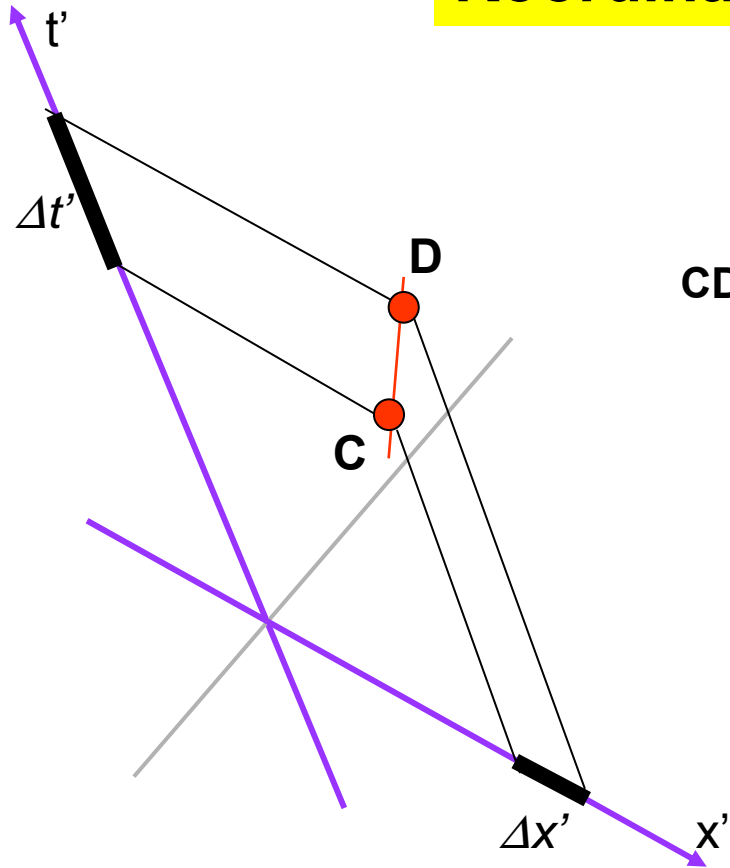
$$\begin{aligned} \Delta x'' &= f(U) \Delta x' + g(U) \Delta t' \\ \Delta t'' &= h(U) \Delta x' + i(U) \Delta t' \end{aligned}$$

vissza:

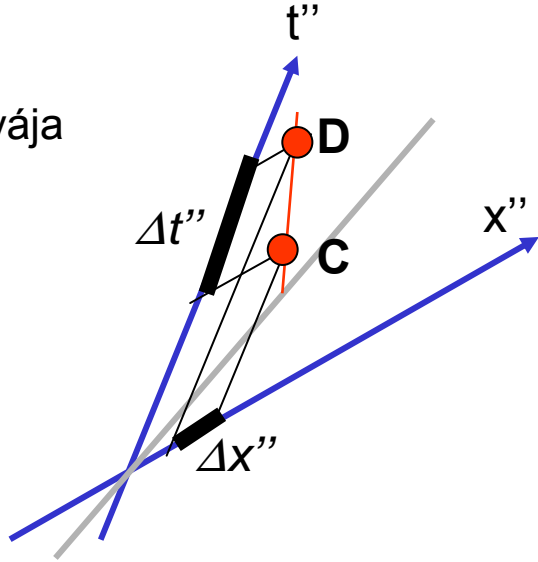
$$\begin{aligned} \Delta x' &= f(-U) \Delta x'' + g(-U) \Delta t'' \\ \Delta t' &= h(-U) \Delta x'' + i(-U) \Delta t'' \end{aligned}$$



# Koordináta-átszámítás



CD egy test pályája



Ez a **Lorentz-transzformáció**

oda:

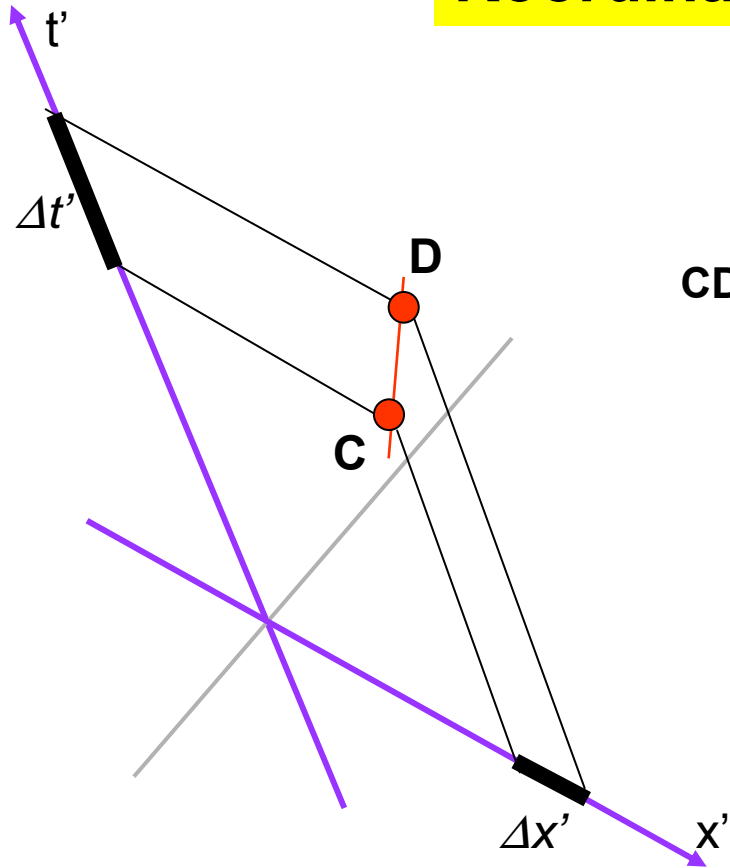
$$\begin{aligned} \Delta x'' &= f(U) \Delta x' + g(U) \Delta t' \\ \Delta t'' &= h(U) \Delta x' + i(U) \Delta t' \end{aligned}$$

vissza:

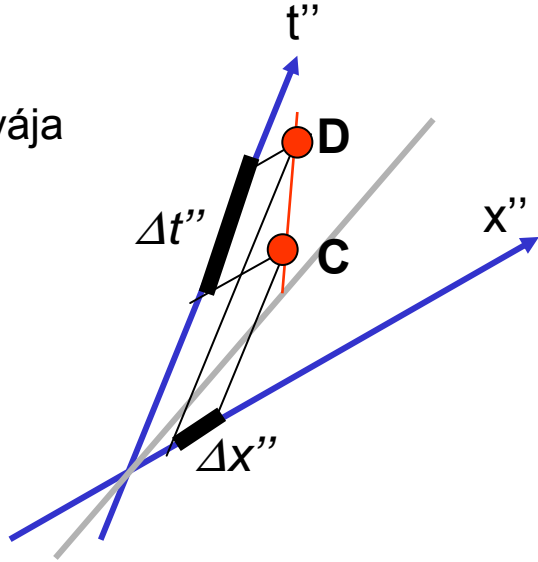
$$\begin{aligned} \Delta x' &= f(-U) \Delta x'' + g(-U) \Delta t'' \\ \Delta t' &= h(-U) \Delta x'' + i(-U) \Delta t'' \end{aligned}$$



# Koordináta-átszámítás



CD egy test pályája



oda:

$$\begin{aligned} \Delta x'' &= f(U) \Delta x' + g(U) \Delta t' \\ \Delta t'' &= h(U) \Delta x' + i(U) \Delta t' \end{aligned}$$

Ez a **Lorentz-transzformáció**

Az  $f(U)$ ,  $g(U)$ ,  $h(U)$  és  $i(U)$  függvények az eddigiek alapján egyértelműen meghatározhatók.

vissza:

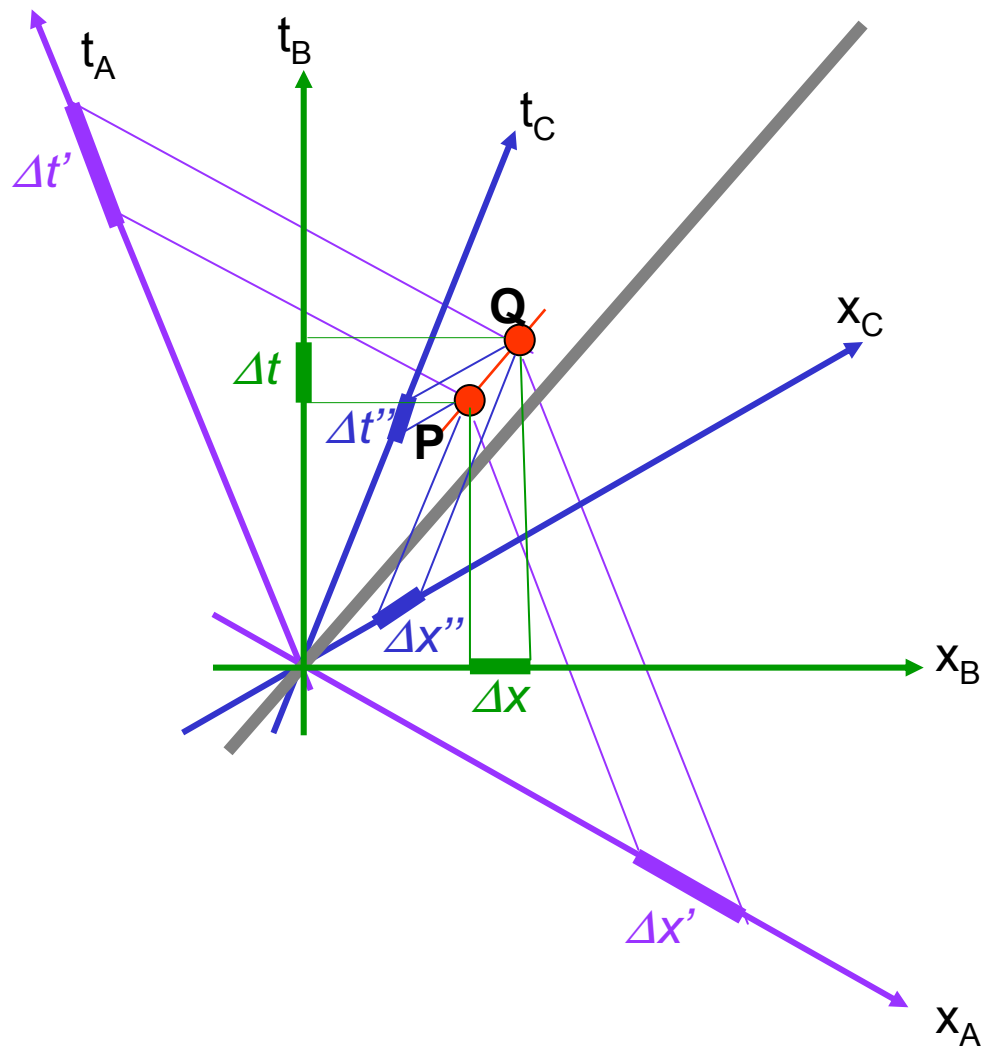
$$\begin{aligned} \Delta x' &= f(-U) \Delta x'' + g(-U) \Delta t'' \\ \Delta t' &= h(-U) \Delta x'' + i(-U) \Delta t'' \end{aligned}$$



# Sok IR esete

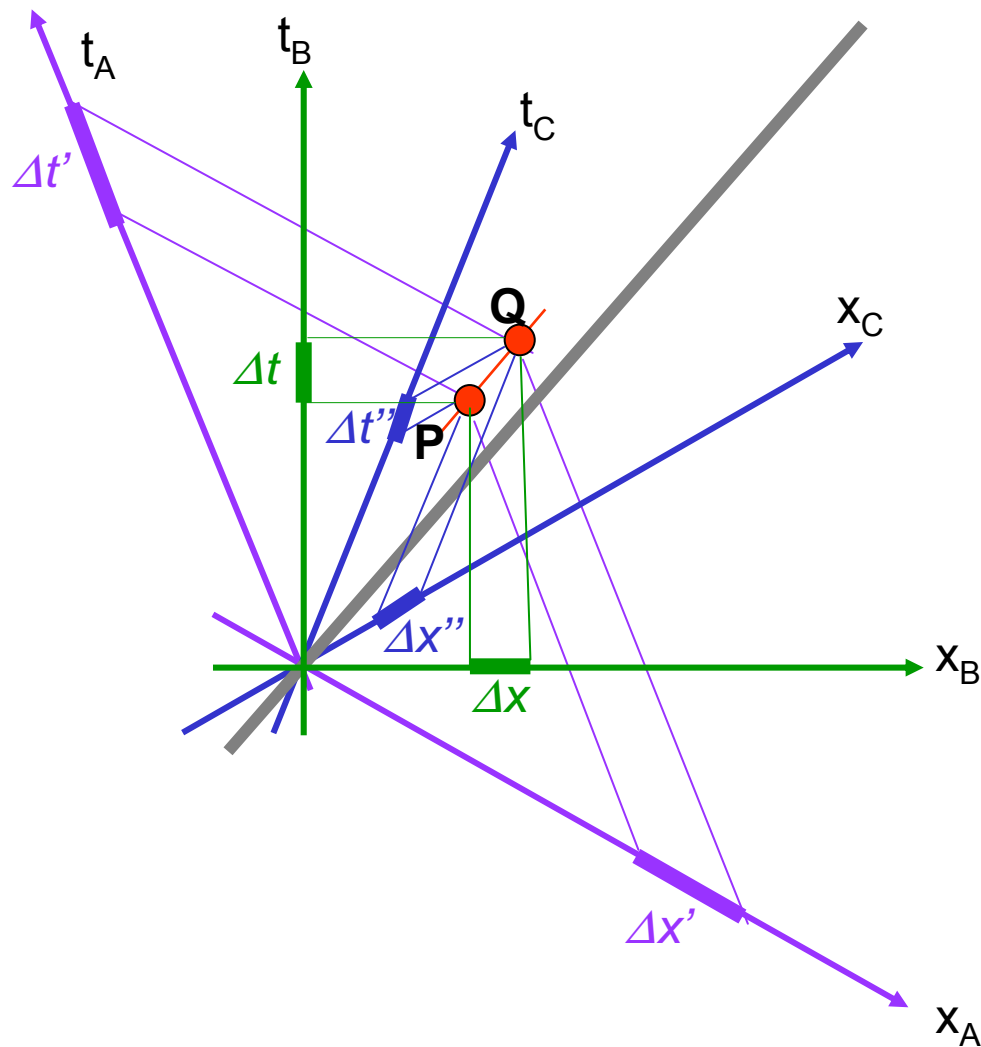


# Sok IR esete



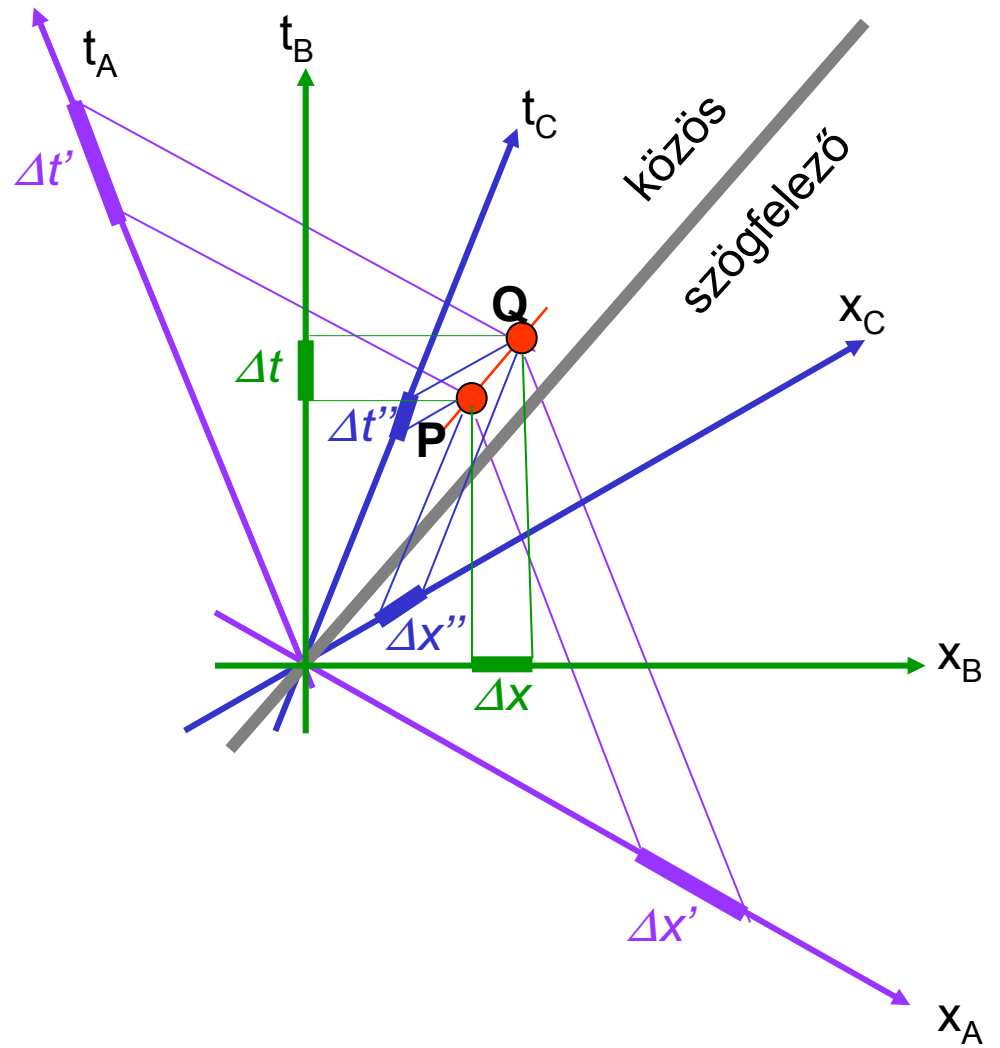
# Sok IR esete

PQ a fény pályája



# Sok IR esete

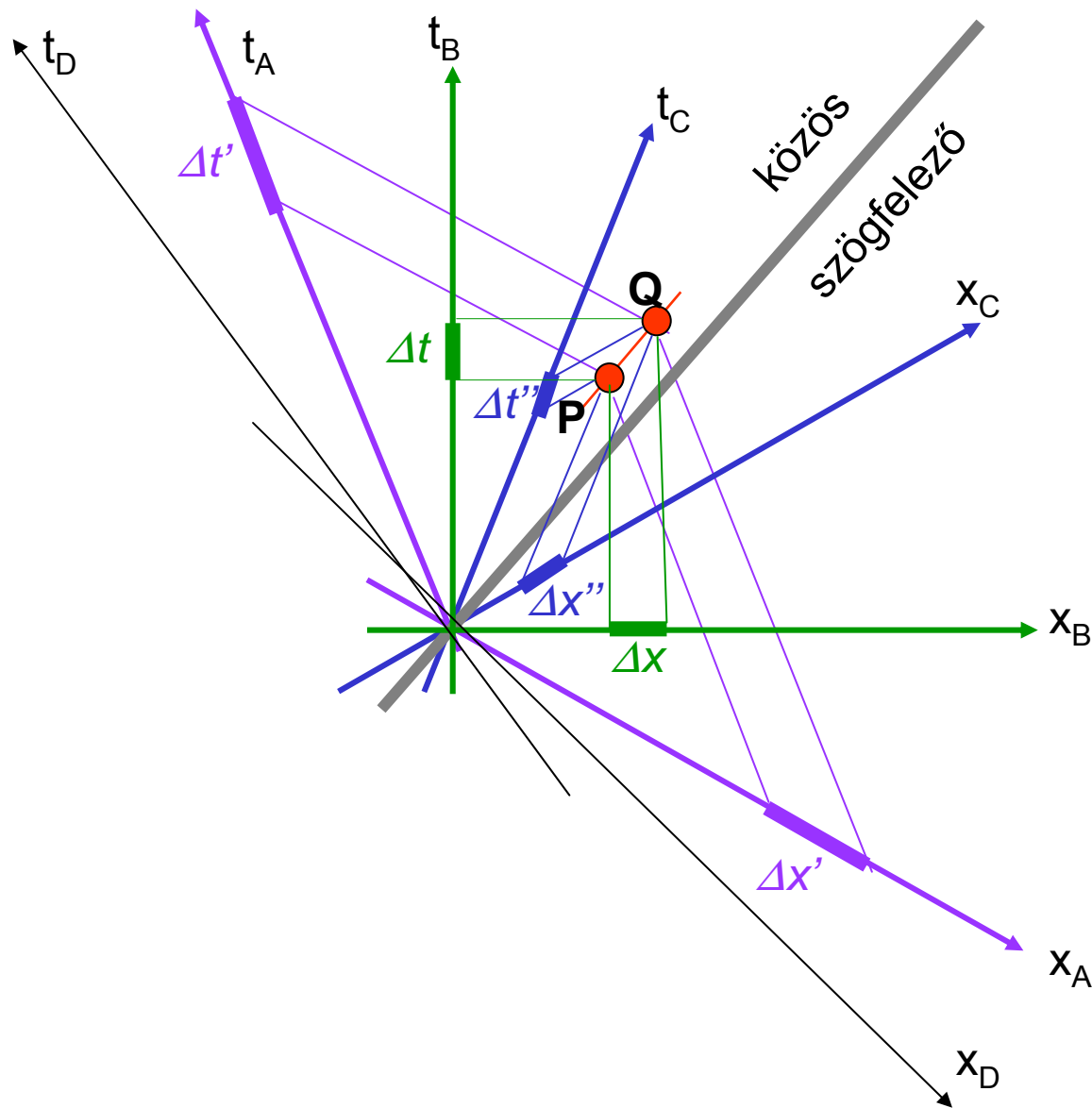
PQ a fény pályája





# Sok IR esete

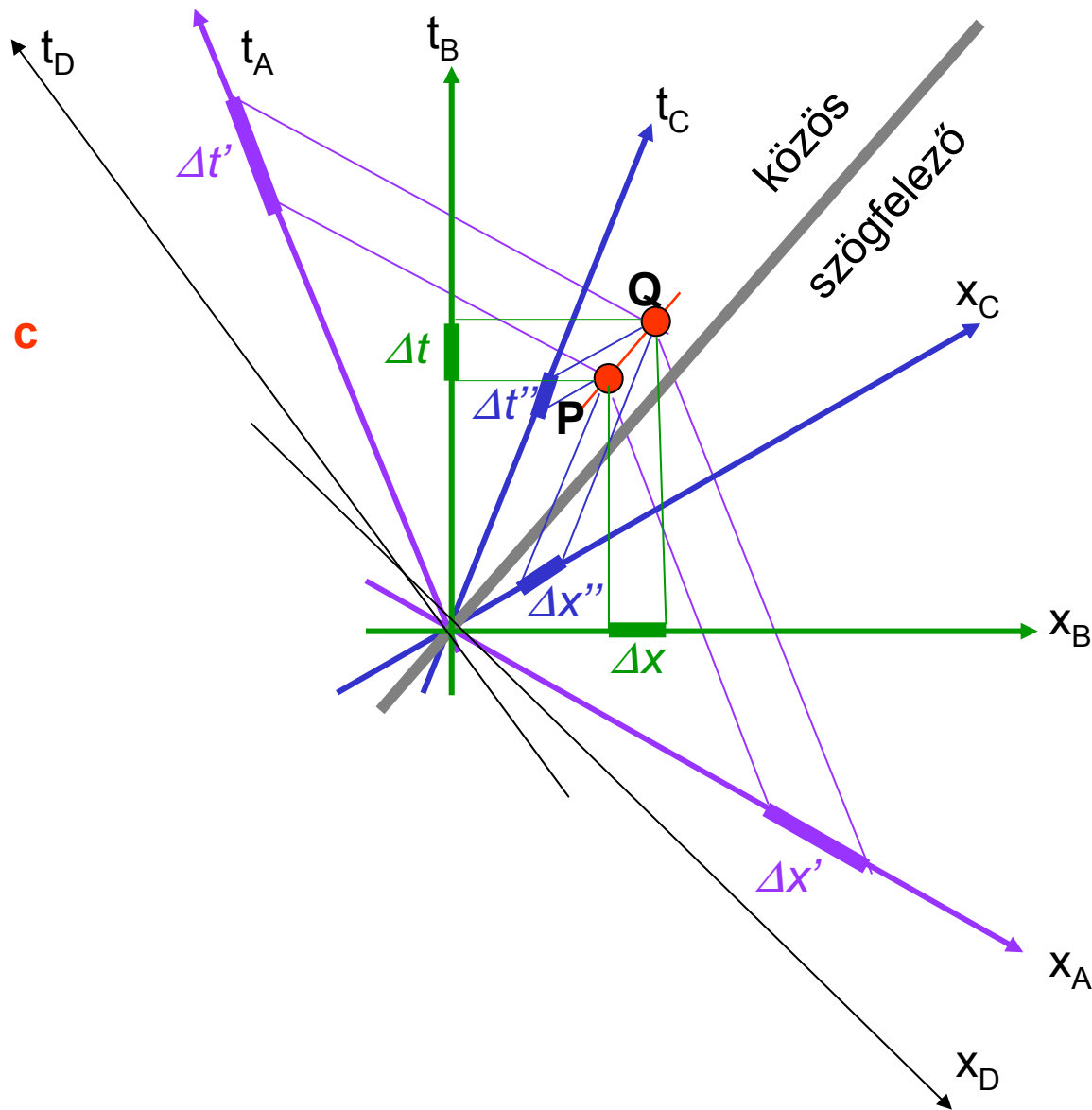
PQ a fény pályája



# Sok IR esete

PQ a fény pályája

$$V = V' = V'' = V''' = \dots = 1 = c$$

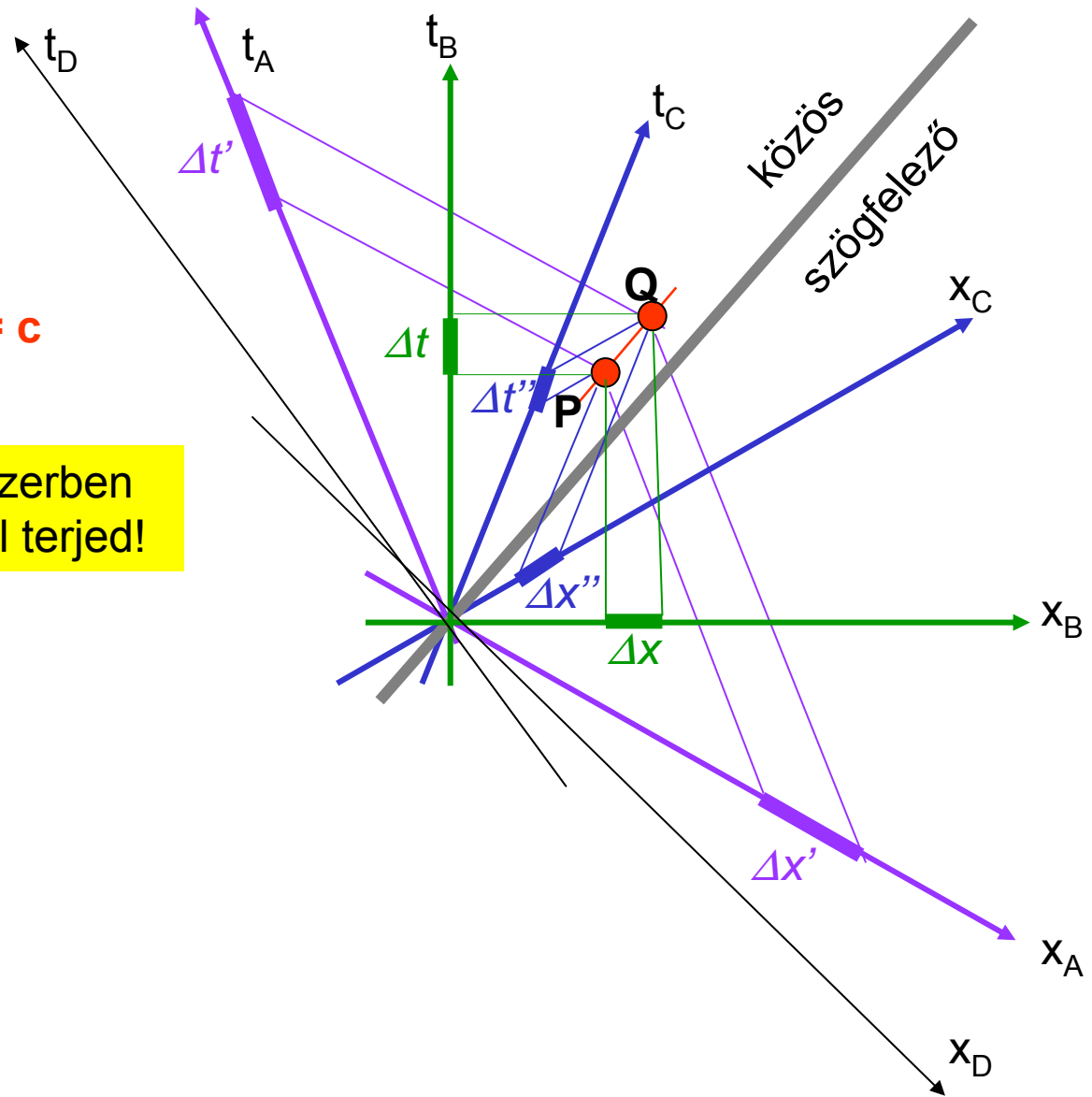


# Sok IR esete

PQ a fény pályája

$$V = V' = V'' = V''' = \dots = 1 = c$$

A fény minden inerciarendszerben ugyanakkora  $c$  sebességgel terjed!



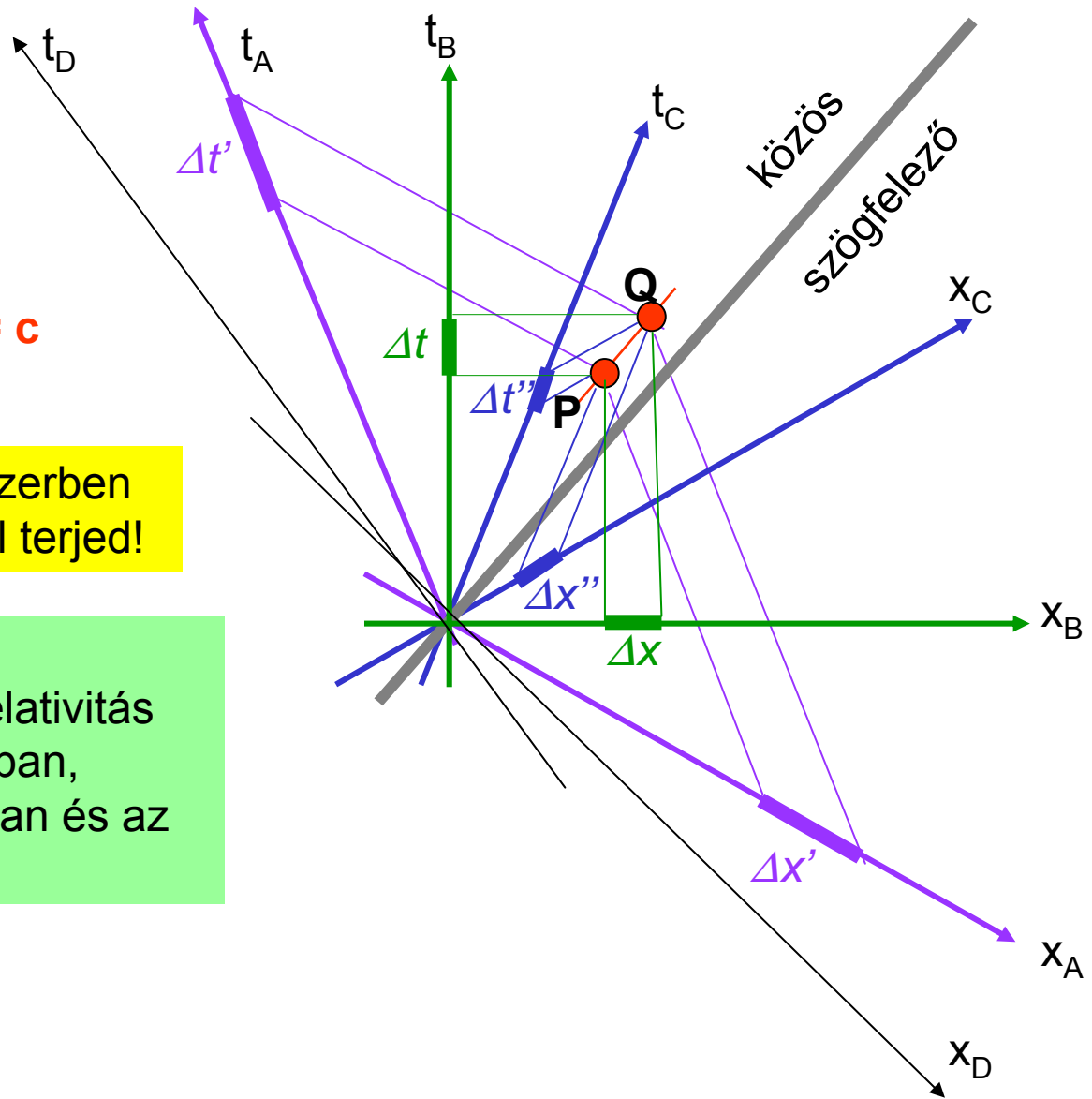
# Sok IR esete

PQ a fény pályája

$$V = V' = V'' = V''' = \dots = 1 = c$$

A fény minden inerciarendszerben ugyanakkora  $c$  sebességgel terjed!

Tehát az inerciarendszerek egyenértékűsége, azaz a relativitás elve nemcsak a mechanikában, hanem az elektrodinamikában és az optikában is érvényes!



# Sok IR esete

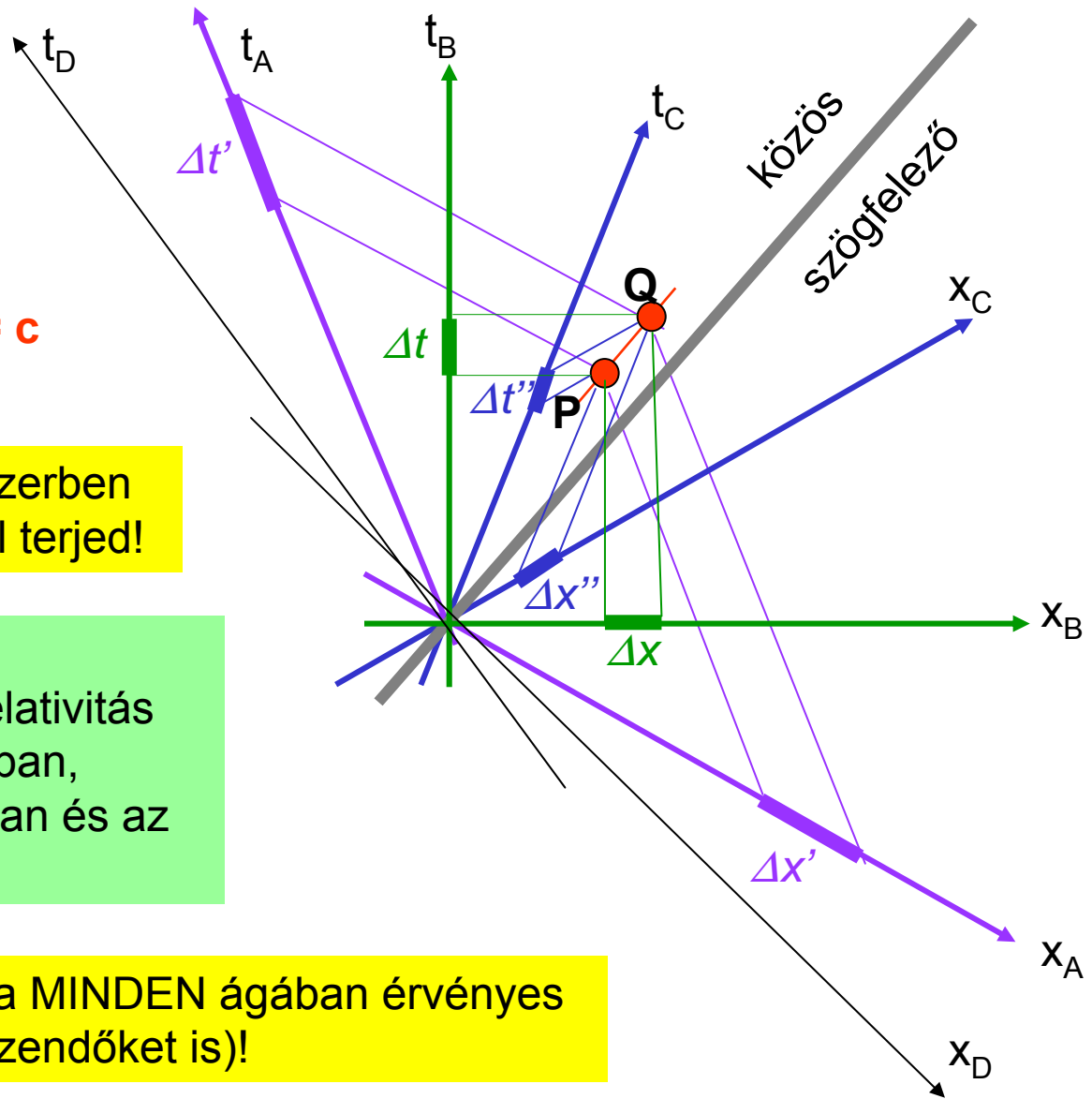
PQ a fény pályája

$$V = V' = V'' = V''' = \dots = 1 = c$$

A fény minden inerciarendszerben ugyanakkora  $c$  sebességgel terjed!

Tehát az inerciarendszerek egyenértékűsége, azaz a relativitás elve nemcsak a mechanikában, hanem az elektrodinamikában és az optikában is érvényes!

Sőt: a relativitás elve a fizika MINDEN ágában érvényes (beleértve a majdan felfedezendőket is)!



# Sok IR esete

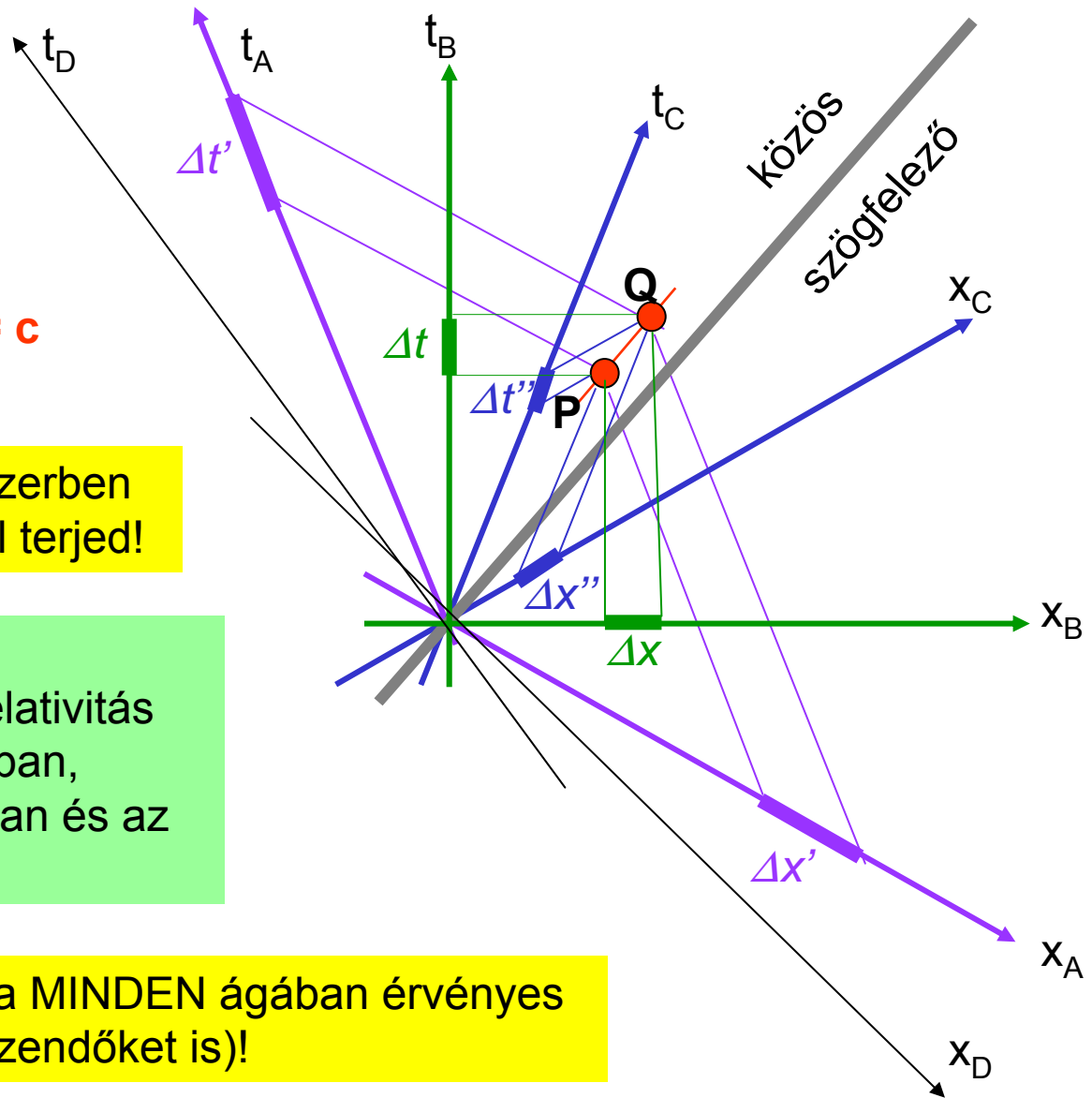
PQ a fény pályája

$$V = V' = V'' = V''' = \dots = 1 = c$$

A fény minden inerciarendszerben ugyanakkora  $c$  sebességgel terjed!

Tehát az inerciarendszerek egyenértékűsége, azaz a relativitás elve nemcsak a mechanikában, hanem az elektrodinamikában és az optikában is érvényes!

Sőt: a relativitás elve a fizika MINDEN ágában érvényes (beleértve a majdan felfedezendőket is)!



Ez a **speciális relativitáselmélet** két alapfeltevése.



# Maximális sebesség



# Maximális sebesség

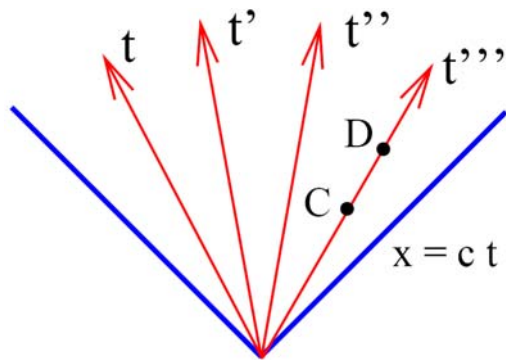
lehetséges  $t$  tengelyek:





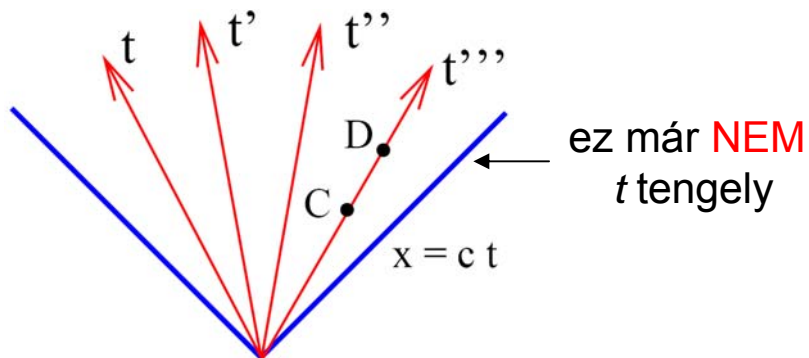
# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



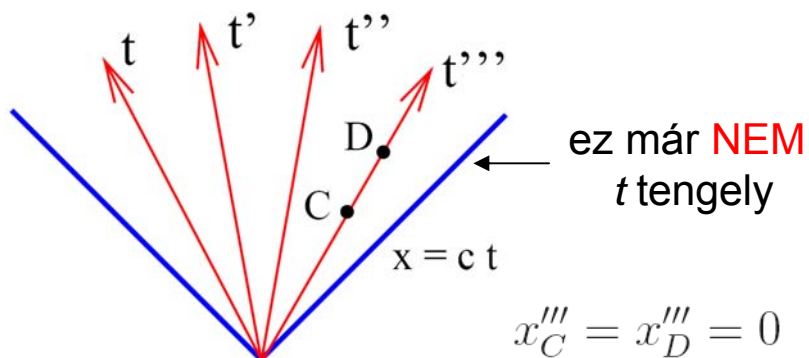
# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



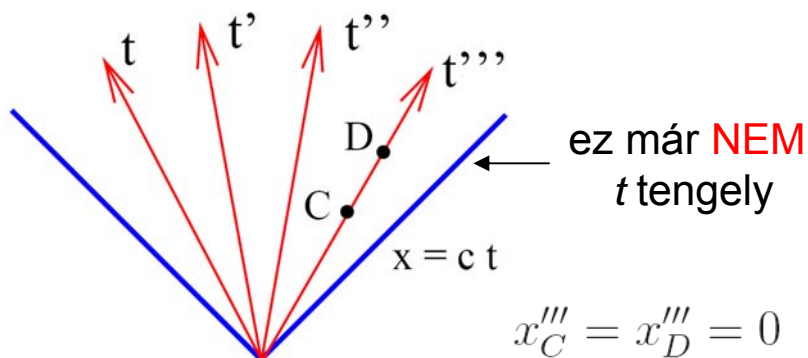
# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:

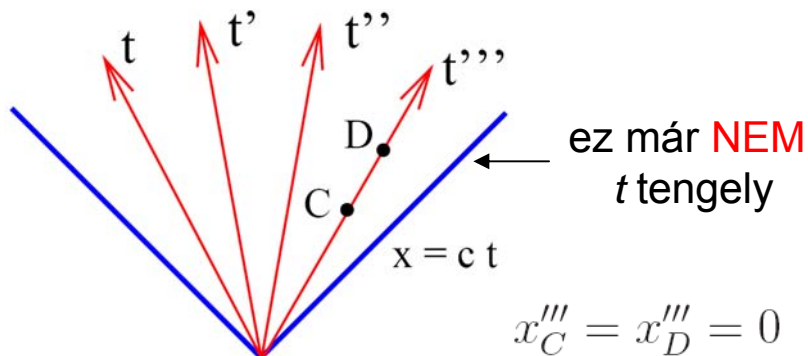


Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

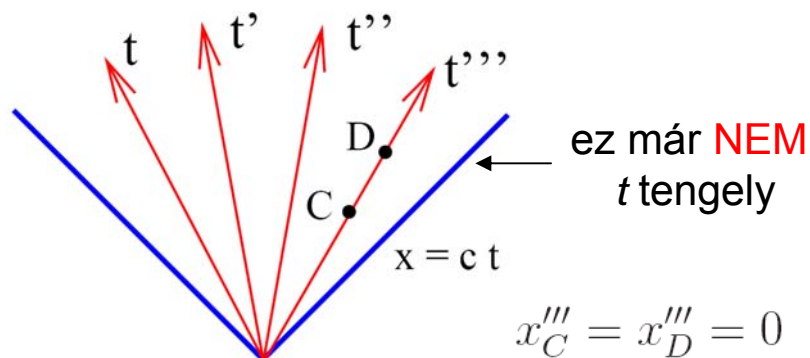
$$\Delta x''' = 0$$

$$\Delta t''' > 0$$



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$

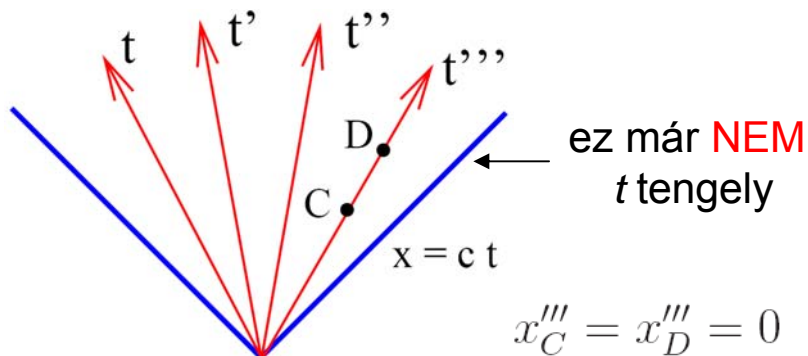


$$\Delta t > \Delta x$$



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



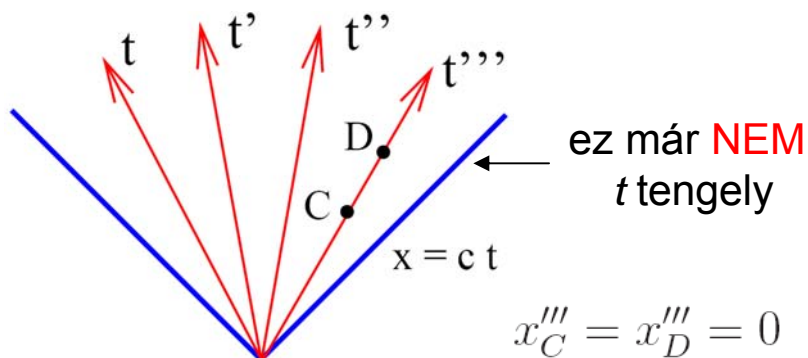
$$\Delta t > \Delta x$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1$$



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Egy  $t$  tengely lehet egy állandó sebességű test világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



$$\Delta t > \Delta x$$

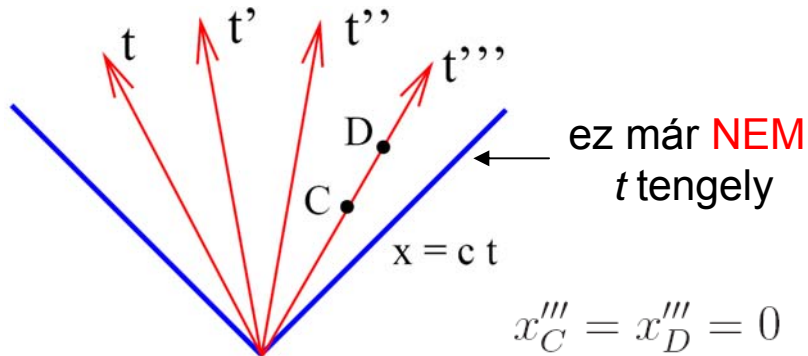
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$





# Maximális sebesség

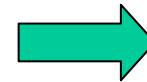
lehetséges  $t$  tengelyek:



Az inerciarendszerek relatív sebessége  $< c$

Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



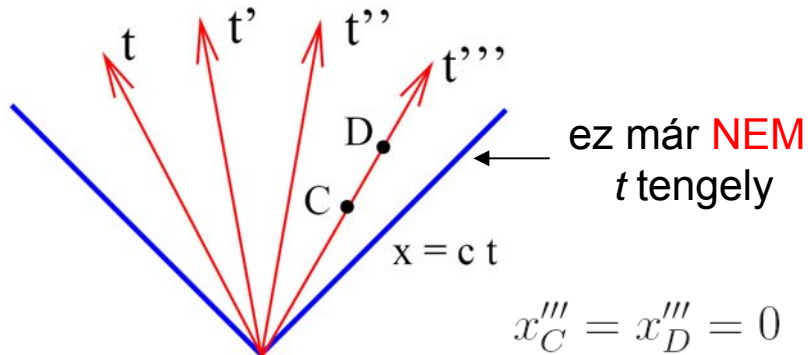
$$\Delta t > \Delta x$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Az inerciarendszerek relatív sebessége  $< c$

Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



$$\Delta t > \Delta x$$

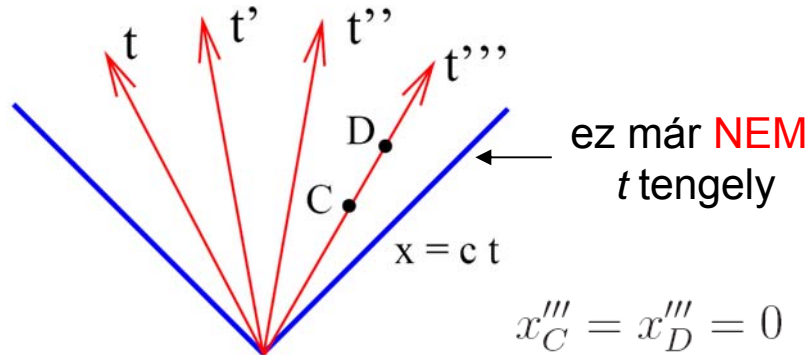
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$

De minden mozgó testre rögzíthető (pillanatnyi) inerciarendszer!



# Maximális sebesség

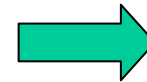
lehetséges  $t$  tengelyek:



Az inerciarendszerek relatív sebessége  $< c$

Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



$$\Delta t > \Delta x$$

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$

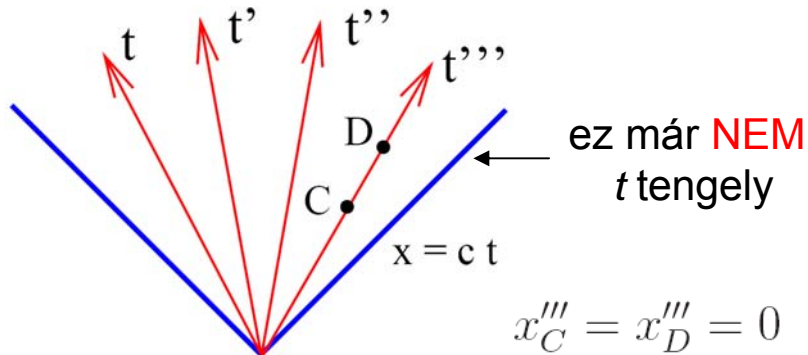
De minden mozgó testre rögzíthető (pillanatnyi) inerciarendszer!

A testek relatív sebessége  $< c$



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Az inerciarendszerek relatív sebessége  $< c$

Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



$$\Delta t > \Delta x$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$

De minden mozgó testre rögzíthető (pillanatnyi) inerciarendszer!

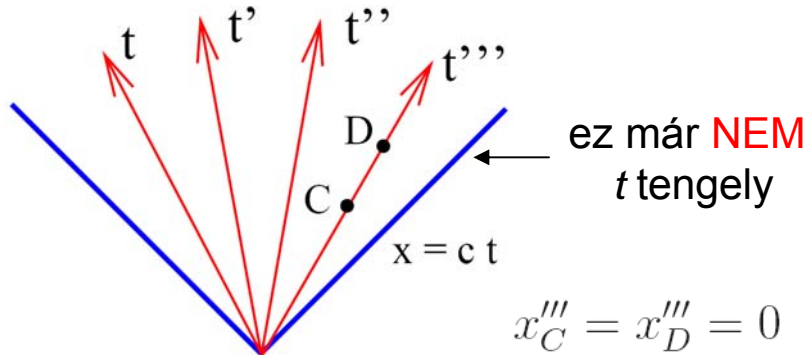
A testek relatív sebessége  $< c$

A  $c$  állandónak ez a fizikai jelentése: a maximális sebesség.



# Maximális sebesség

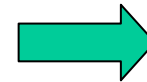
lehetséges  $t$  tengelyek:



Az inerciarendszerek relatív sebessége  $< c$

Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



$$\Delta t > \Delta x$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$

De minden mozgó testre rögzíthető (pillanatnyi) inerciarendszer!

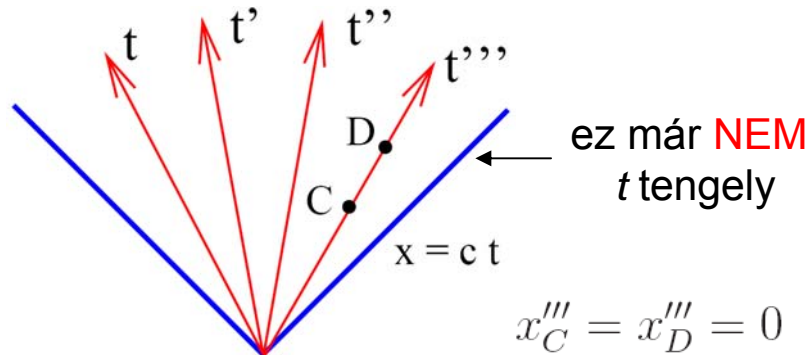
A testek relatív sebessége  $< c$

A  $c$  állandónak ez a fizikai jelentése: a maximális sebesség.  
Az csak „véletlen”, hogy a fény is pont ezzel a sebességgel halad...



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Az inerciarendszerek relatív sebessége  $< c$

Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



$$\Delta t > \Delta x$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$

De minden mozgó testre rögzíthető (pillanatnyi) inerciarendszer!

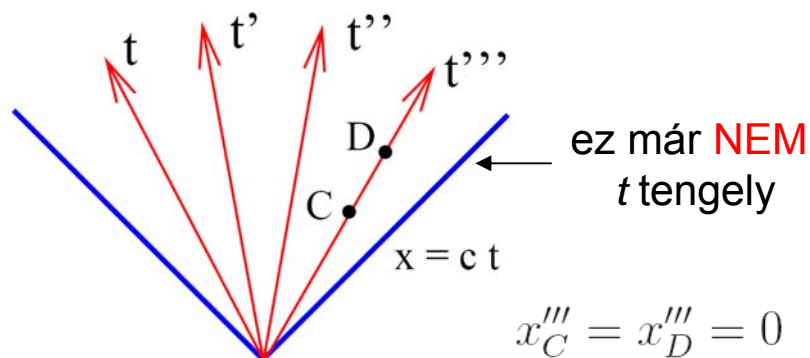
A testek relatív sebessége  $< c$

A  $c$  állandónak ez a fizikai jelentése: a maximális sebesség.  
Az csak „véletlen”, hogy a fény is pont ezzel a sebességgel halad...  
A relativitáselmélet **NEM a fényel** foglalkozik,



# Maximális sebesség

lehetséges  $t$  tengelyek:



Az inerciarendszerek relatív sebessége  $< c$

Egy  $t$  tengely lehet egy  
állandó sebességű test  
világvonala

$$\Delta x''' = 0$$
$$\Delta t''' > 0$$



$$\Delta t > \Delta x$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} < 1 \quad (= c)$$

De minden mozgó testre rögzíthető (pillanatnyi) inerciarendszer!

A testek relatív sebessége  $< c$

A  $c$  állandónak ez a fizikai jelentése: a maximális sebesség.  
Az csak „véletlen”, hogy a fény is pont ezzel a sebességgel halad...  
A relativitáselmélet **NEM a fényel** foglalkozik,  
hanem a téridővel és a mozgásokkal!



# Sebességek összeadása





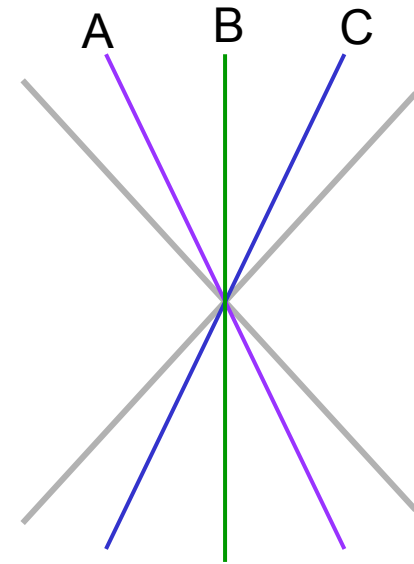
# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:



# Sebességek összeadása

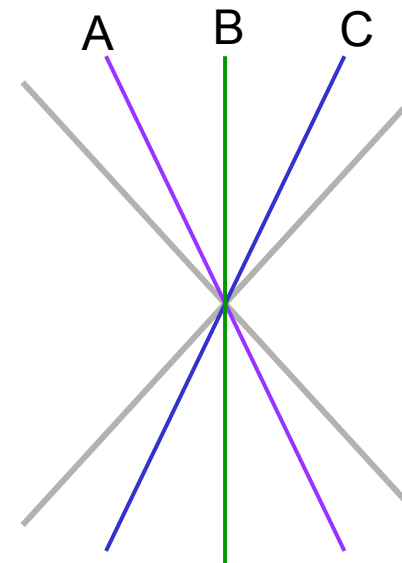
látszólagos paradoxon:



# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

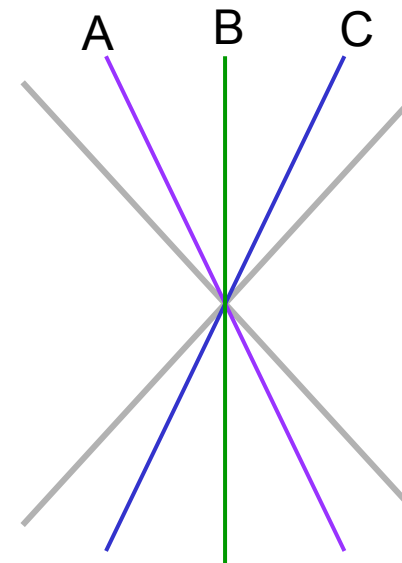
a B testhez képest



# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

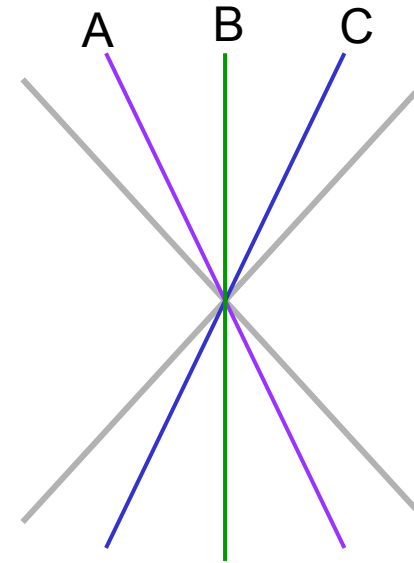
a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,



# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

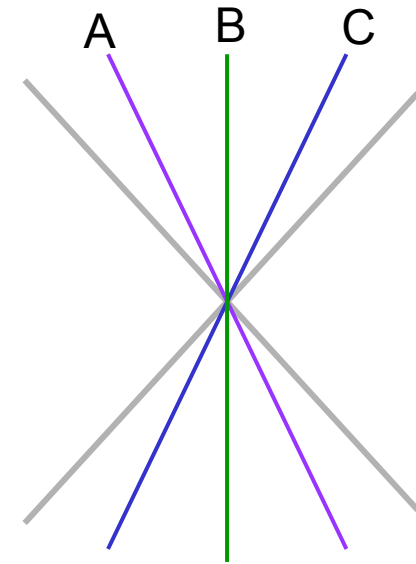


# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

Klasszikus számolás a józan ész alapján:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = V + W = 3c/2 > c$  sebességgel...



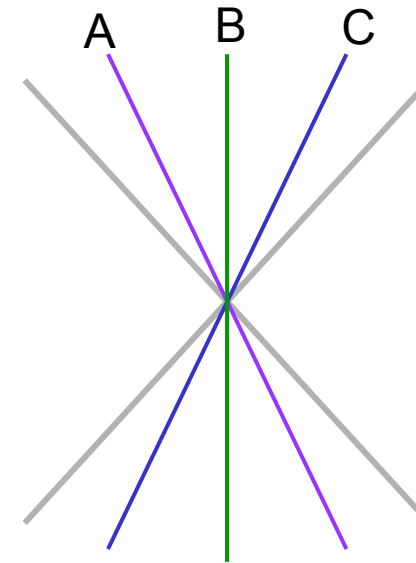
# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

Klasszikus számolás a józan ész alapján:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = V + W = 3c/2 > c$  sebességgel...

Ezzel szemben a relativitáselméletben:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = 24c/25 < c$  sebességgel!



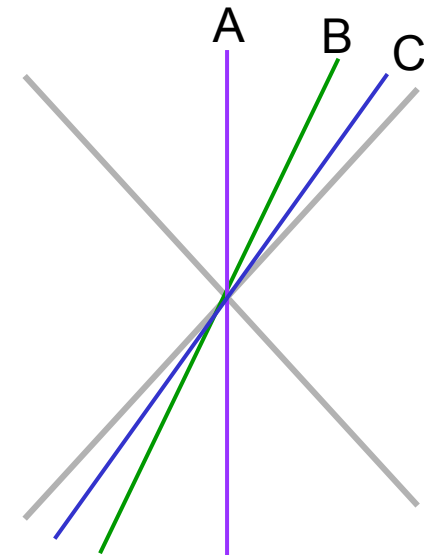
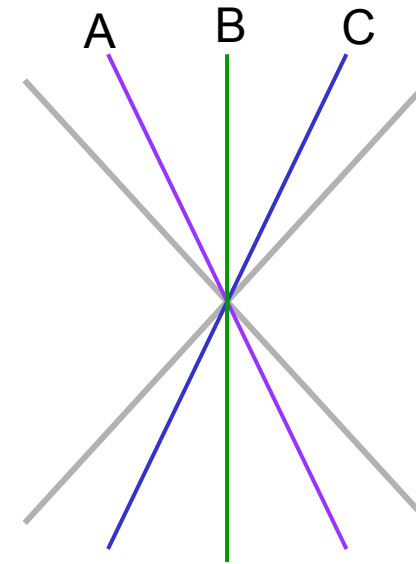
# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

Klasszikus számolás a józan ész alapján:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = V + W = 3c/2 > c$  sebességgel...

Ezzel szemben a relativitáselméletben:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = 24c/25 < c$  sebességgel!





# Sebességek összeadása

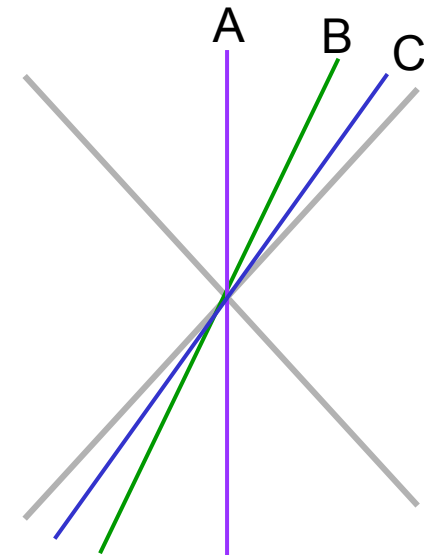
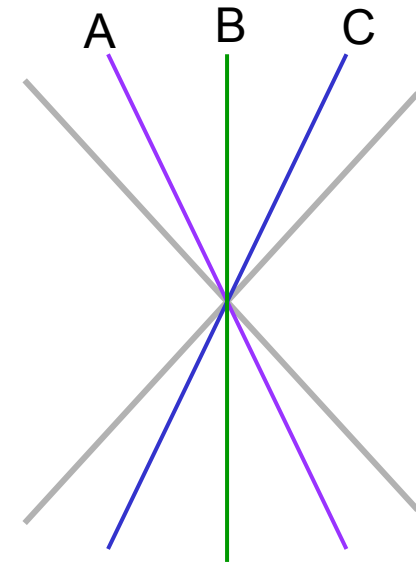
látszólagos paradoxon:

a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

Klasszikus számolás a józan ész alapján:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = V + W = 3c/2 > c$  sebességgel...

Ezzel szemben a relativitáselméletben:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = 24c/25 < c$  sebességgel!

Einstein-féle sebességösszeadás:



# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

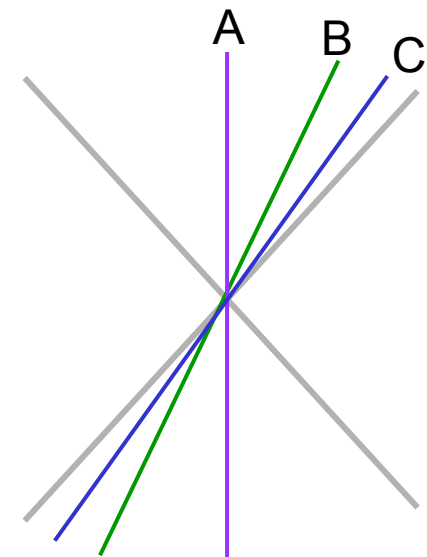
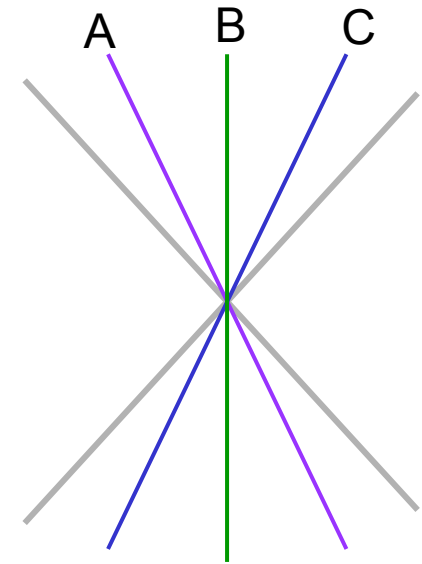
a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

Klasszikus számolás a józan ész alapján:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = V + W = 3c/2 > c$  sebességgel...

Ezzel szemben a relativitáselméletben:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = 24c/25 < c$  sebességgel!

Einstein-féle sebességösszeadás:

$$U = \frac{V + W}{1 + VW}$$



# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

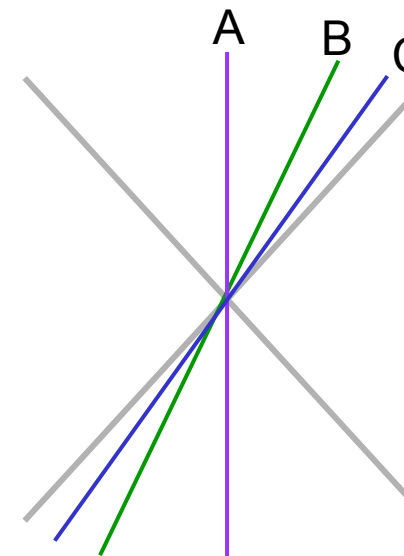
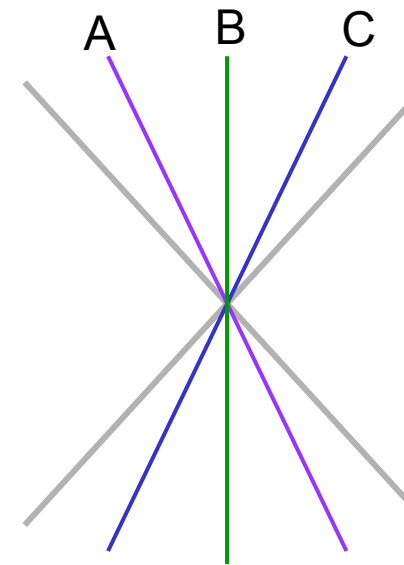
a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

Klasszikus számolás a józan ész alapján:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = V + W = 3c/2 > c$  sebességgel...

Ezzel szemben a relativitáselméletben:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = 24c/25 < c$  sebességgel!

Einstein-féle sebességösszeadás:

$$U = \frac{V + W}{1 + VW} = \frac{3/4 + 3/4}{1 + (3/4)(3/4)}$$



# Sebességek összeadása

látszólagos paradoxon:

a B testhez képest  
az A test balra mozog  $V = 3c/4$  sebességgel,  
a C test pedig jobbra  $W = 3c/4$  sebességgel

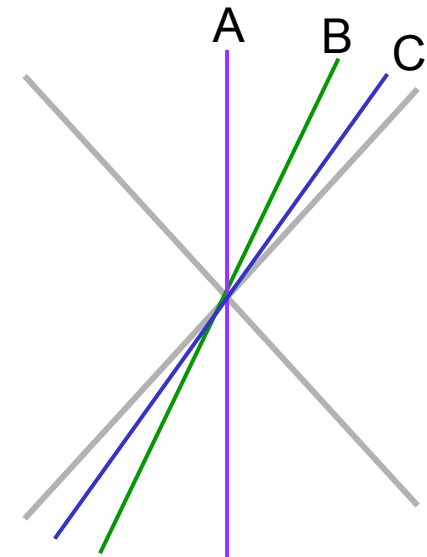
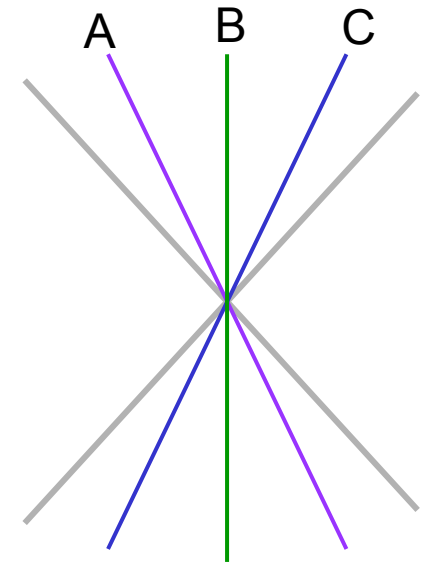
Klasszikus számolás a józan ész alapján:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = V + W = 3c/2 > c$  sebességgel...

Ezzel szemben a relativitáselméletben:  
az A testhez képest a C test jobbra mozog  
 $U = 24c/25 < c$  sebességgel!

Einstein-féle sebességösszeadás:

$$U = \frac{V + W}{1 + VW}$$

$$= \frac{3/4 + 3/4}{1 + (3/4)(3/4)} = 24/25 < 1$$



# Az egyidejűség relativitása



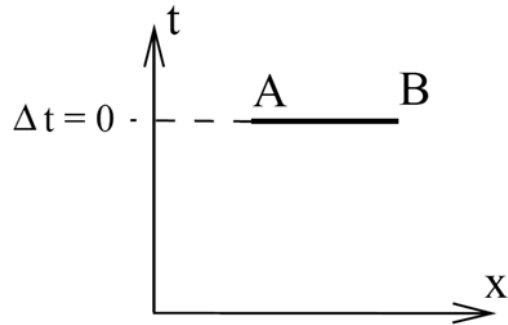
# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más  
„paradoxon” ebből következik!



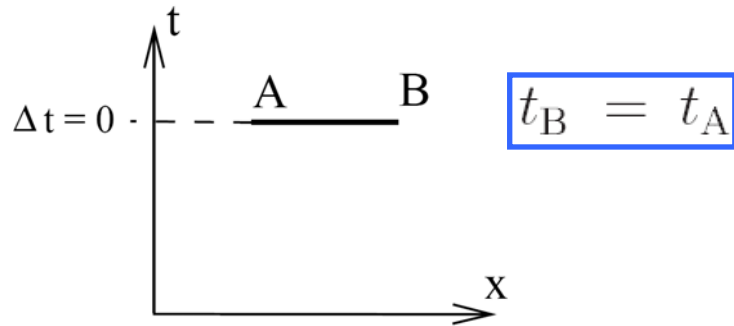
# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!



# Az egyidejűség relativitása

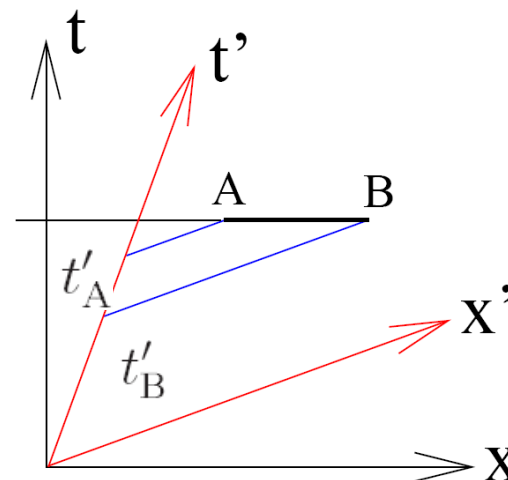
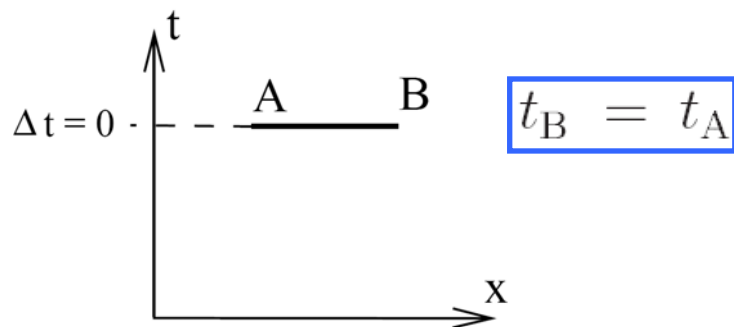
Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!





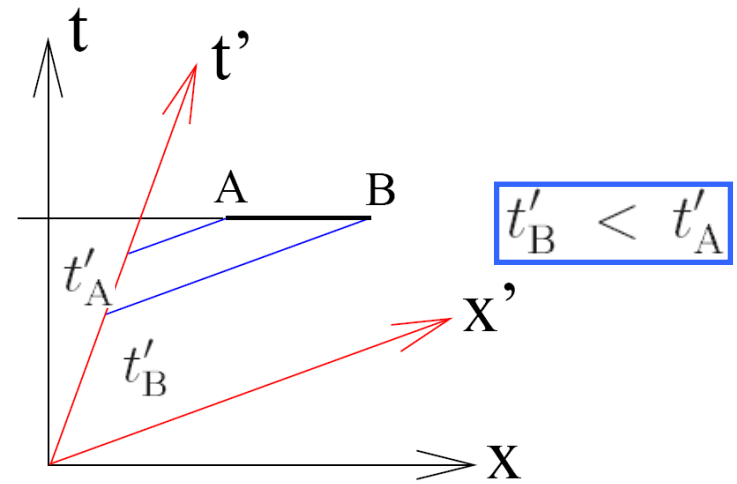
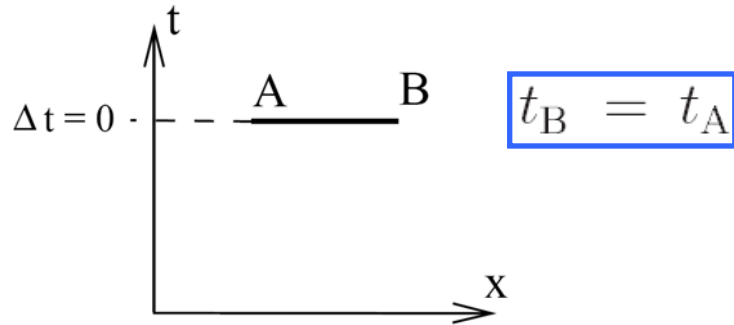
# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!



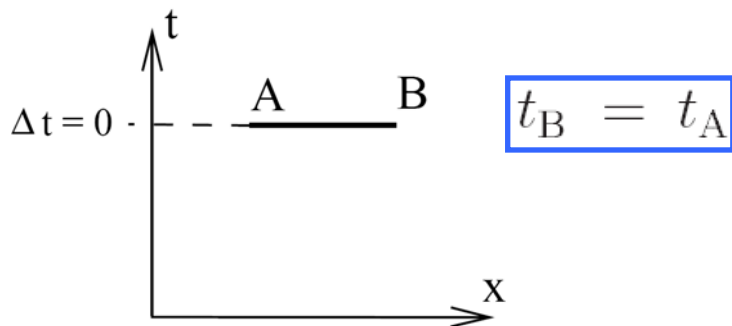
# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!

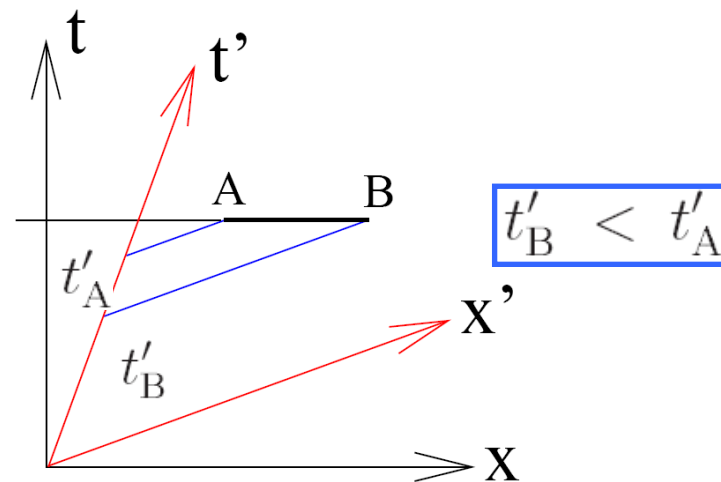
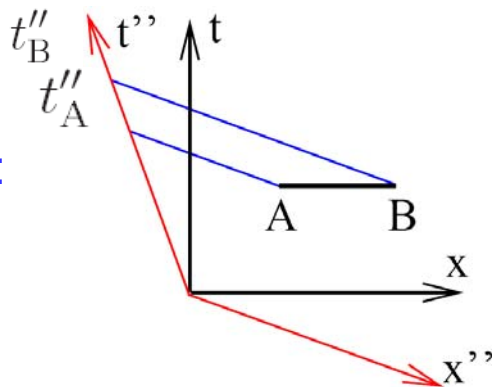


# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!

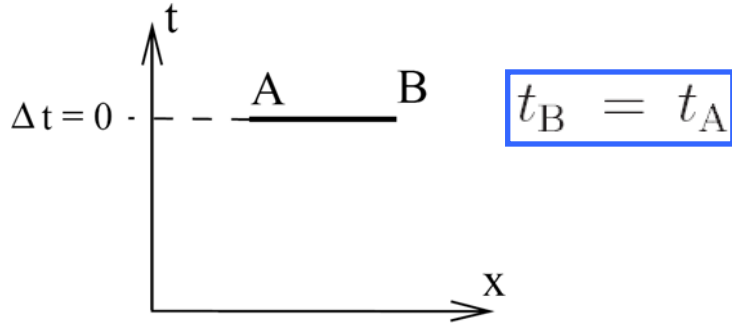


Sőt:

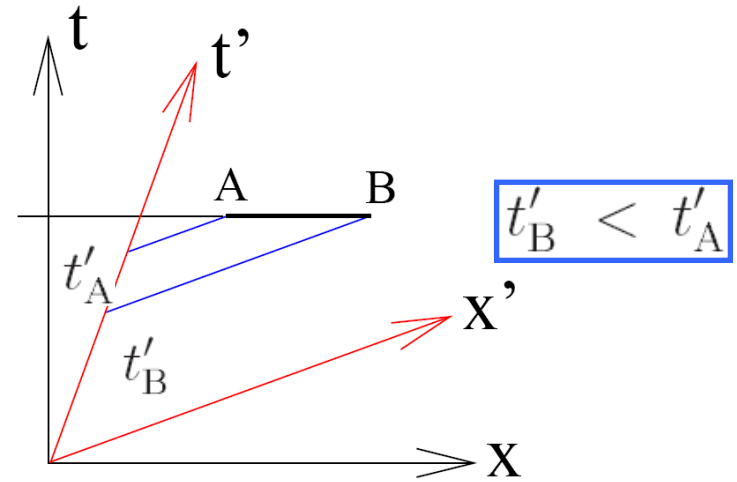
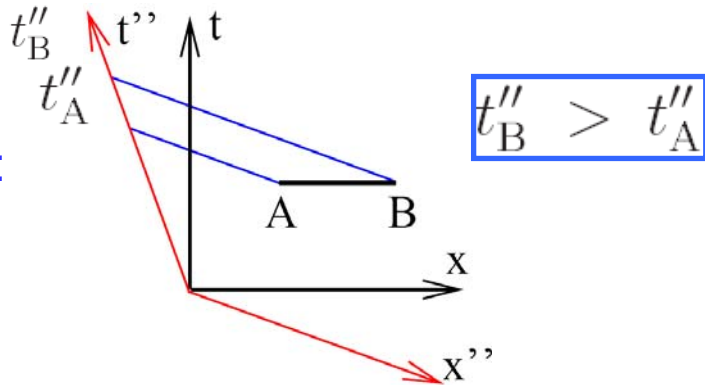


# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!

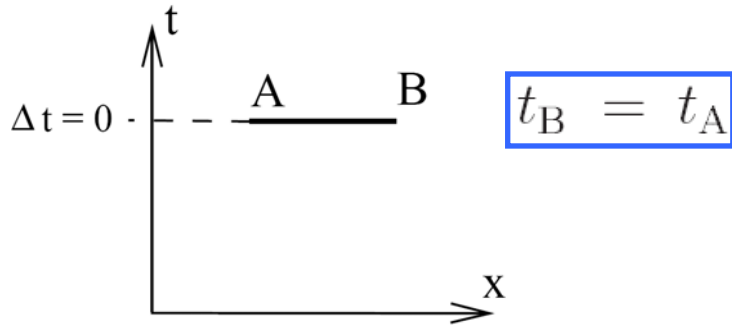


Sőt:

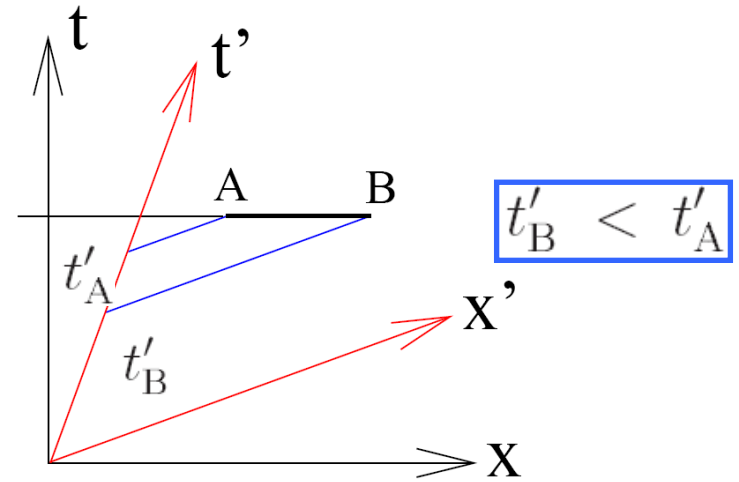
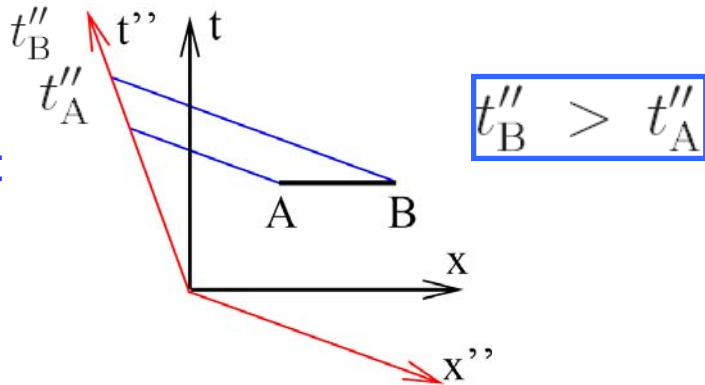


# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!



Sőt:



Vannak olyan A, B események:

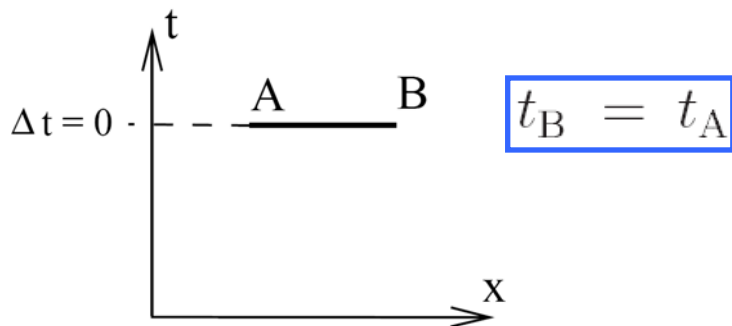
$$\left. \begin{array}{l} t'_B < t'_A \\ t_B = t_A \\ t''_B > t''_A \end{array} \right\}$$

attól függ,  
ki nézi

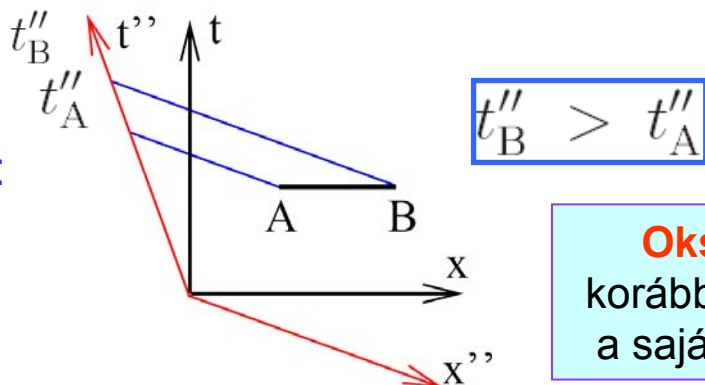


# Az egyidejűség relativitása

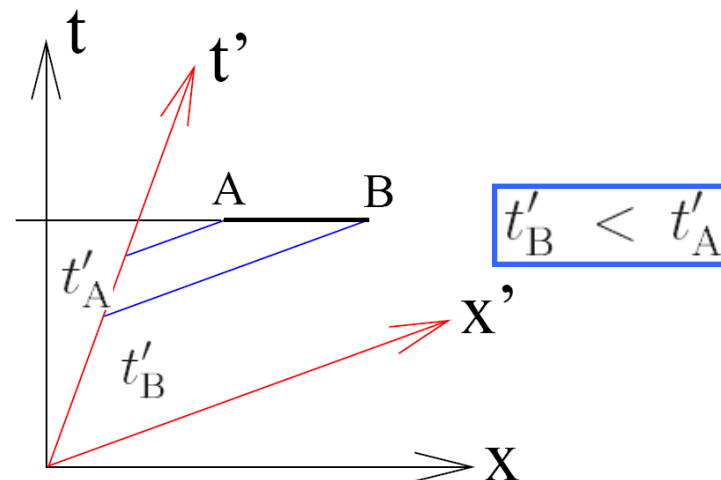
Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!



Sőt:



**Okság:** lehet, hogy korábban születtem, mint a saját nagymamám???



Vannak olyan A, B események:

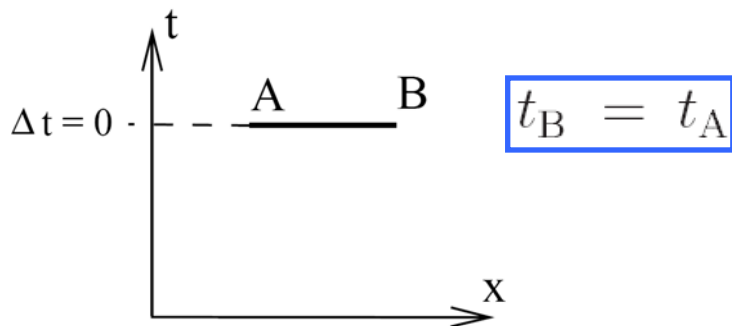
$$\left. \begin{array}{l} t'_B < t'_A \\ t_B = t_A \\ t''_B > t''_A \end{array} \right\}$$

attól függ, ki nézi

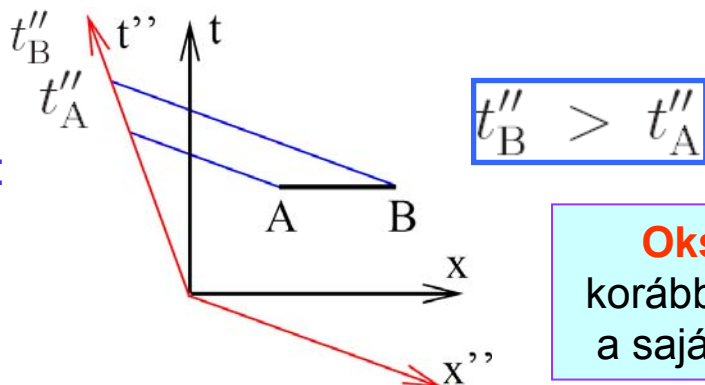


# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!



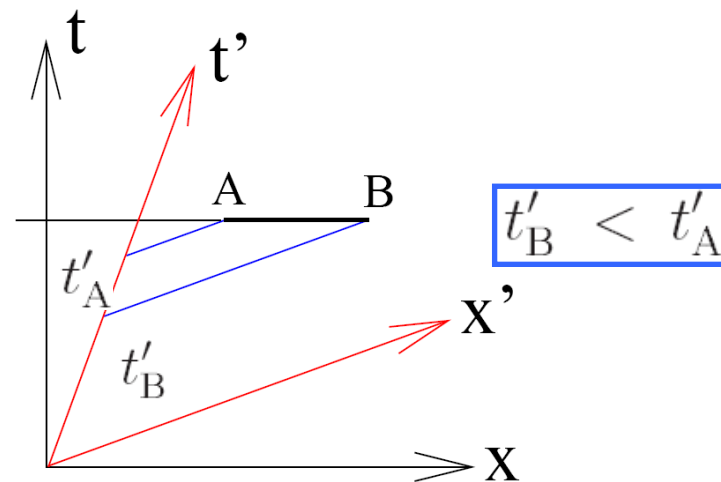
Sőt:



**Okság:** lehet, hogy korábban születtem, mint a saját nagymamám???

DE:

Vannak olyan C, D események is, amelyre:  $t_D > t_C$  **MINDEN** inerciarendszerben!



Vannak olyan A, B események:

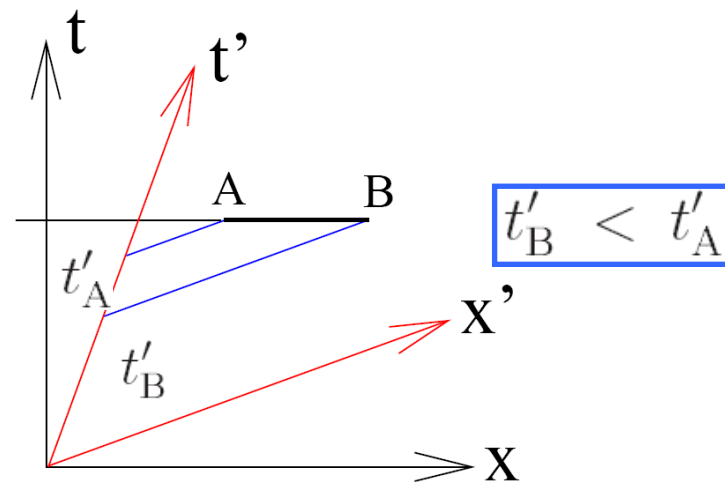
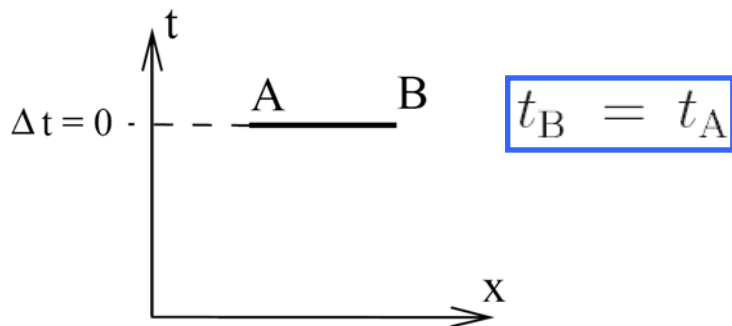
$$\left. \begin{array}{l} t'_B < t'_A \\ t_B = t_A \\ t''_B > t''_A \end{array} \right\}$$

attól függ, ki nézi

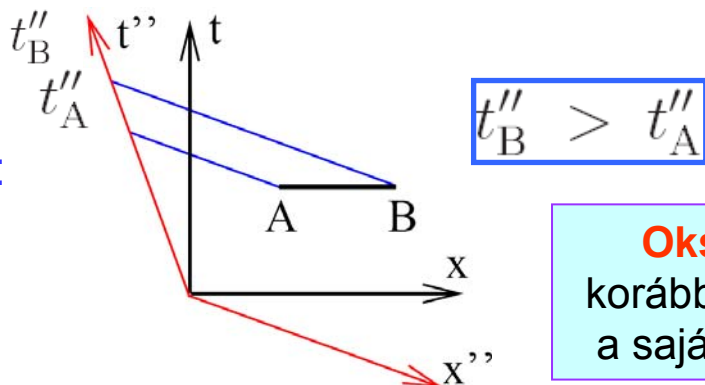


# Az egyidejűség relativitása

Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!



Sőt:



**Okság:** lehet, hogy korábban születtem, mint a saját nagymamám???

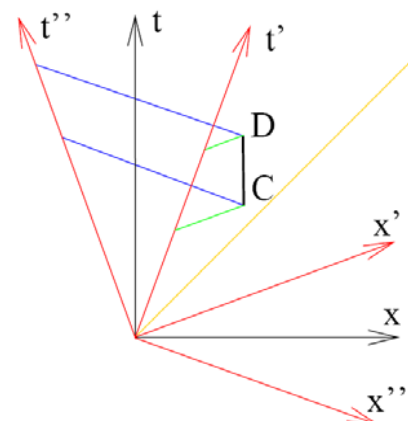
Vannak olyan A, B események:

$t'_B < t'_A$   
 $t_B = t_A$   
 $t''_B > t''_A$

attól függ, ki nézi

DE:

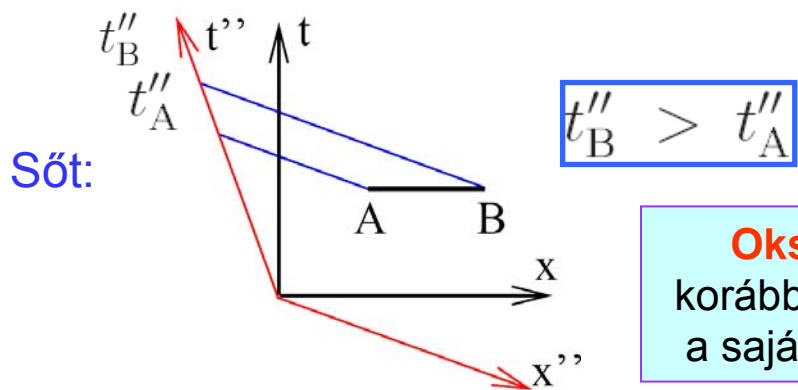
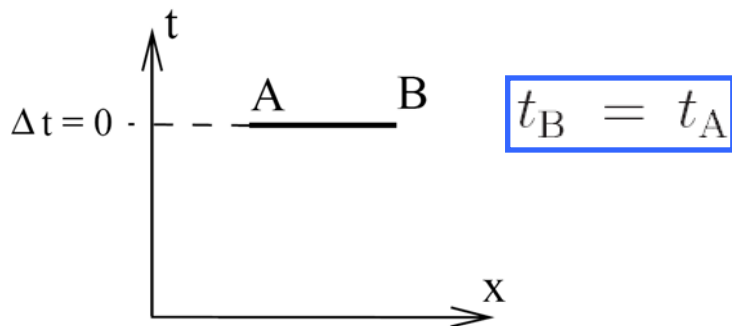
Vannak olyan C, D események is, amelyre:  $t_D > t_C$  **MINDEN** inerciarendszerben!





# Az egyidejűség relativitása

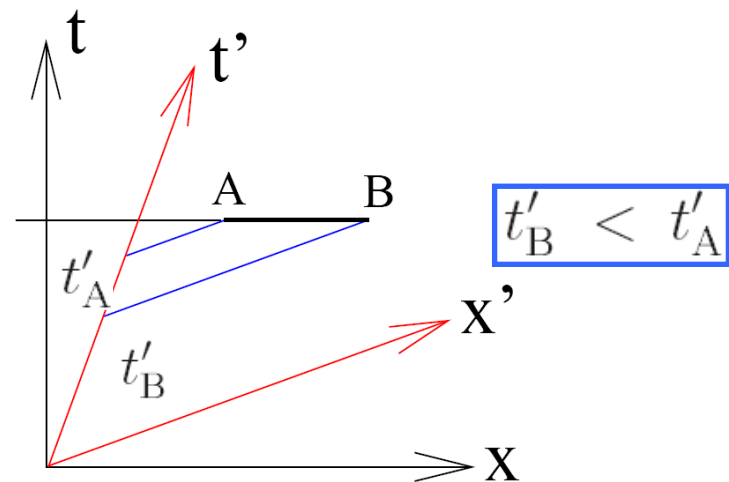
Ez az „alapparadoxon”: minden más „paradoxon” ebből következik!



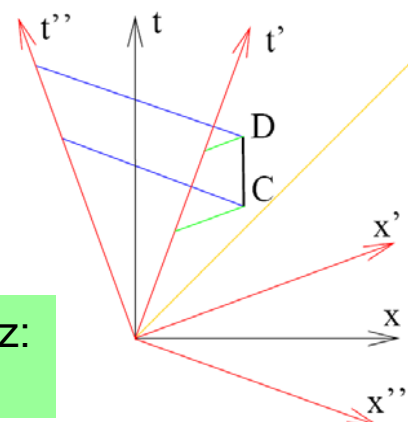
**Okság:** lehet, hogy korábban születtem, mint a saját nagymamám???

**DE:** Vannak olyan C, D események is, amelyre:  $t_D > t_C$  **MINDEN** inerciarendszerben!

Áll: ha a CD szakasz meredeksége  $> 1$ , ez minden IR-ben így lesz: C mindenki szerint korábban van, mint D



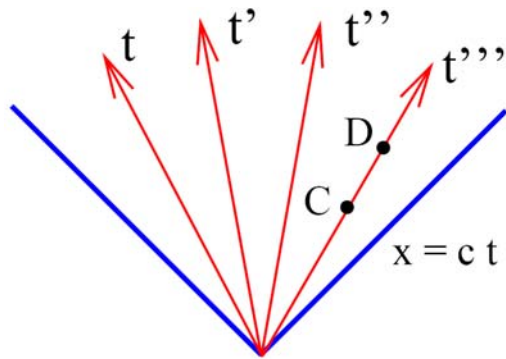
Vannak olyan A, B események:

$$\left. \begin{array}{l} t'_B < t'_A \\ t_B = t_A \\ t''_B > t''_A \end{array} \right\} \text{attól függ, ki nézi}$$


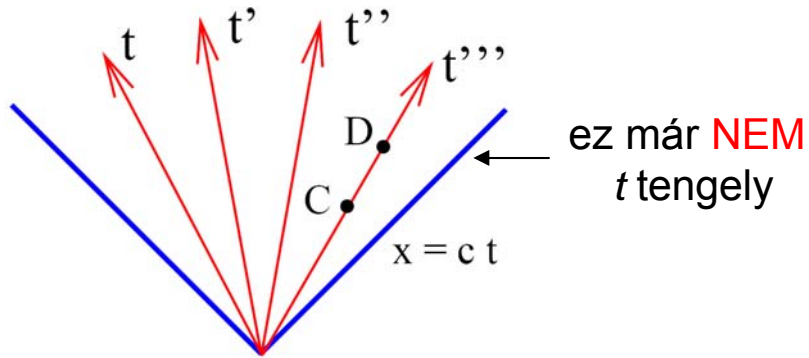
lehetséges  $t$  tengelyek:



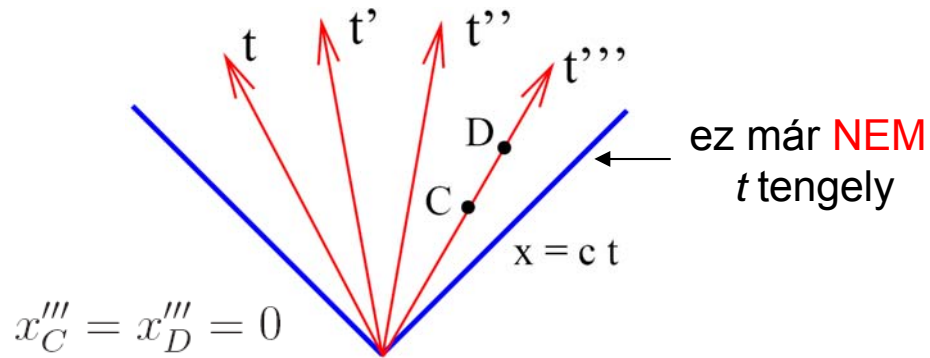
## Lehetséges $t$ tengelyek:



## lehetséges $t$ tengelyek:

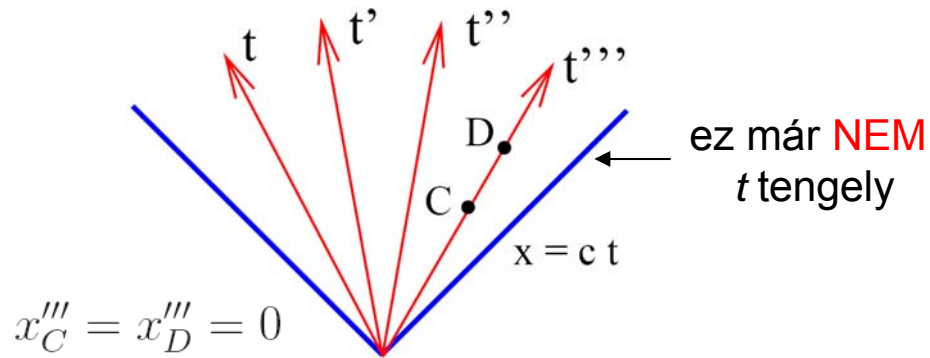


## Lehetséges $t$ tengelyek:



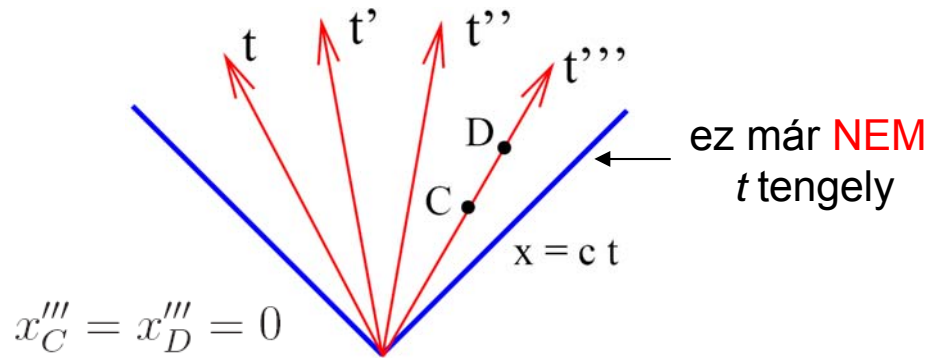
C és D ugyanott vannak, egymás után

## Lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

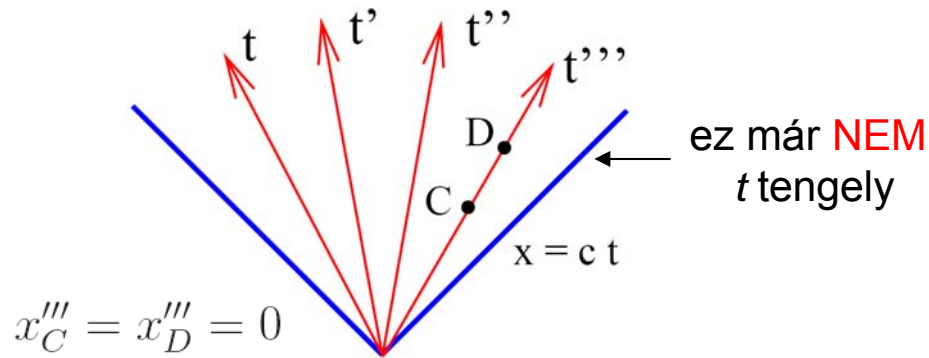
## Lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
időszerűen elválasztva:

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

## lehetséges $t$ tengelyek:



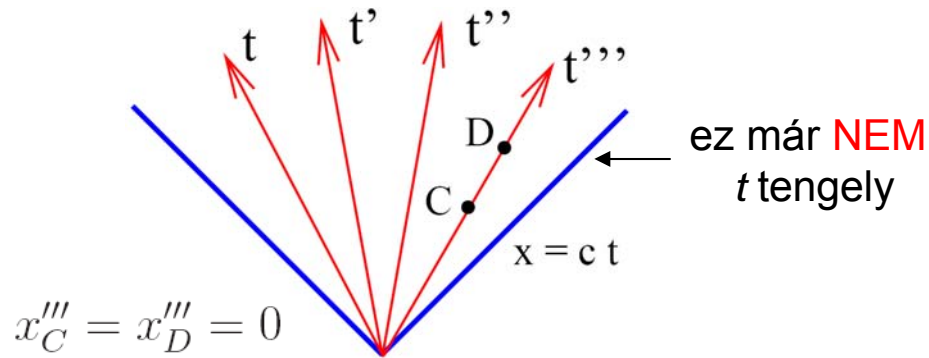
## lehetséges $x$ tengelyek:

C és D ugyanott vannak, egymás után  
időszerűen elválasztva:

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$



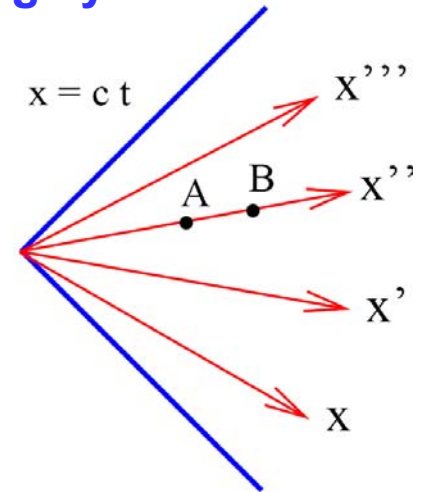
## lehetséges $t$ tengelyek:



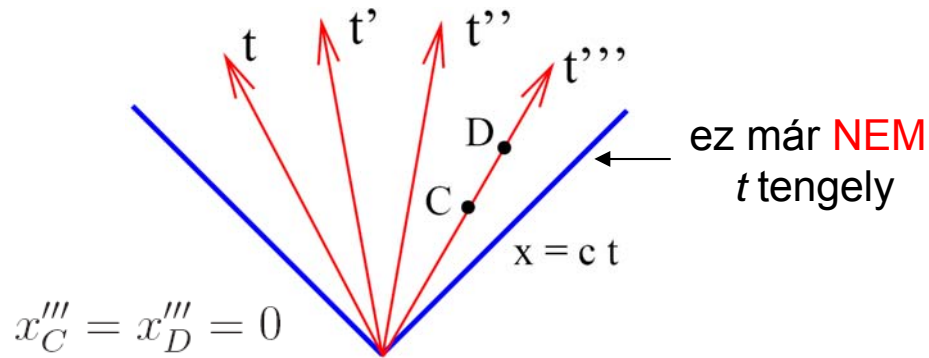
C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

## lehetséges $x$ tengelyek:



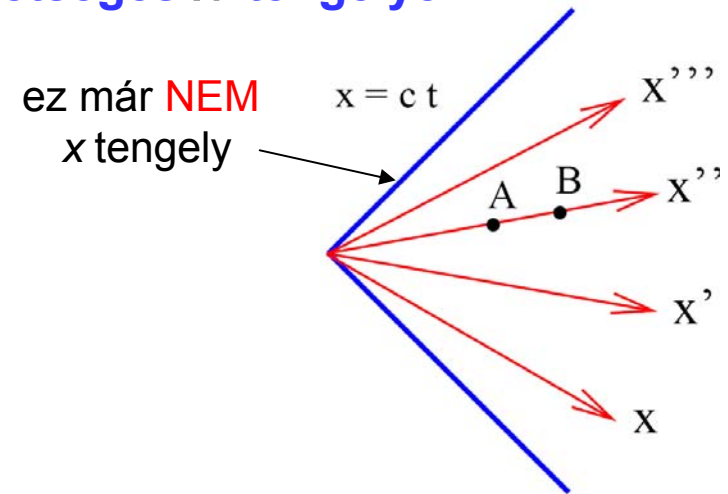
## Lehetséges $t$ tengelyek:



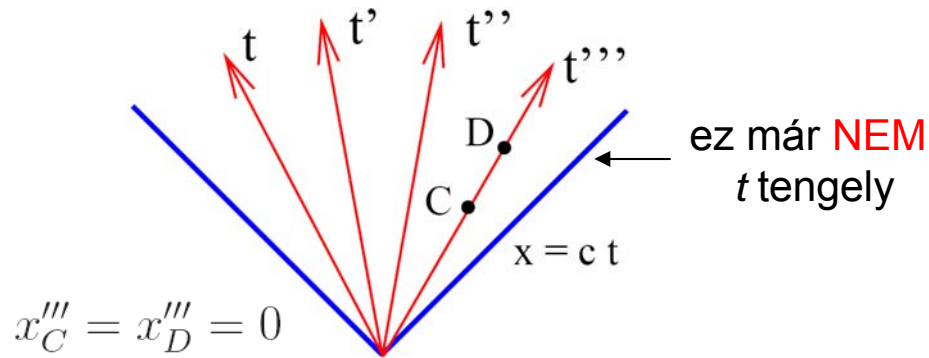
C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

## Lehetséges $x$ tengelyek:



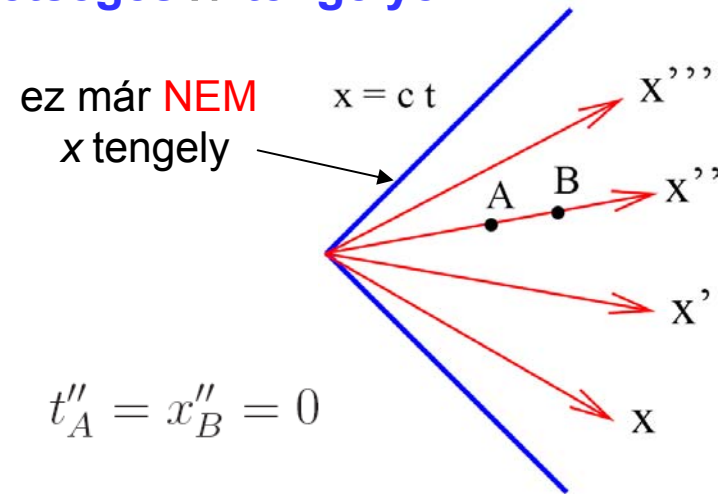
## Lehetséges $t$ tengelyek:



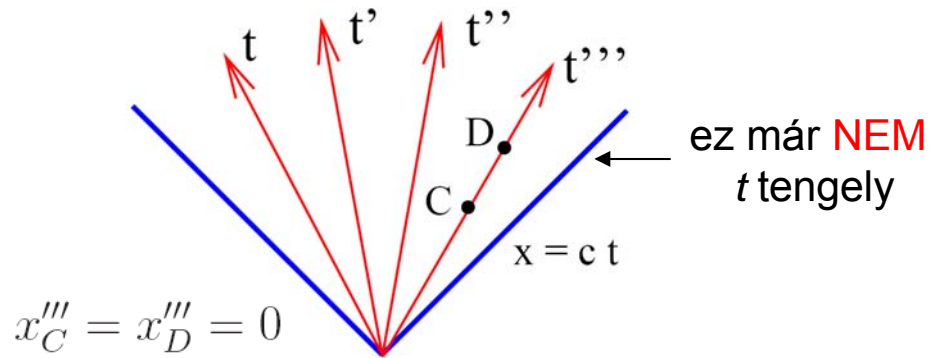
C és D ugyanott vannak, egymás után  
időszerűen elválasztva:

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

## Lehetséges $x$ tengelyek:



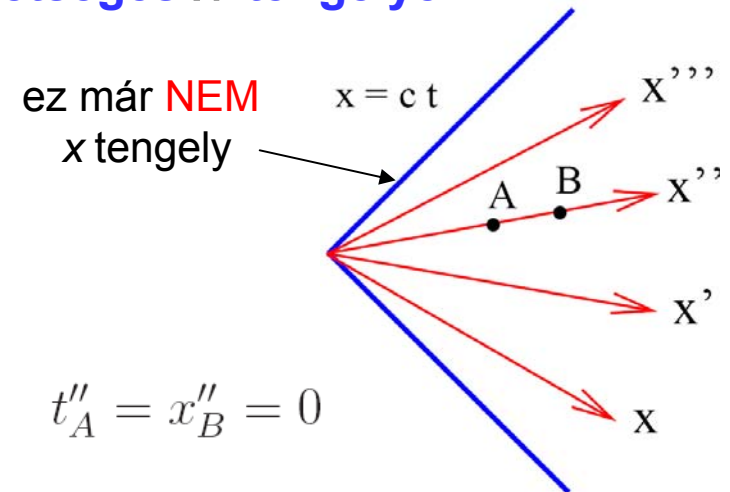
## Lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

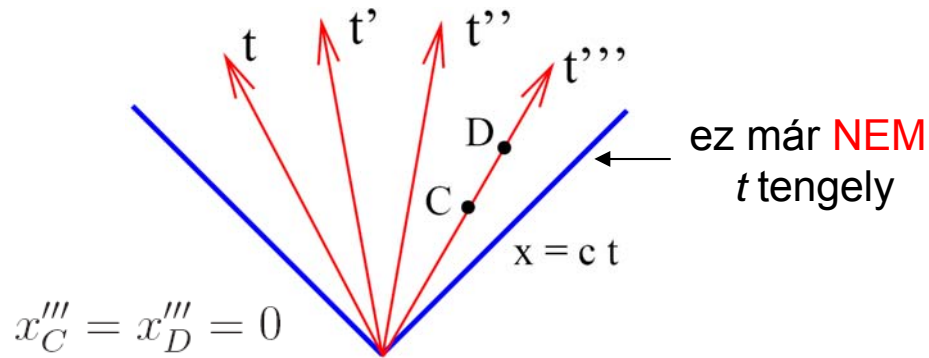
$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

## Lehetséges $x$ tengelyek:



A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett

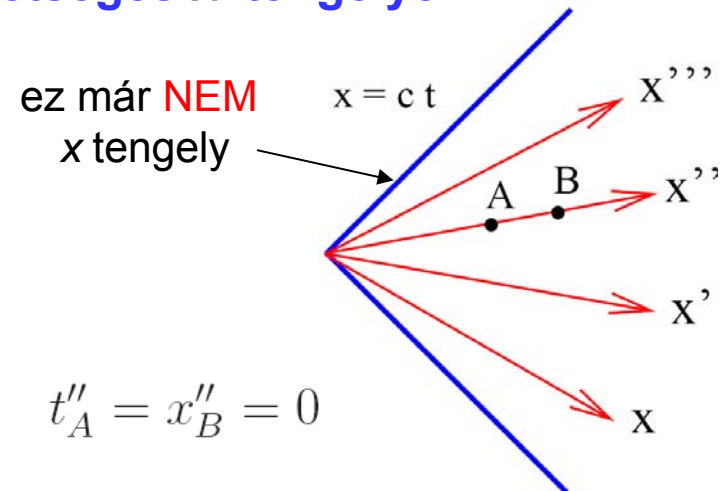
## Lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

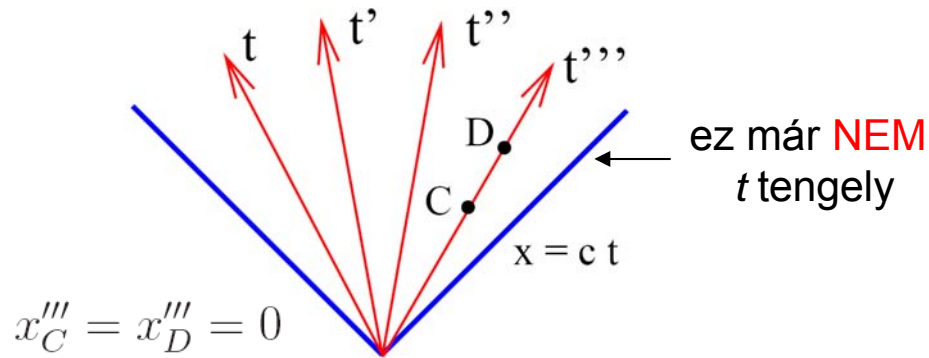
## Lehetséges $x$ tengelyek:



A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**



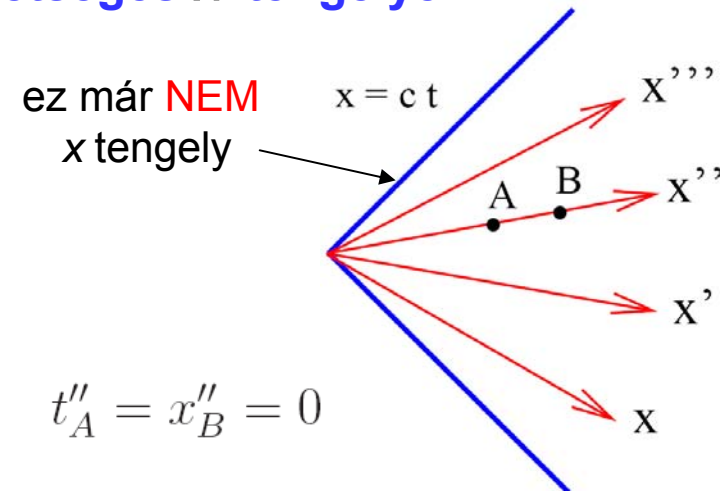
## Lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

## Lehetséges $x$ tengelyek:

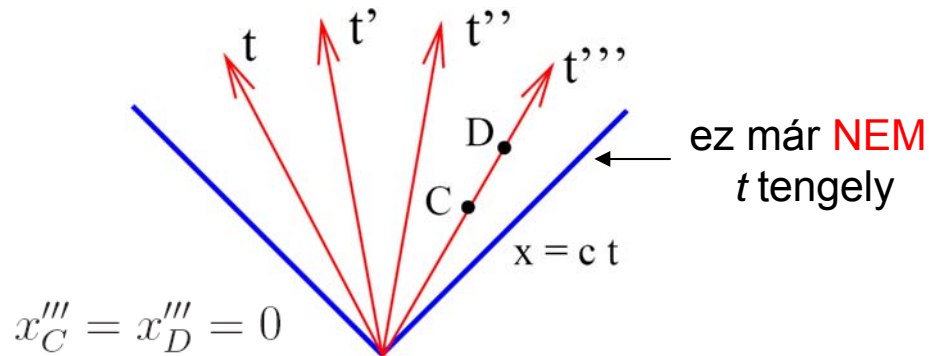


A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$



## Lehetséges $t$ tengelyek:

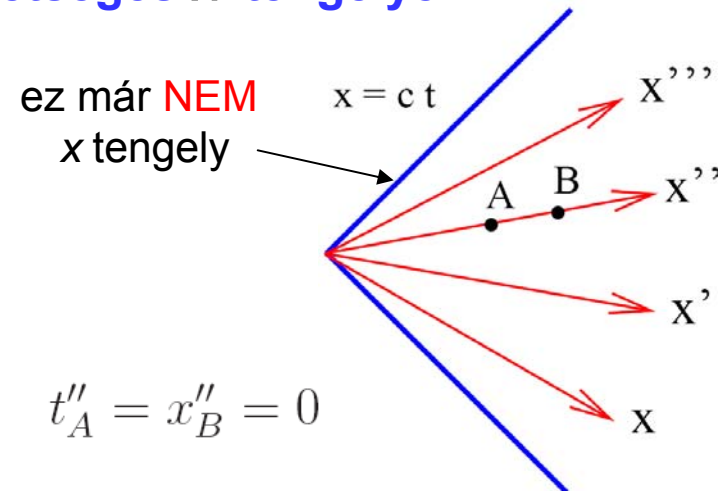


C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

invariáns állítások: minden megfigyelő így látja

## Lehetséges $x$ tengelyek:

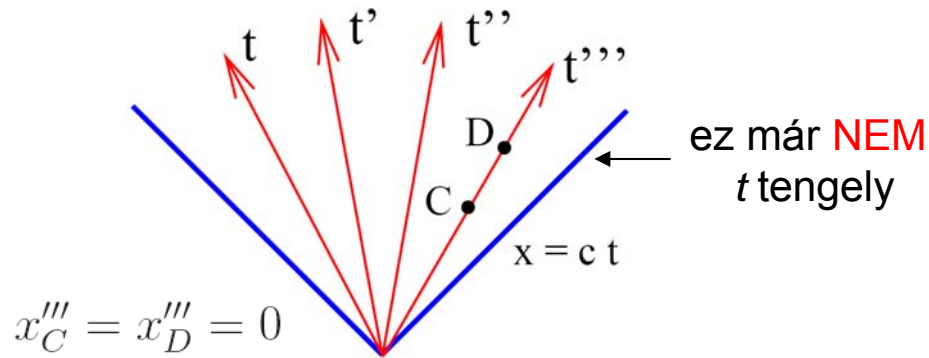


A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$



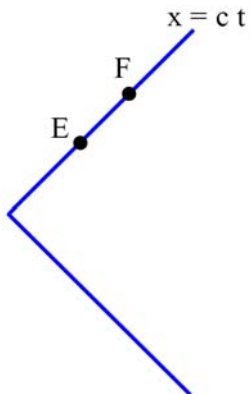
## Lehetséges $t$ tengelyek:



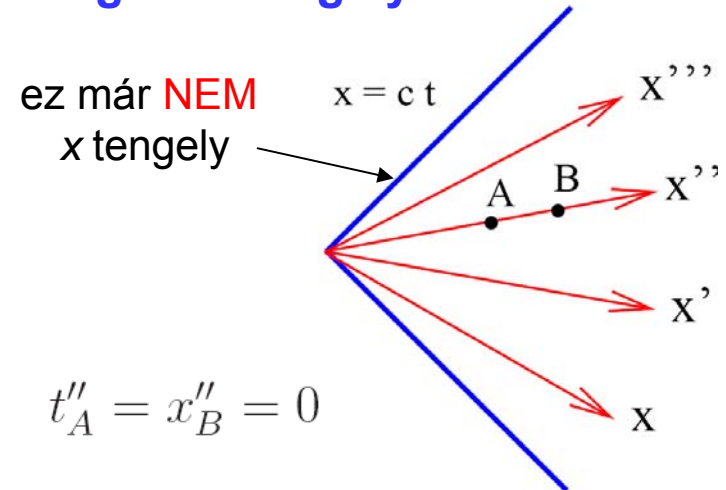
C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

invariáns állítások: minden megfigyelő így látja



## Lehetséges $x$ tengelyek:



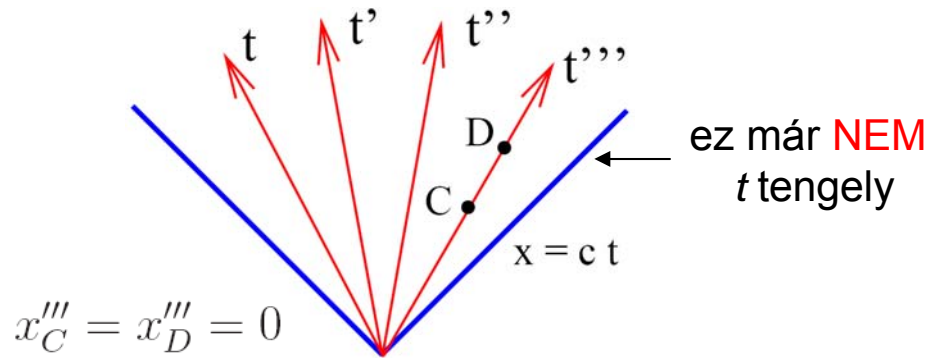
A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$





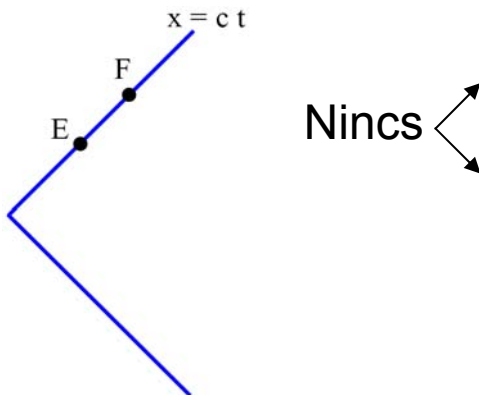
## Lehetséges $t$ tengelyek:



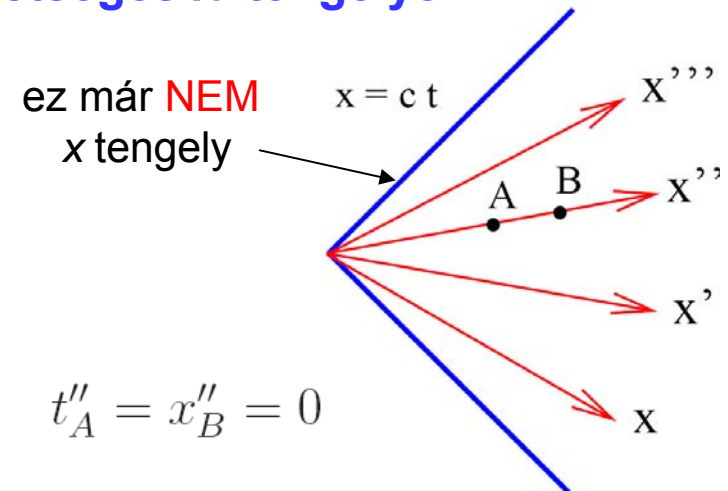
C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

invariáns állítások: minden megfigyelő így látja



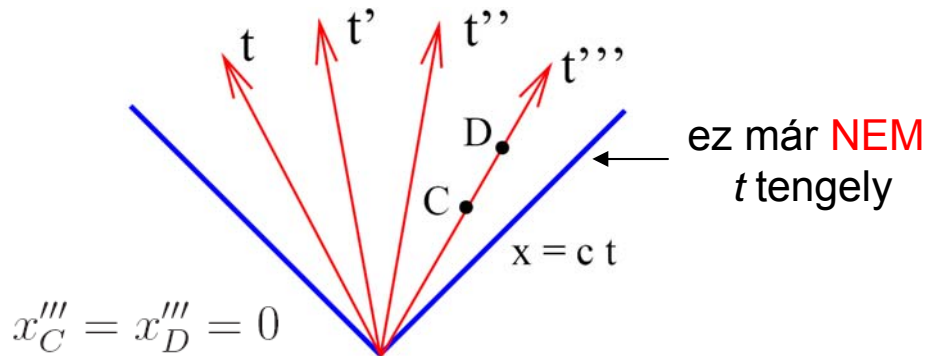
## Lehetséges $x$ tengelyek:



A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$

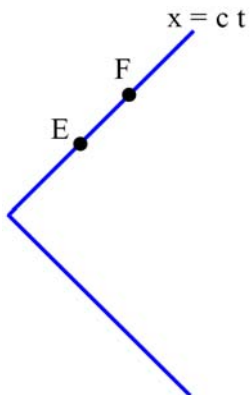
## lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

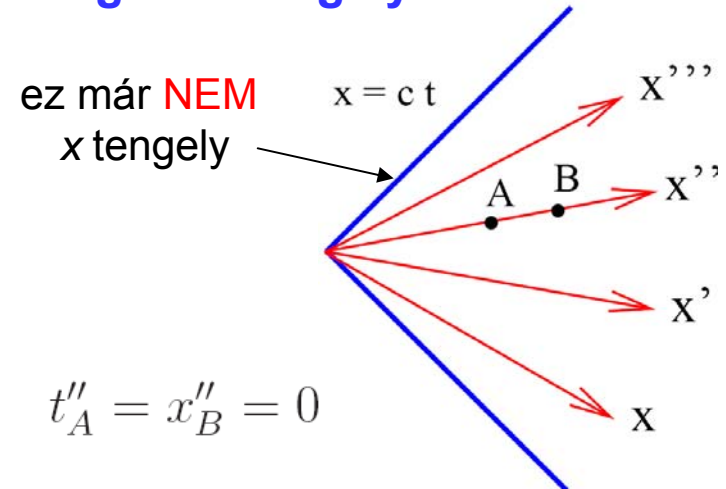
$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

invariáns állítások: minden megfigyelő így látja



Nincs  $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right.$  sem olyan KR, ahol egyszerre lennének

## lehetséges $x$ tengelyek:

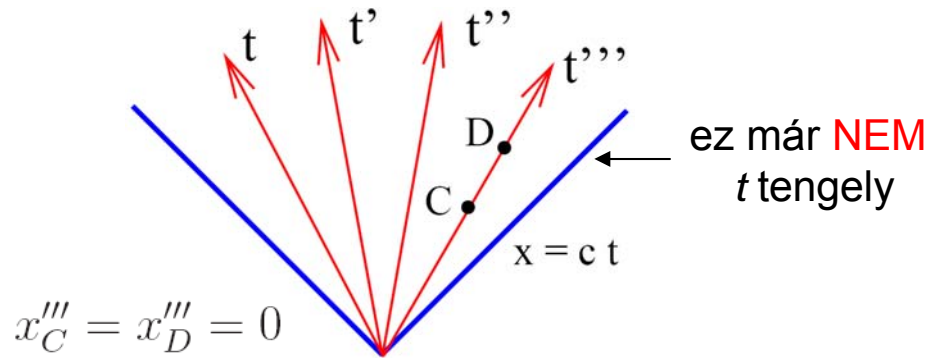


A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$



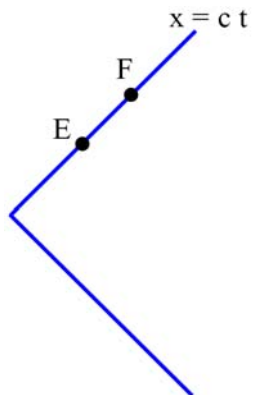
## lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

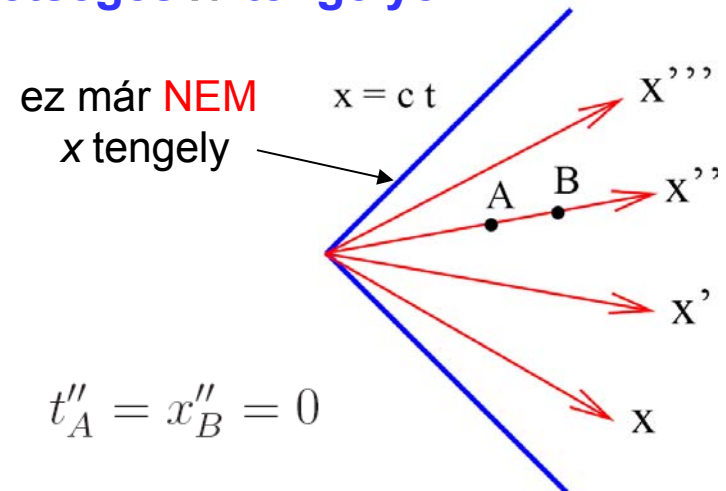
$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

invariáns állítások: minden megfigyelő így látja



Nincs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{sem olyan KR, ahol egyszerre lennének} \\ \text{sem olyan KR, ahol ugyanott lennének} \end{array} \right.$

## lehetséges $x$ tengelyek:

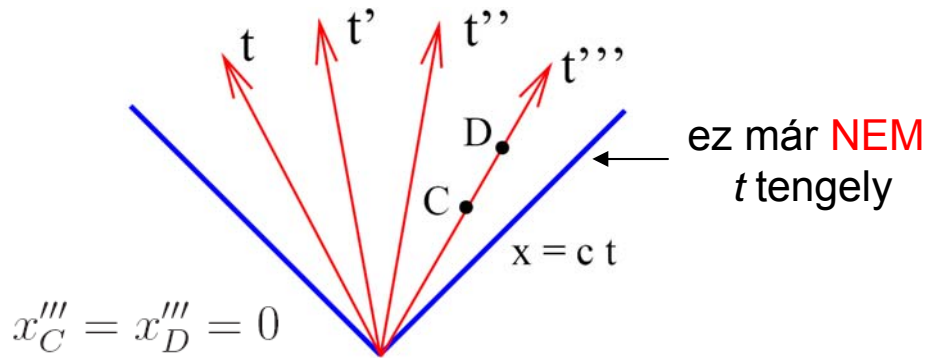


A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$



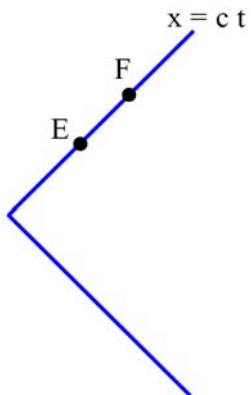
## lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

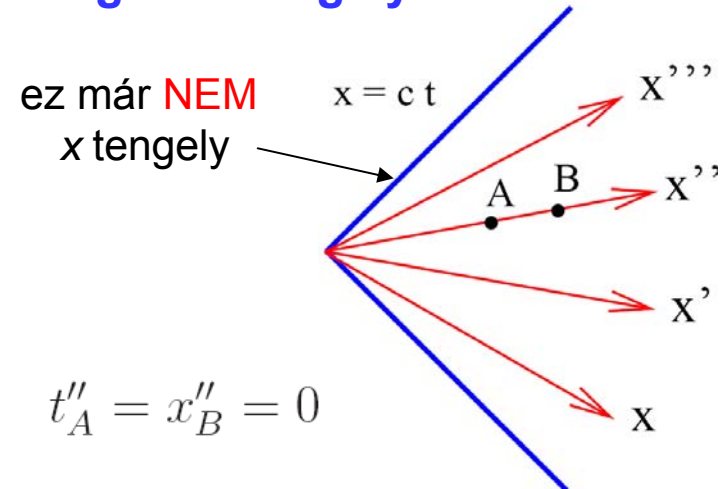
invariáns állítások: minden megfigyelő így látja



Nincs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{sem olyan KR, ahol egyszerre lennének} \\ \text{sem olyan KR, ahol ugyanott lennének} \end{array} \right.$

**fényszerűen** vannak elválasztva

## lehetséges $x$ tengelyek:

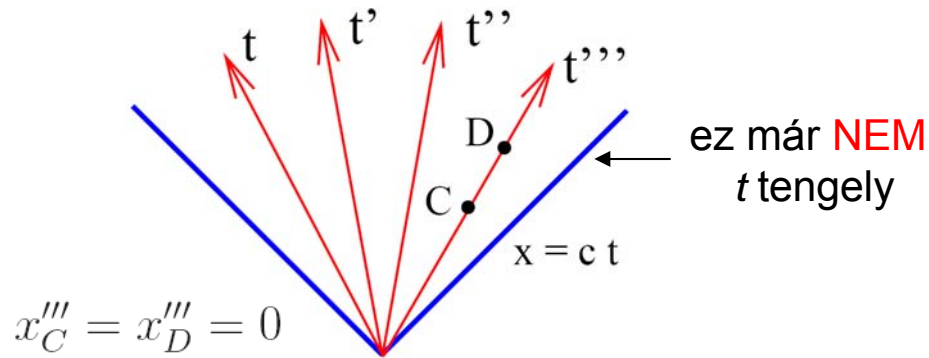


A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$



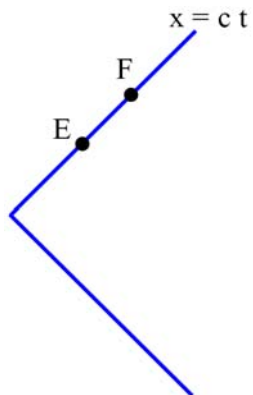
## lehetséges $t$ tengelyek:



C és D ugyanott vannak, egymás után  
**időszerűen elválasztva:**

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 > 0$$

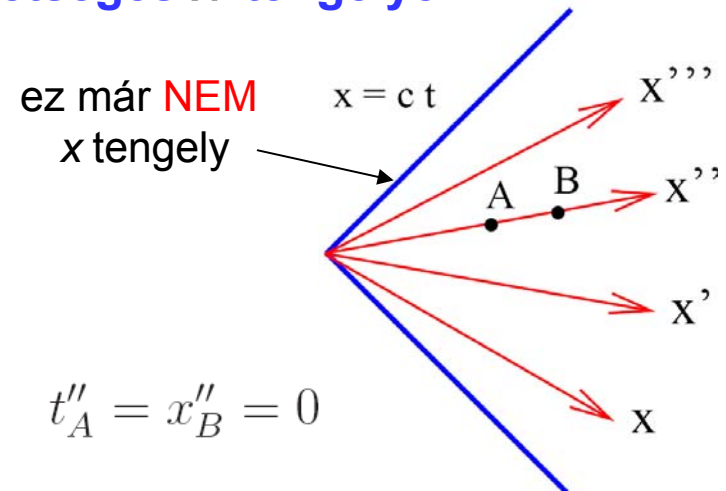
invariáns állítások: minden megfigyelő így látja



Nincs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{sem olyan KR, ahol egyszerre lennének} \\ \text{sem olyan KR, ahol ugyanott lennének} \end{array} \right.$

**fényszerűen** vannak elválasztva  $c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 = 0$

## lehetséges $x$ tengelyek:



A és B ugyanakkor vannak, egymás mellett  
**térszerűen elválasztva:**

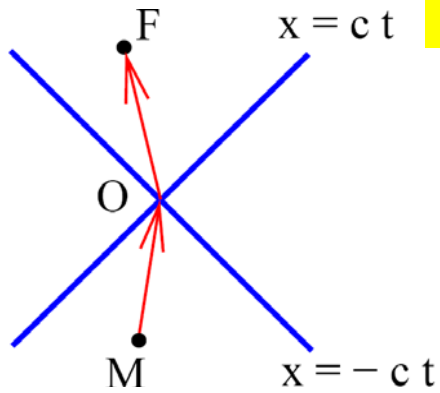
$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 < 0$$



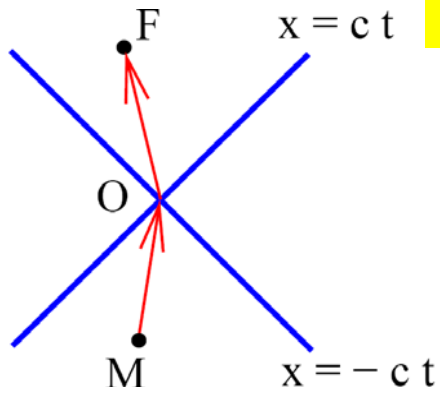
# Oksági kapcsolatok



# Oksági kapcsolatok



## Oksági kapcsolatok

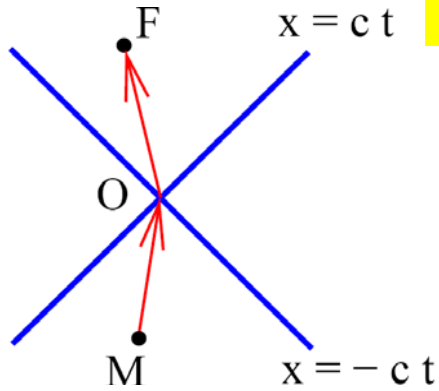


$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$





## Oksági kapcsolatok



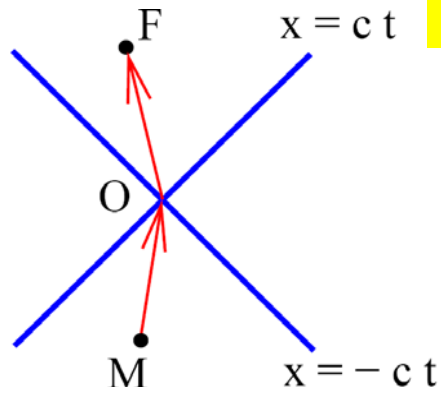
$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$

lehetséges hatás:

**c**-nél kisebb sebességgel:



## Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$

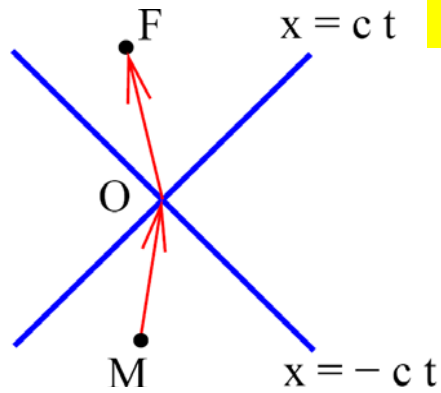
lehetséges hatás:

**c**-nél kisebb sebességgel:

kauzális kapcsolat:



## Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$

lehetséges hatás:

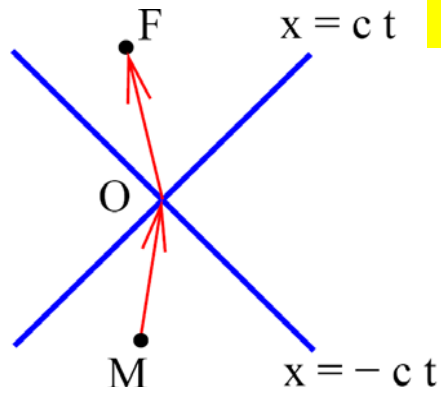
**c**-nél kisebb sebességgel:

kauzális kapcsolat:

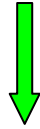
$M \rightarrow O \rightarrow F$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



lehetséges hatás:

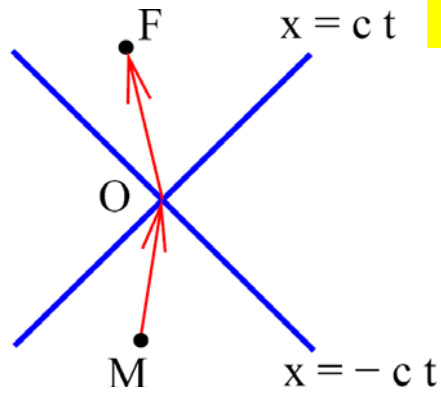
$c$ -nél kisebb sebességgel:  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

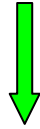
$M \rightarrow O \rightarrow F$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



$$\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$$

lehetséges hatás:

**c**-nél kisebb sebességgel:

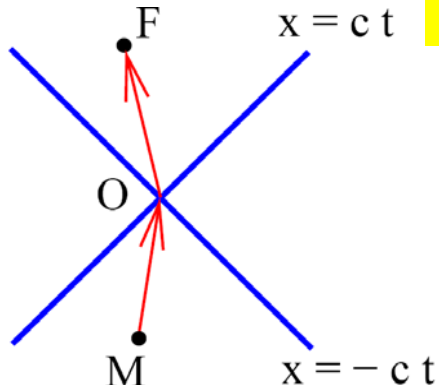
kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

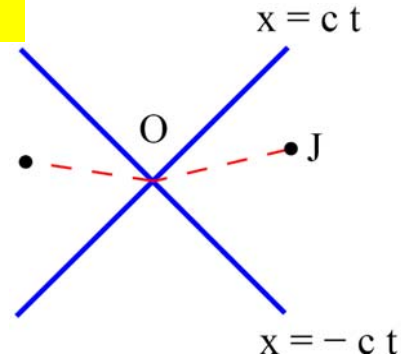
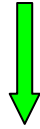
**időszerűen elválasztott pontok**



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



lehetséges hatás:

**c**-nél kisebb sebességgel:  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

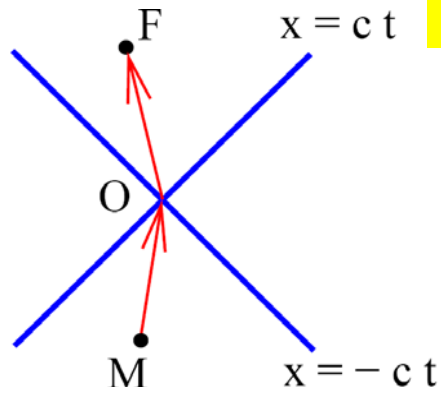
$M \rightarrow O \rightarrow F$

térszerűen elválasztott pontok

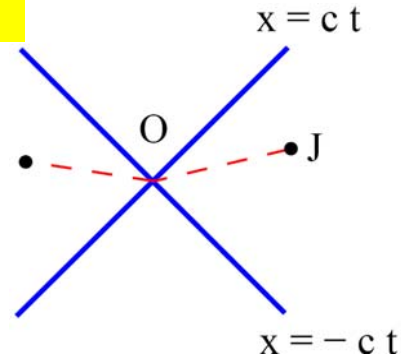
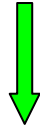
időszerűen elválasztott pontok



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



nem lehet hatást közvetíteni

lehetséges hatás:

$c$ -nél kisebb sebességgel:  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

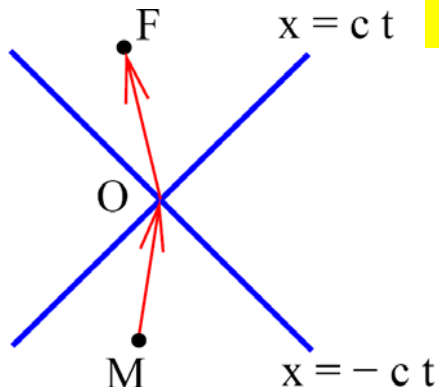
$M \rightarrow O \rightarrow F$

térszerűen elválasztott pontok

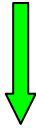
időszerűen elválasztott pontok



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



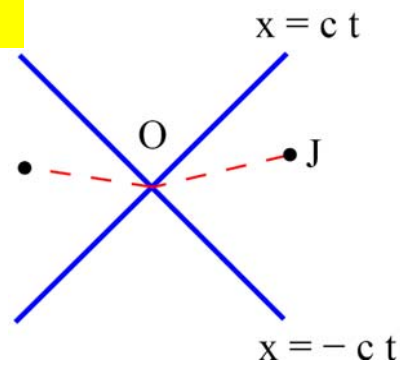
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni



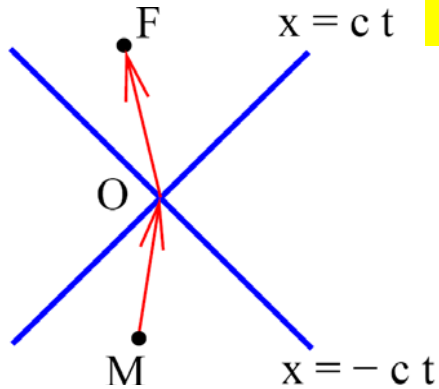
$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

**térszerűen elválasztott pontok**

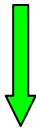




# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



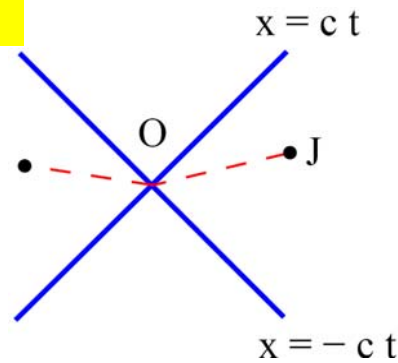
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

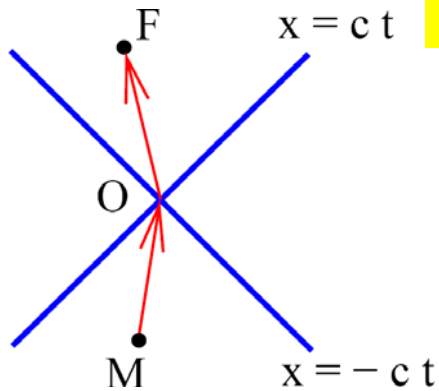


**térszerűen elválasztott pontok**

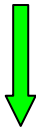
$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



lehetséges hatás:

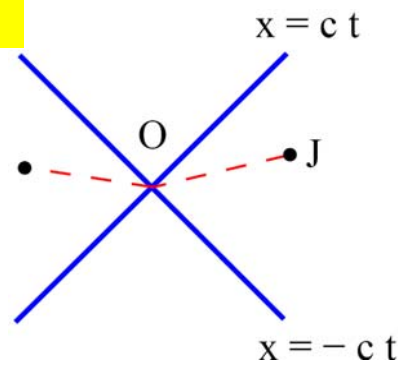
**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**

**fényszerűen elválasztott pontok** halmaza a **fénykúp**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

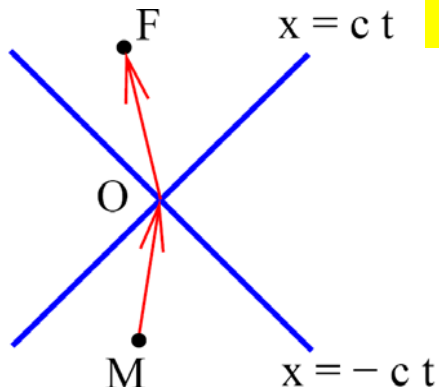


**térszerűen elválasztott pontok**

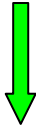
$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



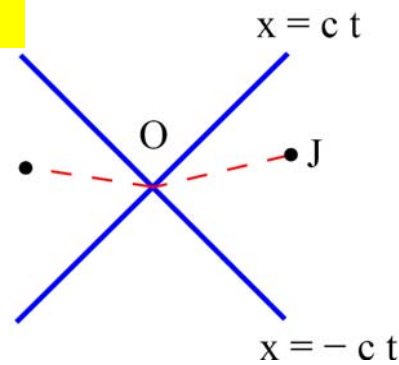
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

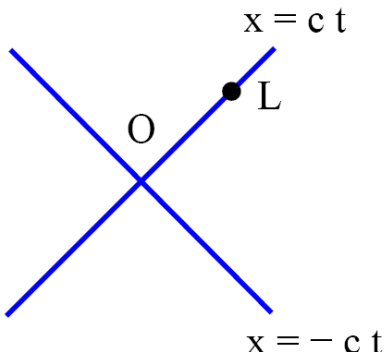
$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$



**térszerűen elválasztott pontok**

$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

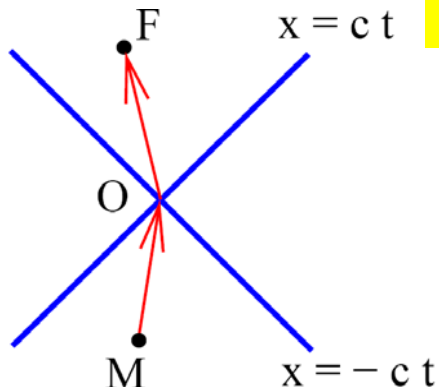
**fényszerűen elválasztott pontok** halmaza a **fénykúp**



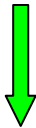
$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



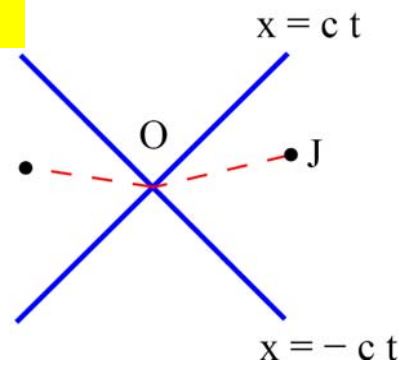
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

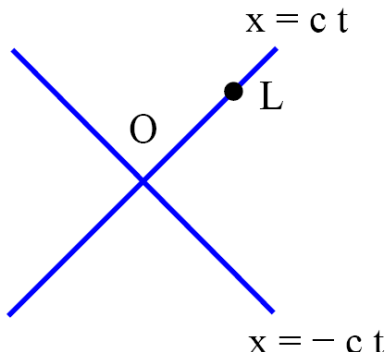
$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$



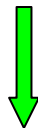
**térszerűen elválasztott pontok**

$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

**fényszerűen elválasztott pontok** halmaza a **fénykúp**



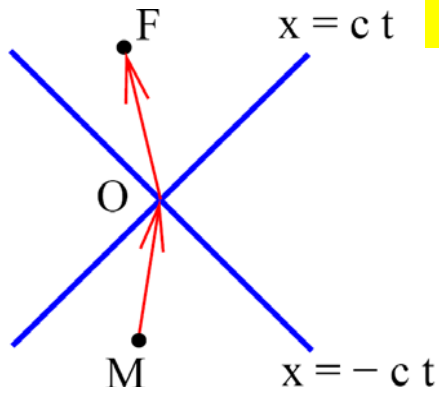
$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$



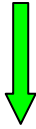
$$\left| \frac{x_L}{t_L} \right| = c$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



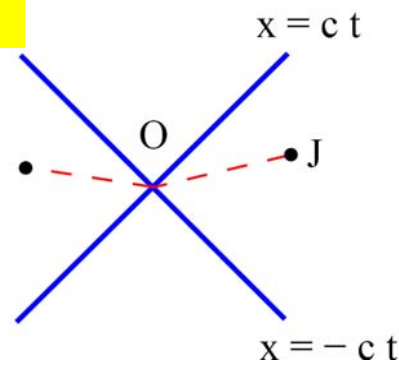
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

**kauzális kapcsolat:**

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

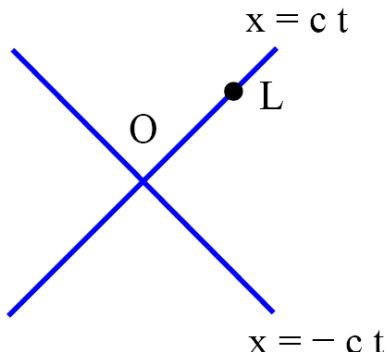


**térszerűen elválasztott pontok**

$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

több dimenzióban

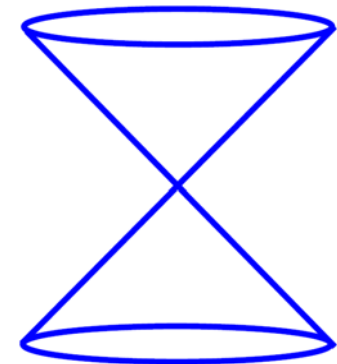
**fényszerűen elválasztott pontok halmaza a fénykúp**



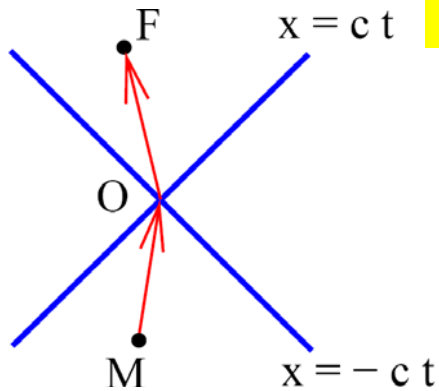
$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$



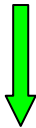
$$\left| \frac{x_L}{t_L} \right| = c$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



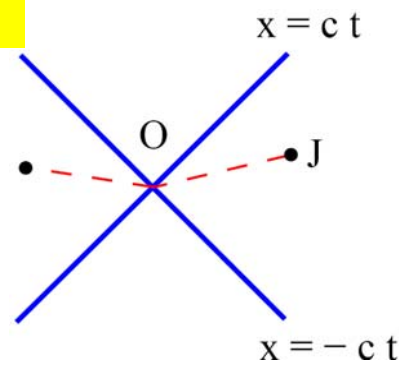
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

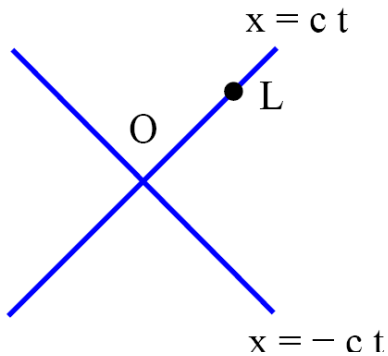


**térszerűen elválasztott pontok**

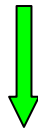
$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

több dimenzióban

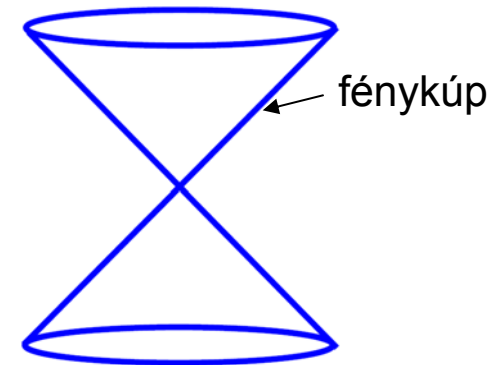
**fényszerűen elválasztott pontok** halmaza a **fénykúp**



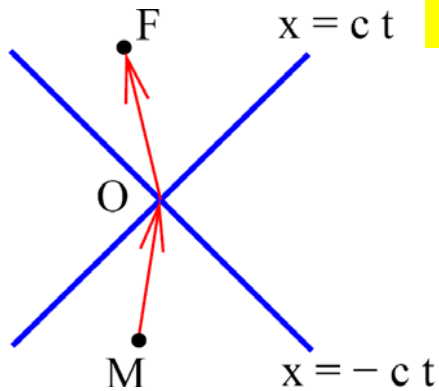
$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$



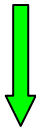
$$\left| \frac{x_L}{t_L} \right| = c$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



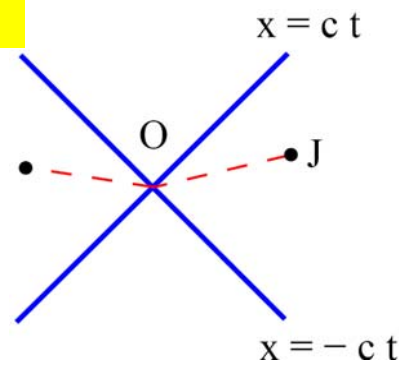
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

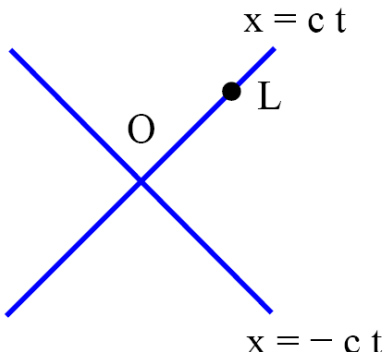


**térszerűen elválasztott pontok**

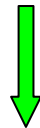
$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

több dimenzióban

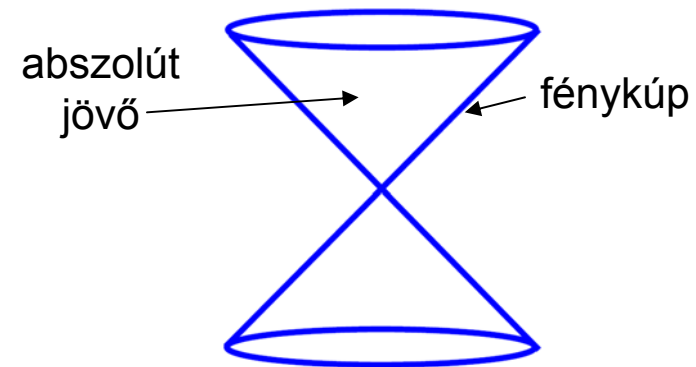
fényszerűen elválasztott pontok halmaza a **fénykúp**



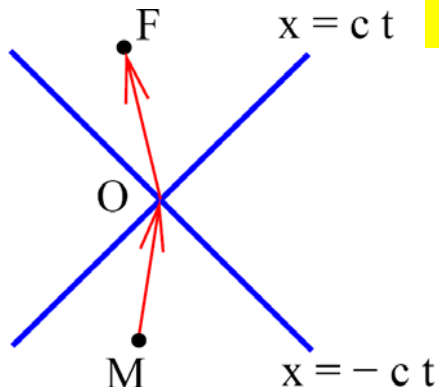
$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$



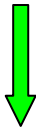
$$\left| \frac{x_L}{t_L} \right| = c$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



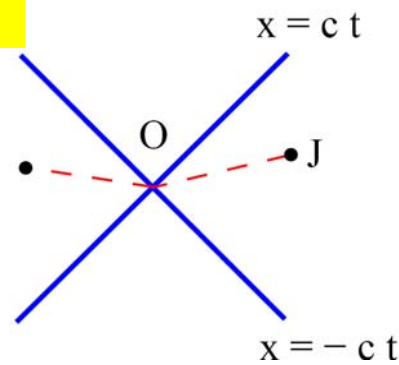
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

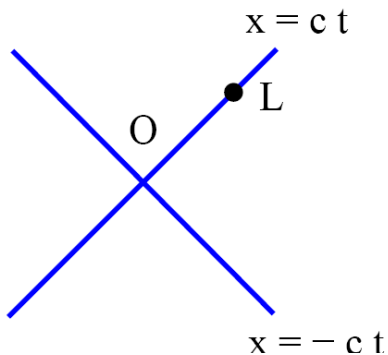


**térszerűen elválasztott pontok**

$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

több dimenzióban

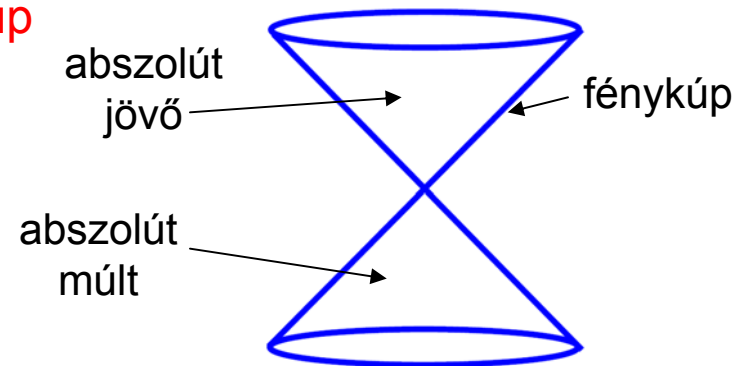
**fényszerűen elválasztott pontok** halmaza a **fénykúp**



$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$

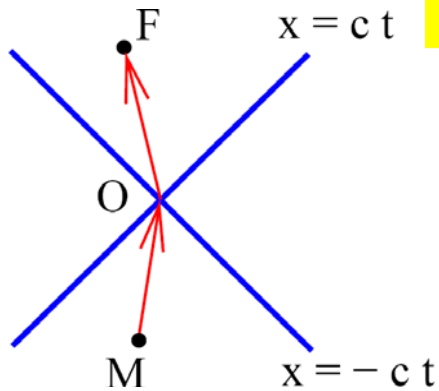


$$\left| \frac{x_L}{t_L} \right| = c$$

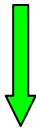




# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



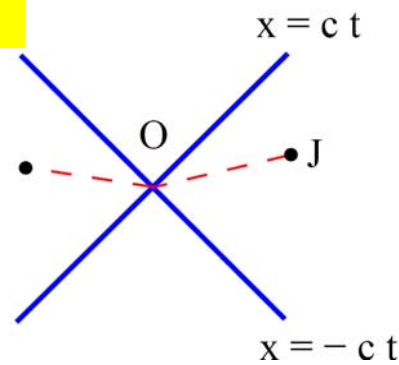
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

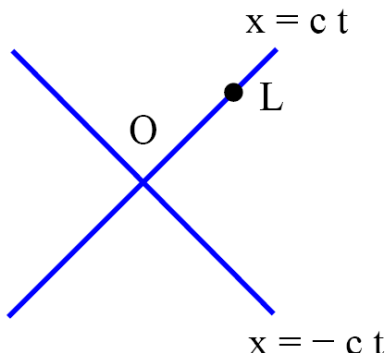


**térszerűen elválasztott pontok**

$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

több dimenzióban

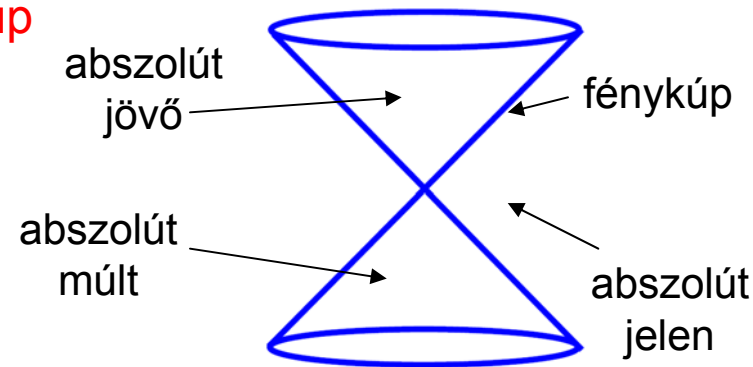
**fényszerűen elválasztott pontok** halmaza a **fénykúp**



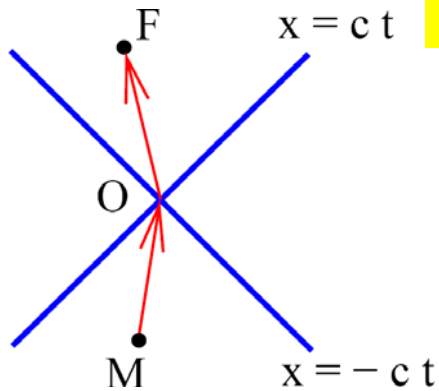
$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$



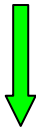
$$\left| \frac{x_L}{t_L} \right| = c$$



# Oksági kapcsolatok



$$c^2 t_F^2 - x_F^2 > 0$$



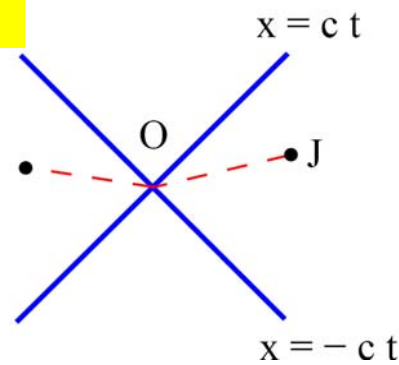
lehetséges hatás:

**c-nél kisebb sebességgel:**  $\left| \frac{x_F}{t_F} \right| < c$

kauzális kapcsolat:

$M \rightarrow O \rightarrow F$

**időszerűen elválasztott pontok**



nem lehet hatást közvetíteni

$$c^2 t_J^2 - x_J^2 < 0$$

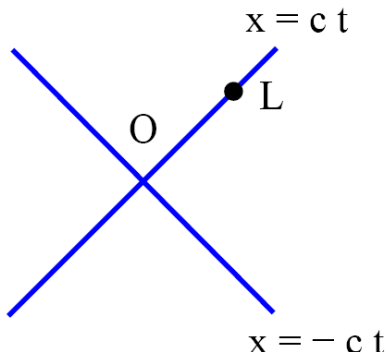


**térszerűen elválasztott pontok**

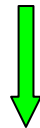
$$\left| \frac{x_J}{t_J} \right| > c$$

több dimenzióban

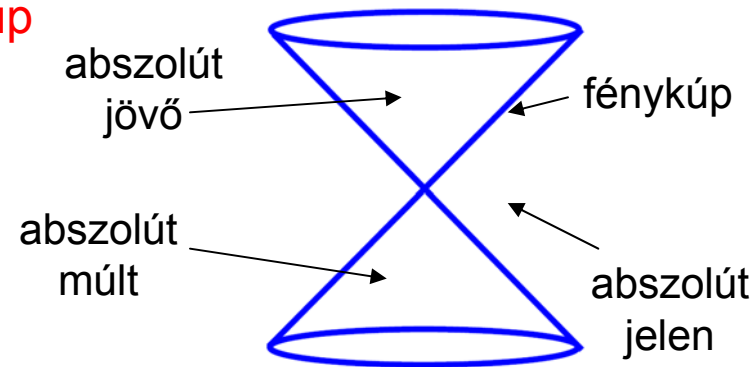
fényszerűen elválasztott pontok halmaza a **fénykúp**



$$c^2 t_L^2 - x_L^2 = 0$$



$$\left| \frac{x_L}{t_L} \right| = c$$



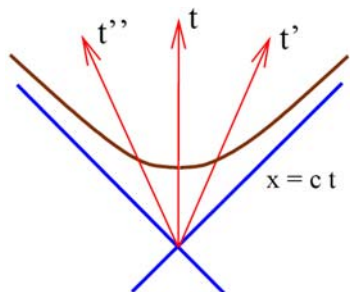
relativitás helyett **„abszolútitás”**-elmélet



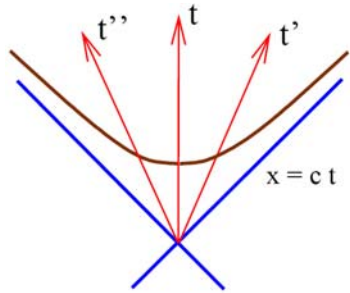
# Egységek



# Egységek



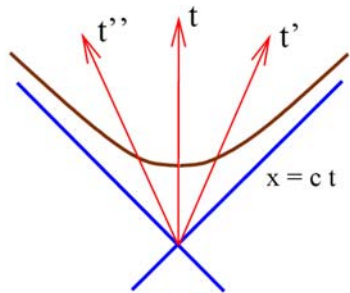
# Egységek




Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,

$$t' = 1, x' = 0 \quad (c = 1)$$

# Egységek

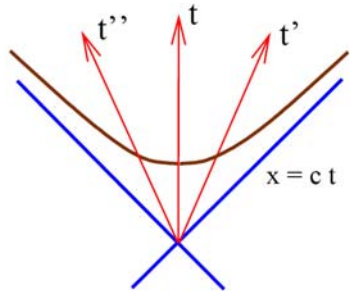


Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ ) 

$$t^2 - x^2 = 1$$



# Egységek



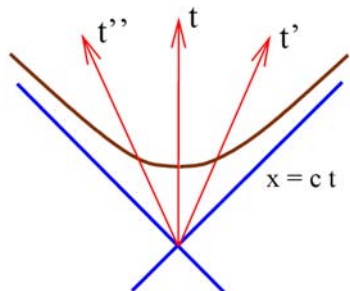
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ ) ➔

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola



# Egységek



Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,

$$t' = 1, x' = 0 \quad (c = 1)$$



$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola

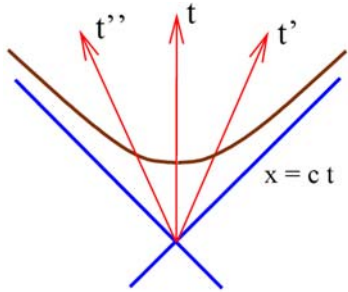
Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,


$$t' = -1, x' = 0$$





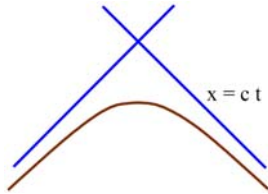
# Egységek



Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ ) 

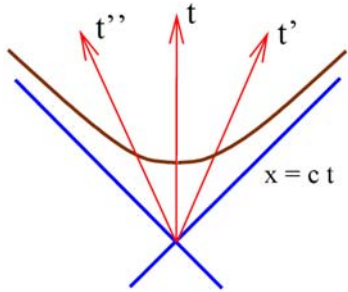
$$t^2 - x^2 = 1$$


hiperbola



Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$

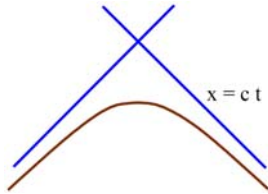
# Egységek



Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ ) 

$$t^2 - x^2 = 1$$

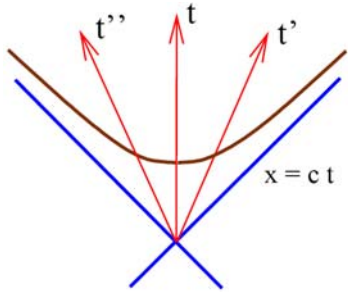
hiperbola




Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$

Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?  
 $t' = 0, x' = 1$

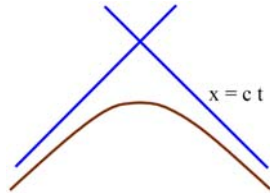
# Egységek



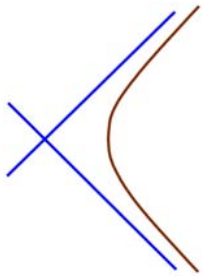
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ ) 

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola

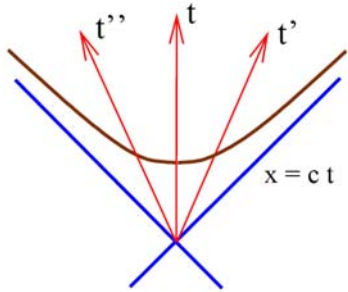


Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$



Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?  
 $t' = 0, x' = 1$

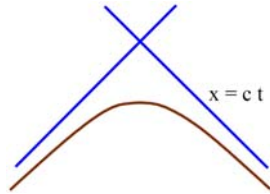
# Egységek



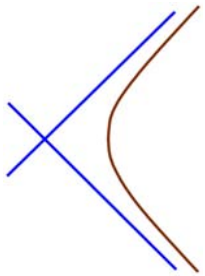
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ )  $\longrightarrow$

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola



Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$

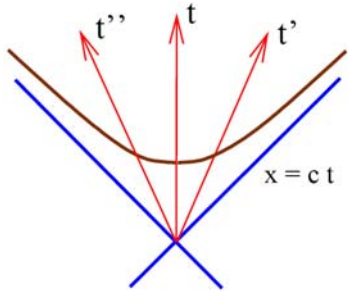


Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?

$$t' = 0, x' = 1$$

$$\longrightarrow t^2 - x^2 = -1$$

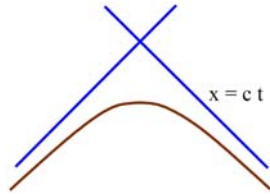
# Egységek



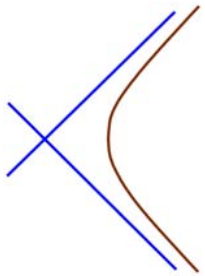
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ )  $\longrightarrow$

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola



Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$



Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?

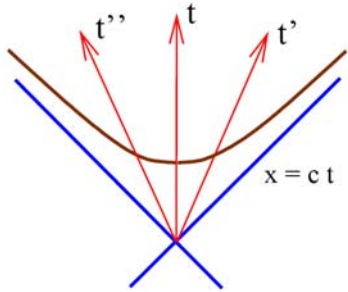
$$t' = 0, x' = 1$$

$$\longrightarrow t^2 - x^2 = -1$$

És balra?



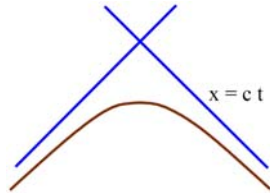
# Egységek



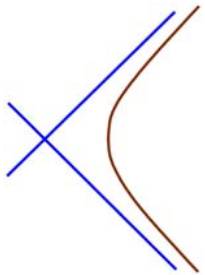
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ )  $\longrightarrow$

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola



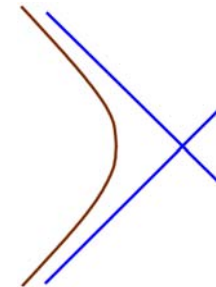
Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$



Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?

$$t' = 0, x' = 1$$

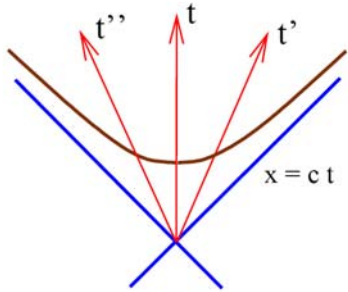
$$\longrightarrow t^2 - x^2 = -1$$



És balra?



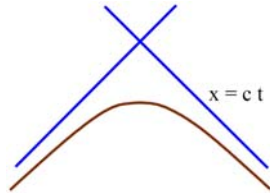
# Egységek



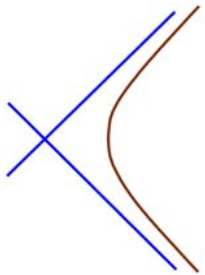
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ ) ➔

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola



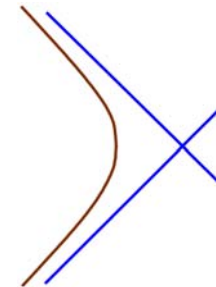
Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$



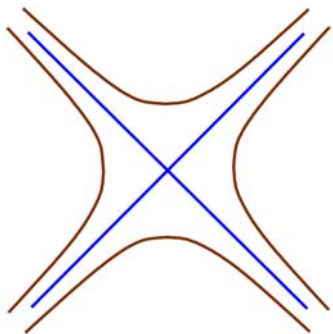
Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?

$$t' = 0, x' = 1$$

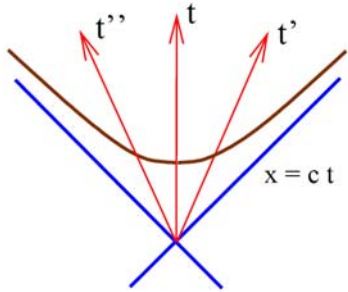
➔  $t^2 - x^2 = -1$



És balra?



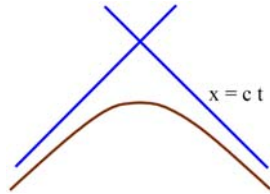
# Egységek



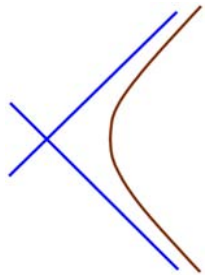
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ )  $\longrightarrow$

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola

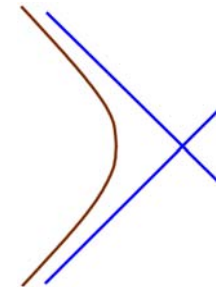


Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$

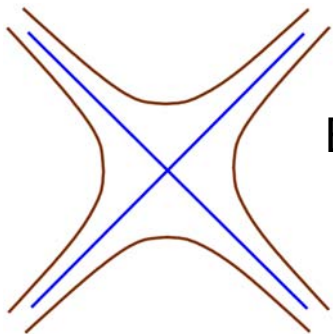


Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?  
 $t' = 0, x' = 1$

$$\longrightarrow t^2 - x^2 = -1$$



És balra?

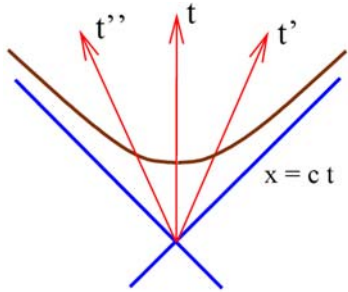


Ezek együtt az origótól egységnyi „távolságra”  
 lévő pontok halmaza: **indikátrix-hiperbola**





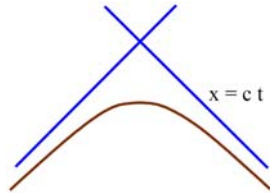
# Egységek



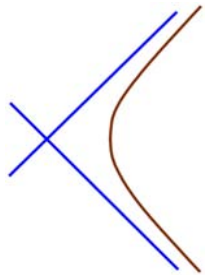
Keressük azon pontokat, amelyek valamely  $K'$  KR-ben  $t' = 1$  időegységgel vannak az origó után,  
 $t' = 1, x' = 0$  ( $c = 1$ ) ➔

$$t^2 - x^2 = 1$$

hiperbola

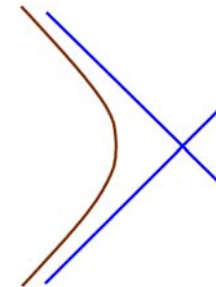


Pontok  $t' = -1$  egységgel az origó előtt,  
 $t' = -1, x' = 0$

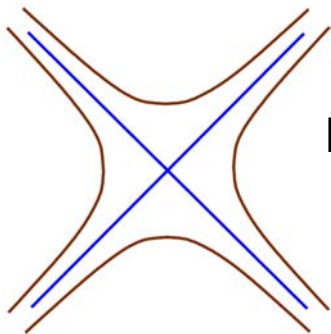


Mely pontok vannak valamely KR-ben  
 $x' = 1$  egységre az origótól jobbra?  
 $t' = 0, x' = 1$

➔  $t^2 - x^2 = -1$

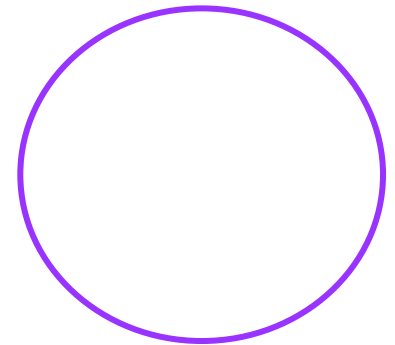


És balra?



Ezek együtt az origótól egységnyi „távolságra”  
 lévő pontok halmaza: **indikatrix-hyperbola**

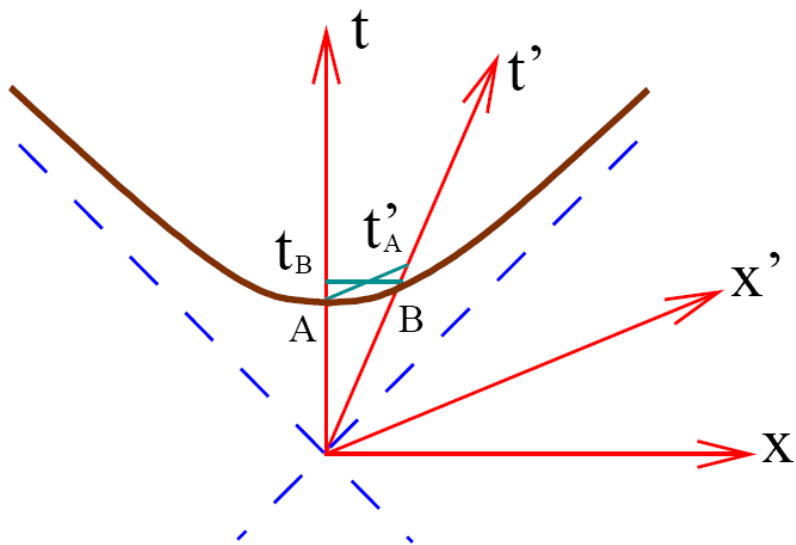
Euklideszi megfelelője az egységkör:



# „Időlassulás”

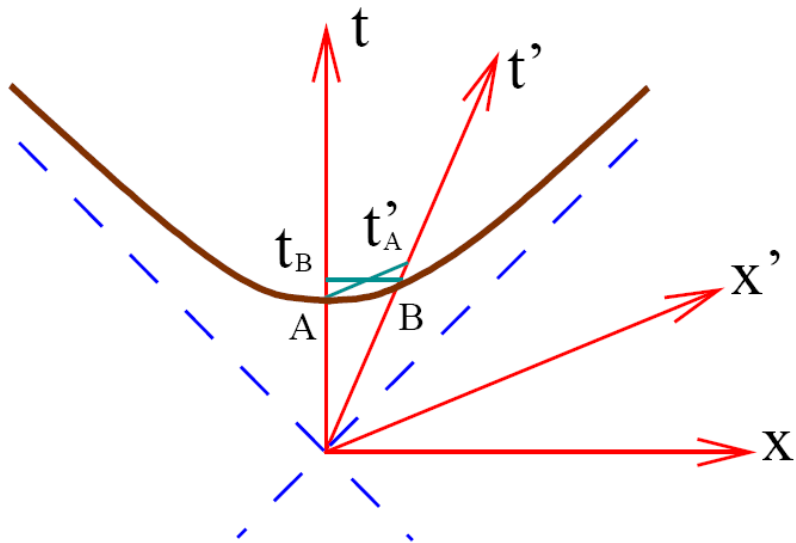


# „Időlassulás”



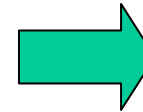
# „Időlassulás”

$$\begin{aligned} t'_B &= 1 \\ x'_B &= 0 \end{aligned}$$

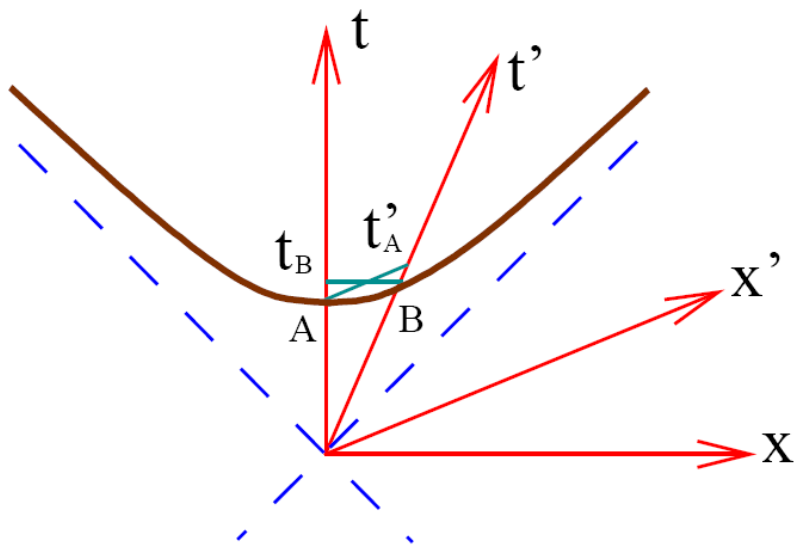


# „Időlassulás”

$$\begin{aligned} t'_B &= 1 \\ x'_B &= 0 \end{aligned}$$

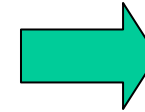


$$t_B > t_A = 1$$

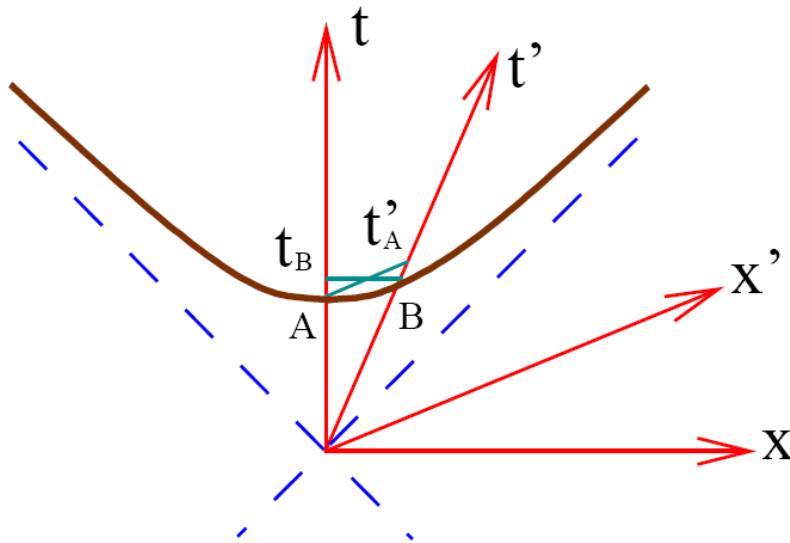


# „Időlassulás”

$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

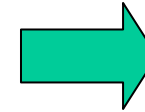


A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

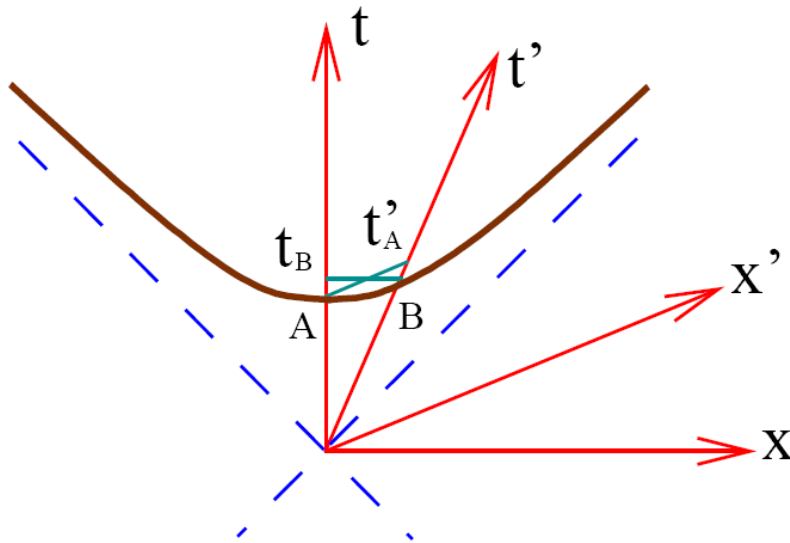


# „Időlassulás”

$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

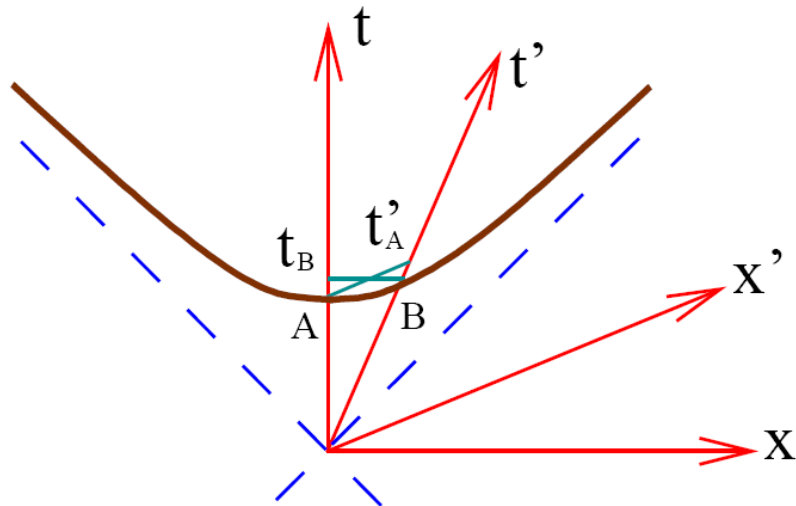


A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

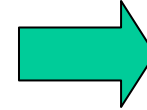
röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**



## „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

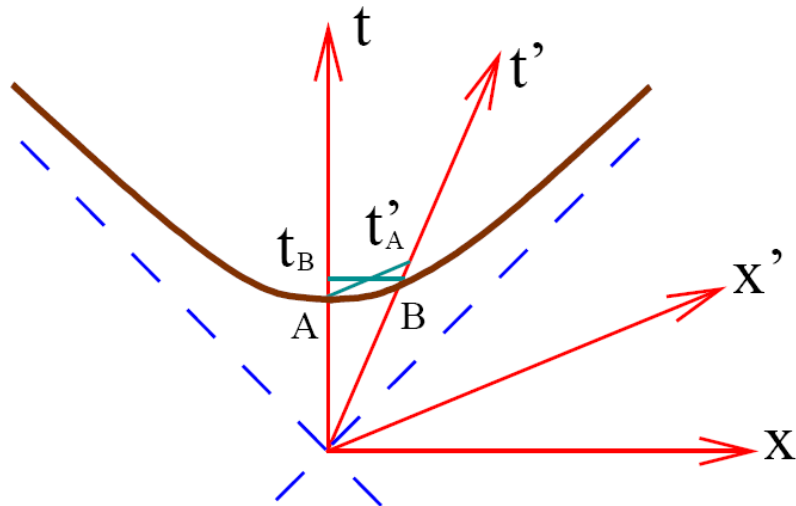
A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

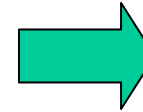
Az időlassulás „paradoxona”



## „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

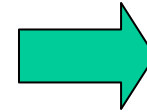
röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

### Az időlassulás „paradoxona”

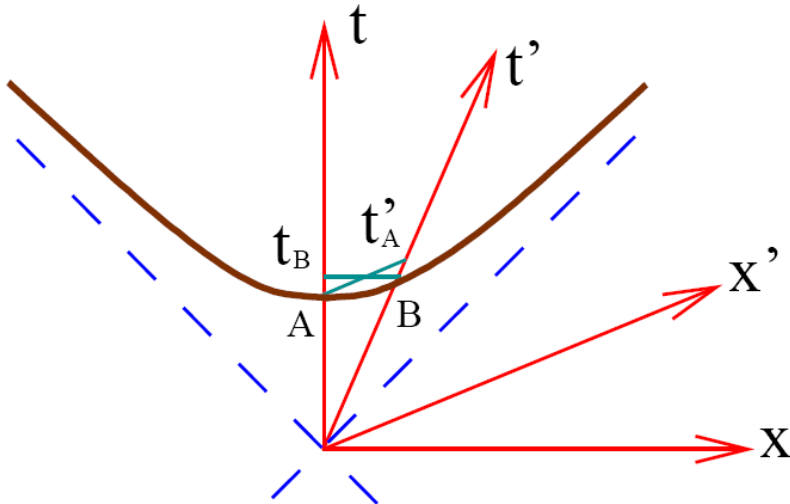
Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

# „Időlassulás”

$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

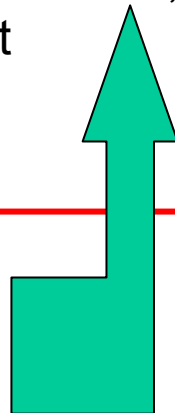


A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

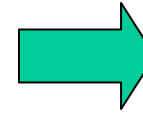
## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

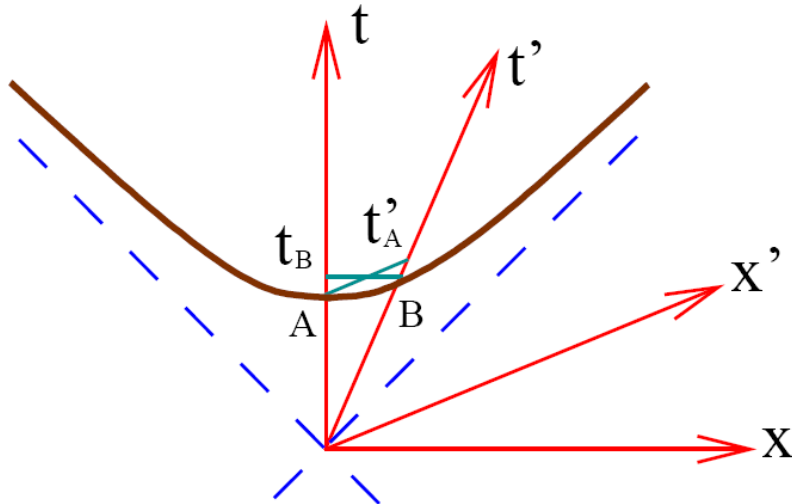


# „Időlassulás”

$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$



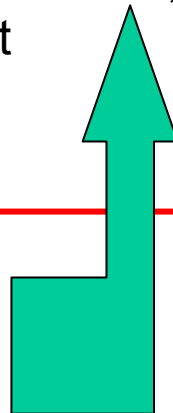
A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

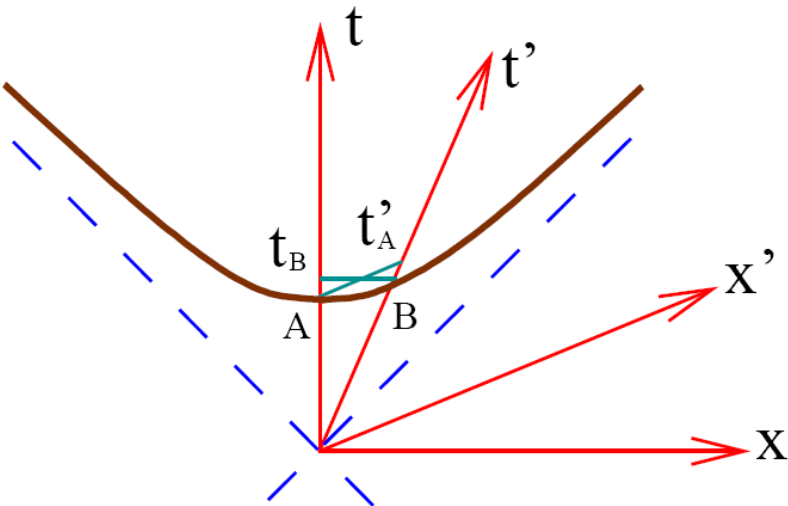
## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

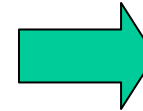
Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

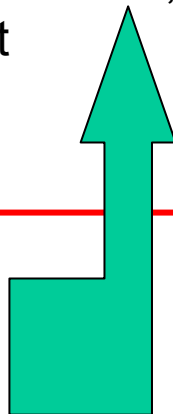
röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!

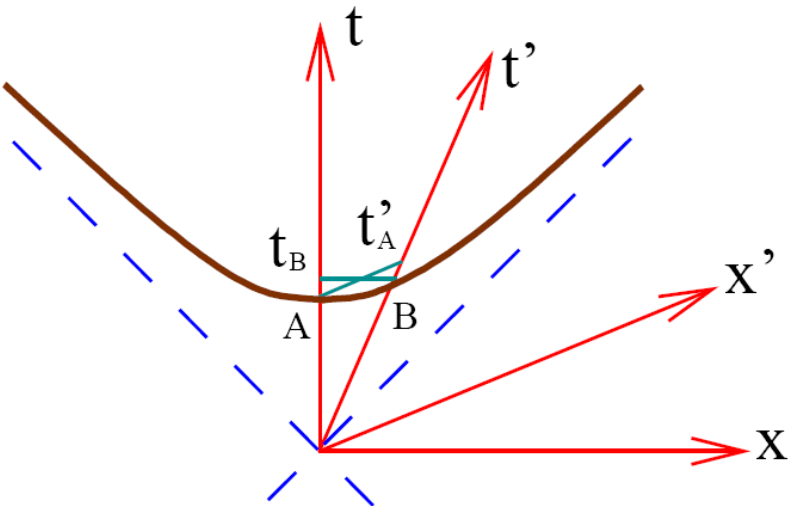
## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

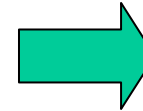
Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

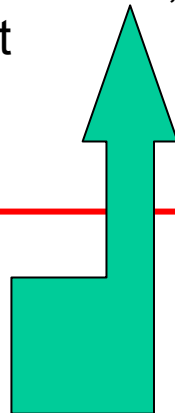
röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

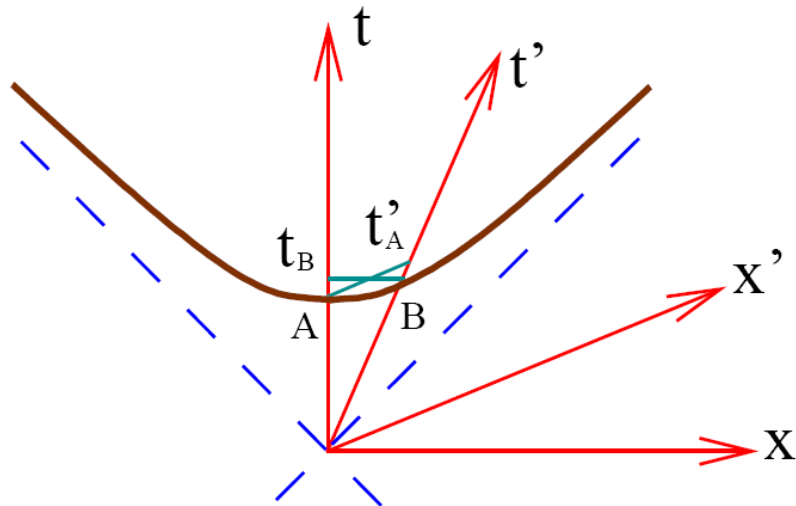
## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

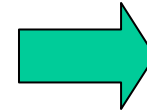
Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

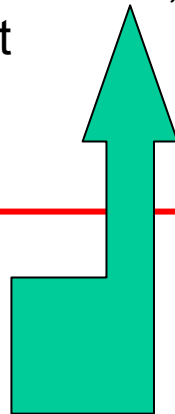
Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix}$$

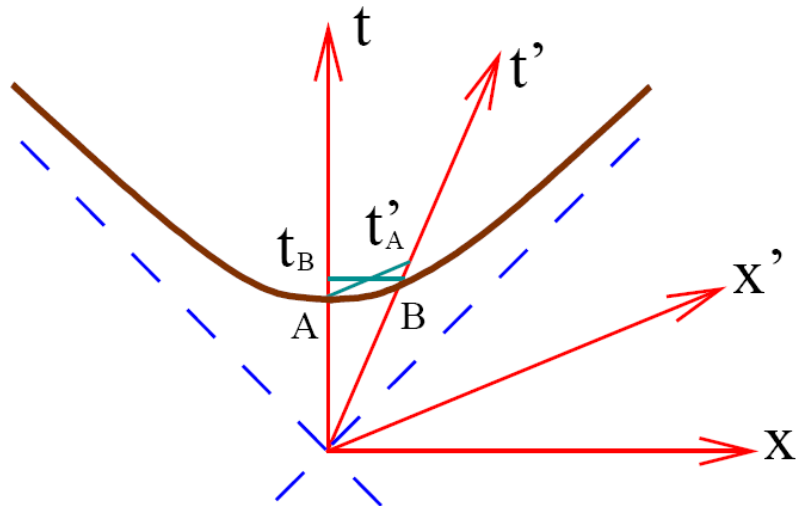
## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

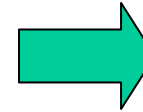
Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



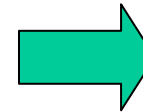
$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix}$$

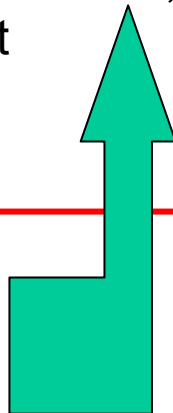


$$t'_A > t'_B = 1$$

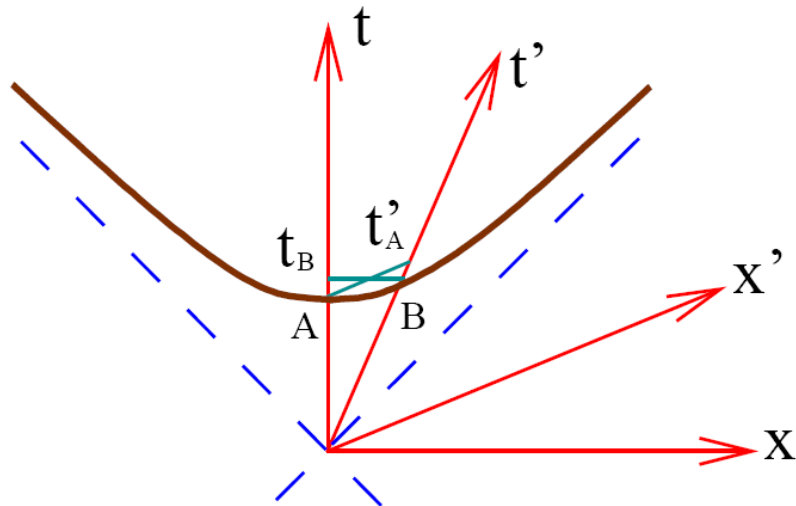
## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

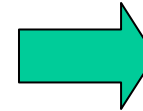
Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



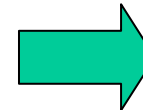
$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix}$$

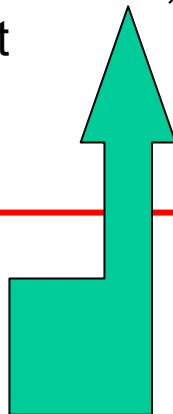


$$t'_A > t'_B = 1$$

## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!

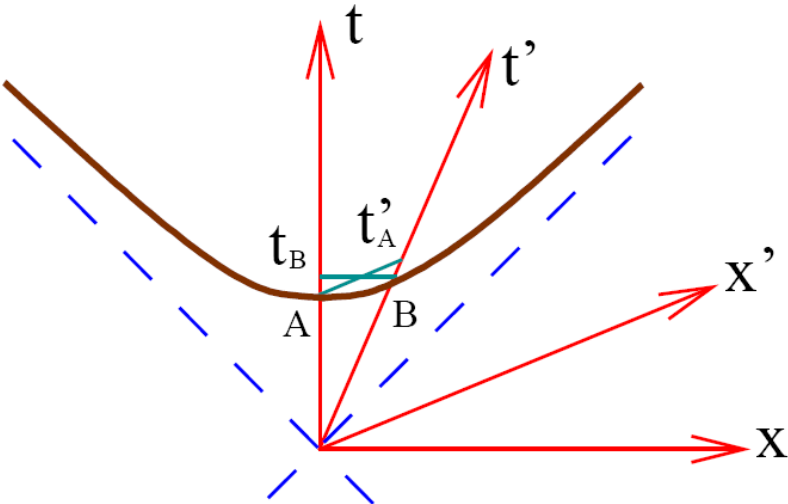


euklideszi hasonlat





# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix} \Rightarrow t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

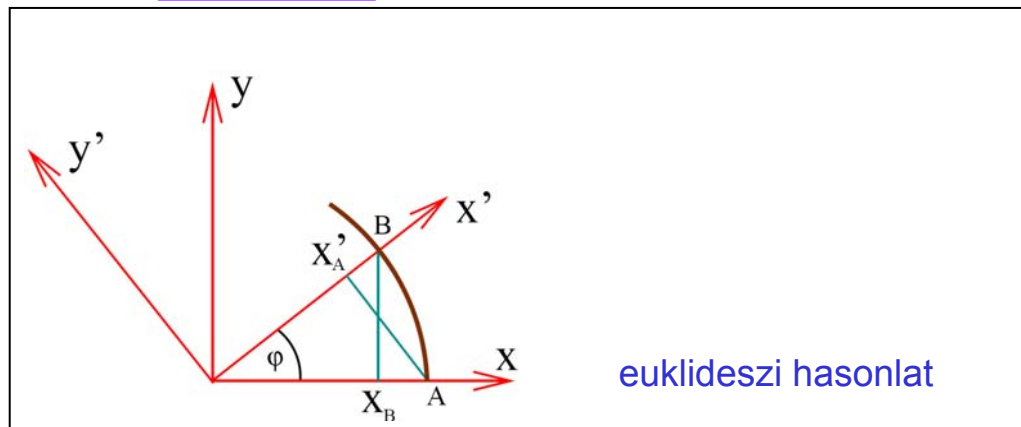
Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!

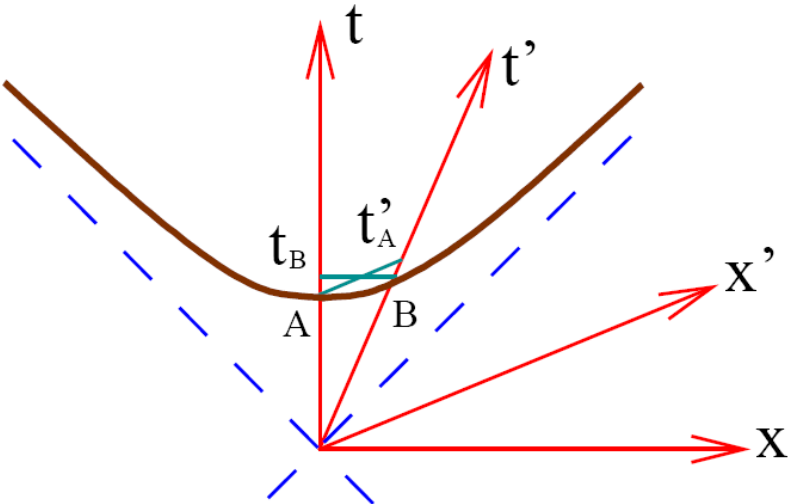
$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix} \Rightarrow t'_A > t'_B = 1$$



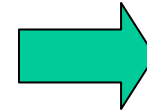
euklideszi hasonlat



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

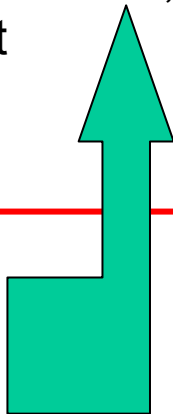
röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

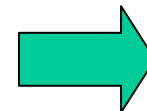
## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

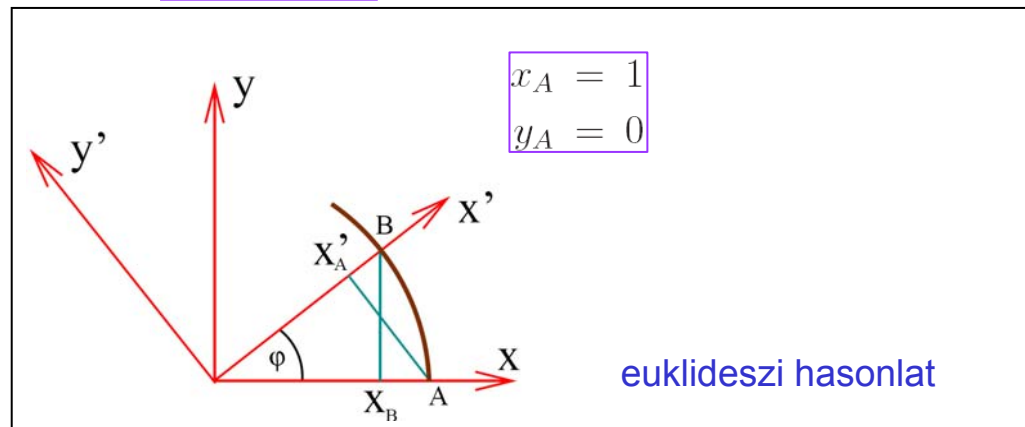
Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!



$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix}$$



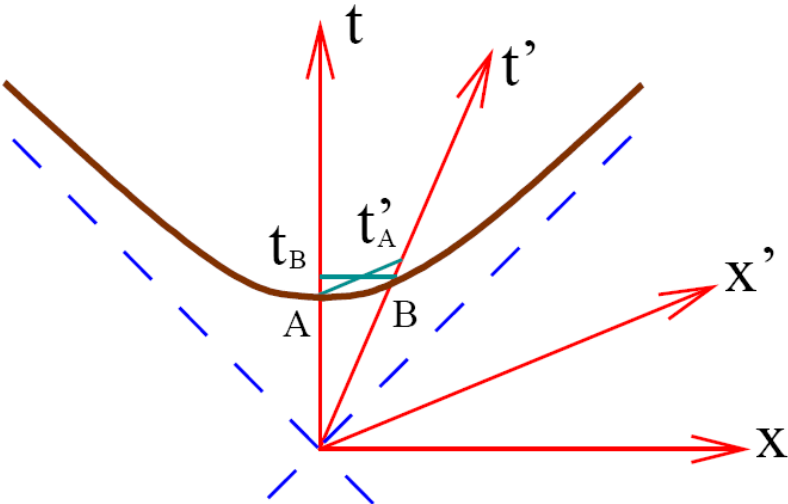
$$t'_A > t'_B = 1$$



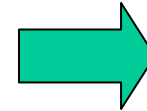
euklideszi hasonlat



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$



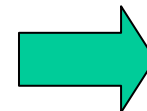
$$t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

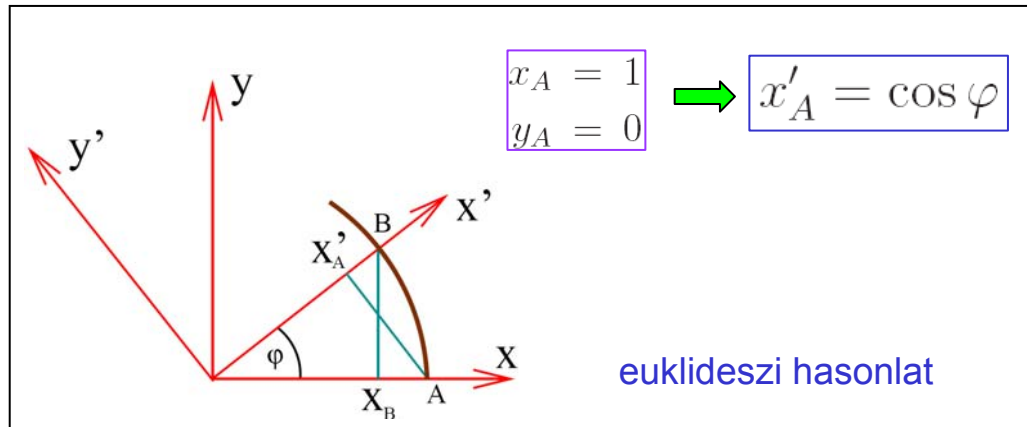
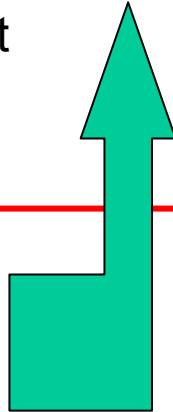
$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix}$$



$$t'_A > t'_B = 1$$

**Az időlassulás „paradoxona”**  
Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!



$$\begin{matrix} x_A = 1 \\ y_A = 0 \end{matrix}$$

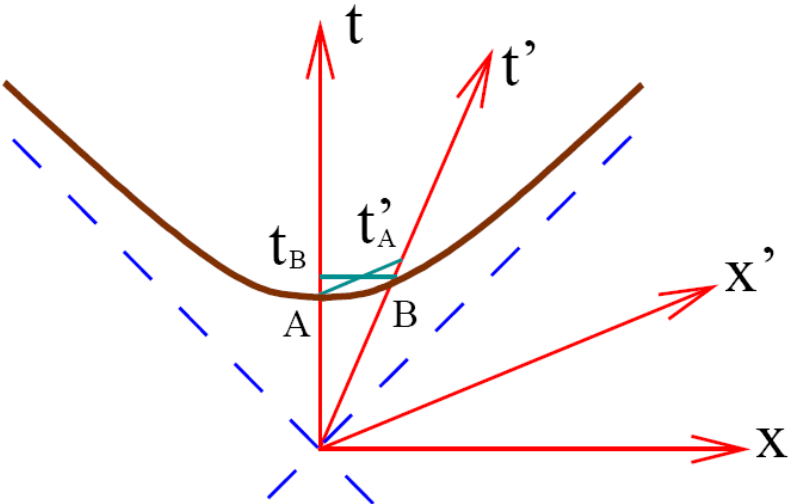


$$x'_A = \cos \varphi$$

euklideszi hasonlat



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix} \Rightarrow t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

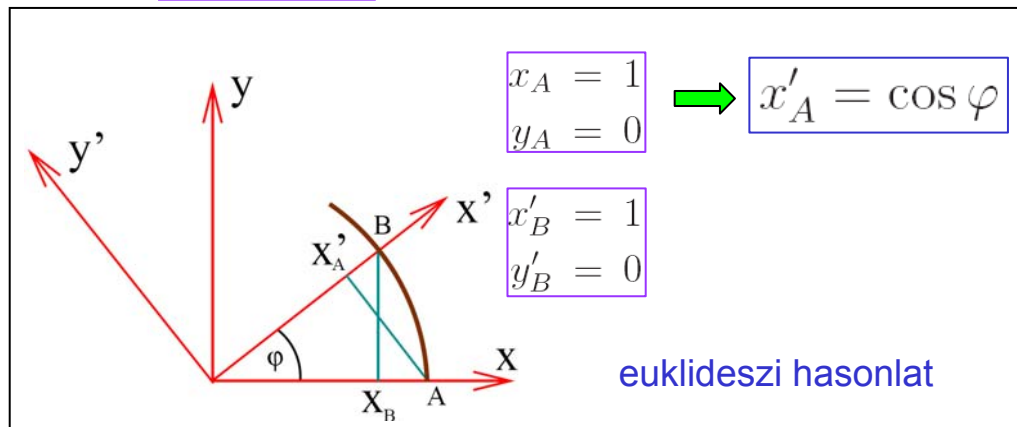
Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!

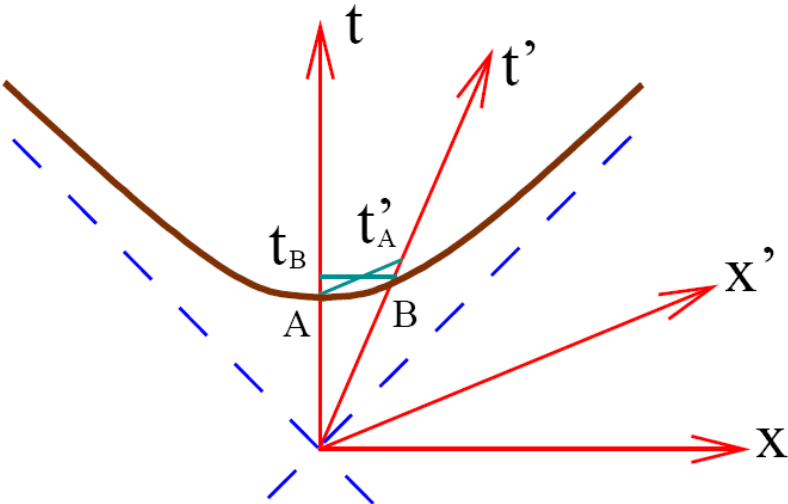
$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix} \Rightarrow t'_A > t'_B = 1$$



euklideszi hasonlat



# „Időlassulás”



$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix} \Rightarrow t_B > t_A = 1$$

A K megfigyelő szerint a hozzá képest mozgó K' egységnyi időhöz tartozó B eseményéig több mint egységnyi idő telt el:

röviden (és pongyolán):  
**a mozgó KR-ben lassabban telik az idő**

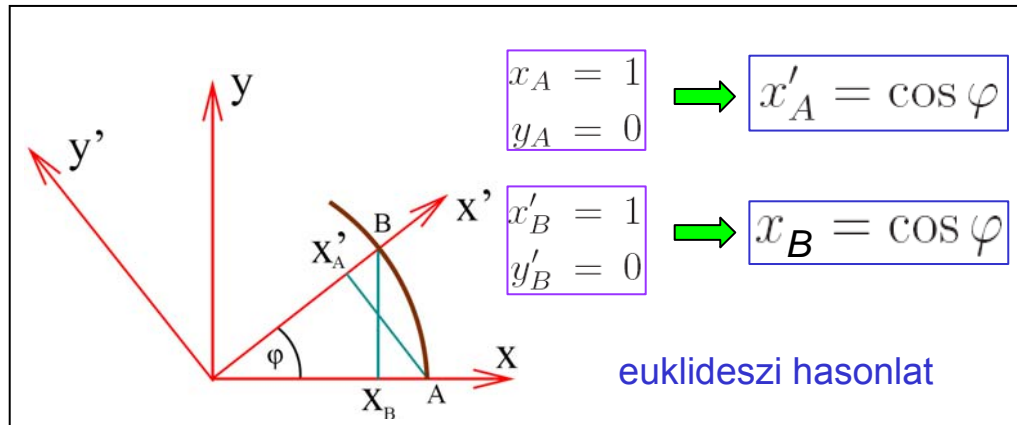
Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

## Az időlassulás „paradoxona”

Ha a K'-ben lassabban telik az idő, mint K-ban, akkor hová lett az inerciarendszerek egyenértékűsége?

Ez az állítás pongyola, sőt hamis: attól függ, mely eseményeket nézzük!

$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix} \Rightarrow t'_A > t'_B = 1$$



euklideszi hasonlat

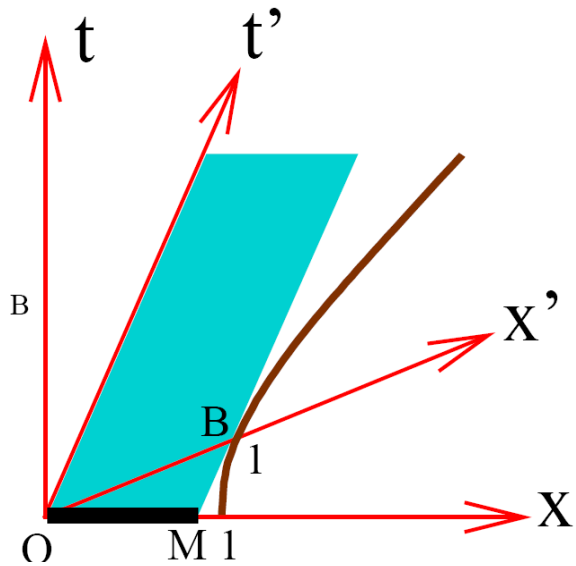


# „Hosszúság-kontrakció”

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



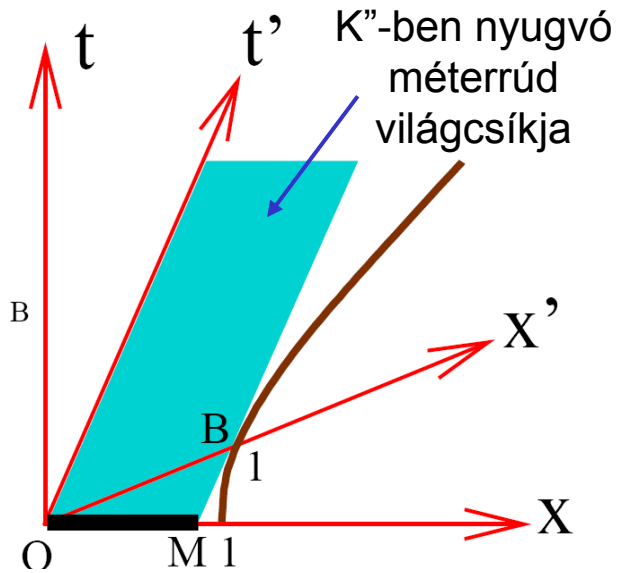
A 1







# „Hosszúság-kontrakció”

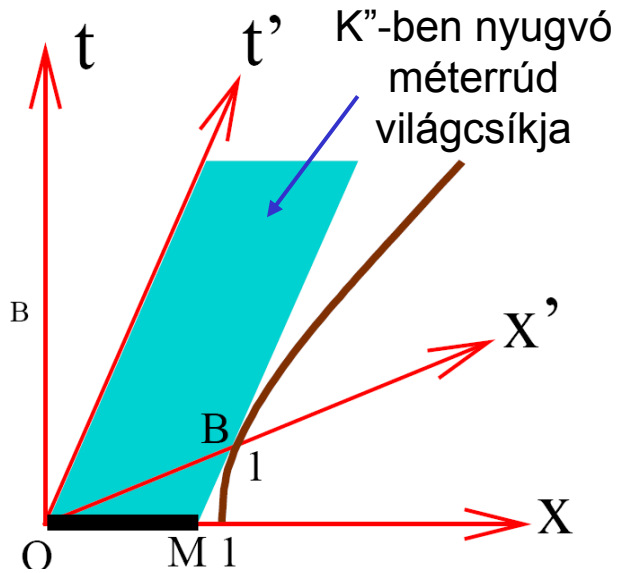


B: a méterrúd jobb vége a K'-ben

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”

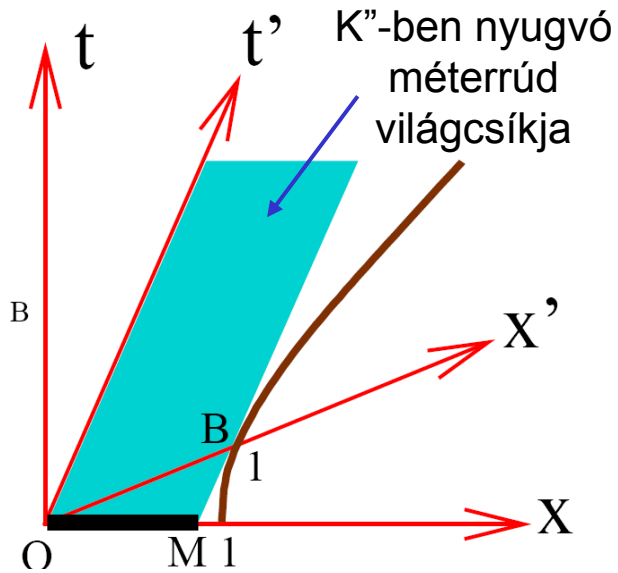


B: a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
de M: a mérés pontja

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



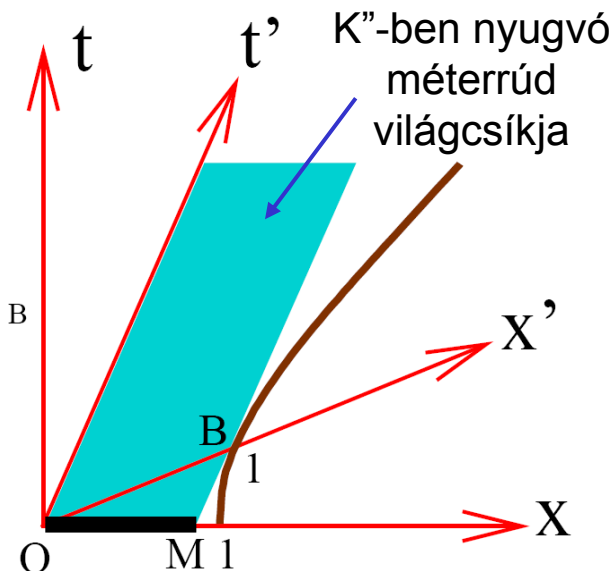
B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja

$$\begin{aligned} t_M &= 0 \\ x'_M &= 1 \end{aligned}$$

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



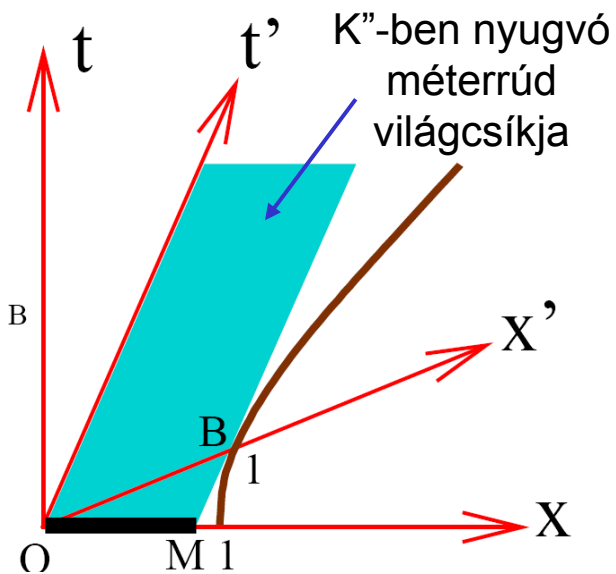
B: a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
de  $M$ : a mérés pontja  
( $M$  és  $B$  nem egyidejű!)

$$\begin{aligned} t_M &= 0 \\ x'_M &= 1 \end{aligned}$$

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

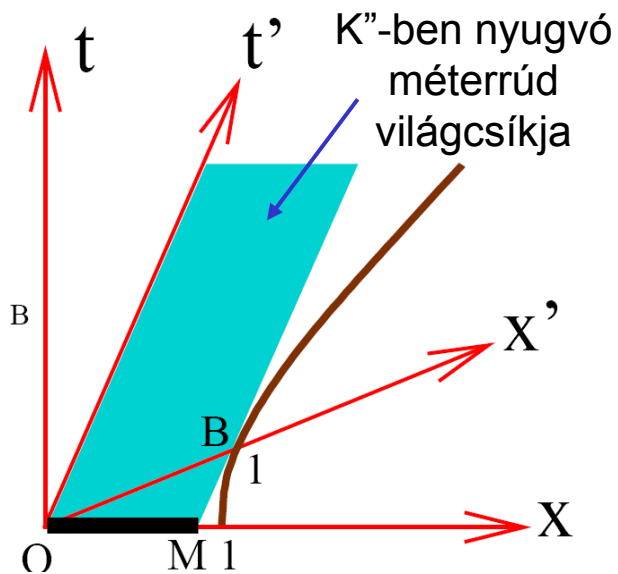
$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
 de M: a mérés pontja  
 (M és B nem egyidejű!)

OM a méterrúd a  $K$ -ben,  $t = 0$  -kor:

$$t_M = 0$$

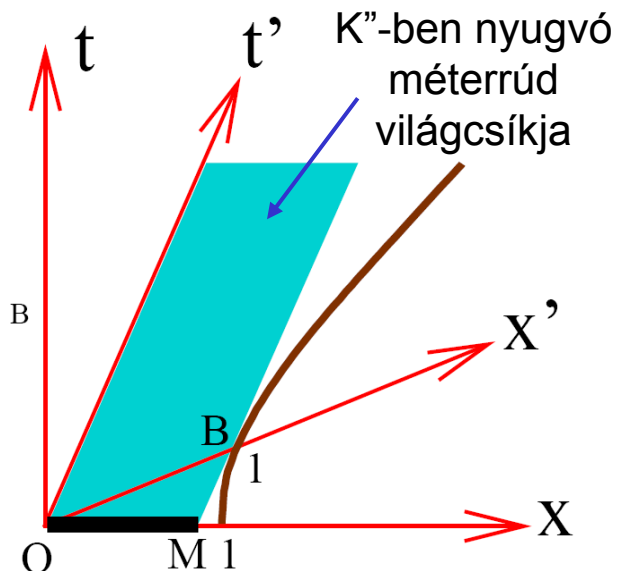
$$x'_M = 1$$

$$x_M < 1$$

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
de  $M$ : a mérés pontja  
( $M$  és  $B$  nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a  $K$ -ben,  $t = 0$  -kor:

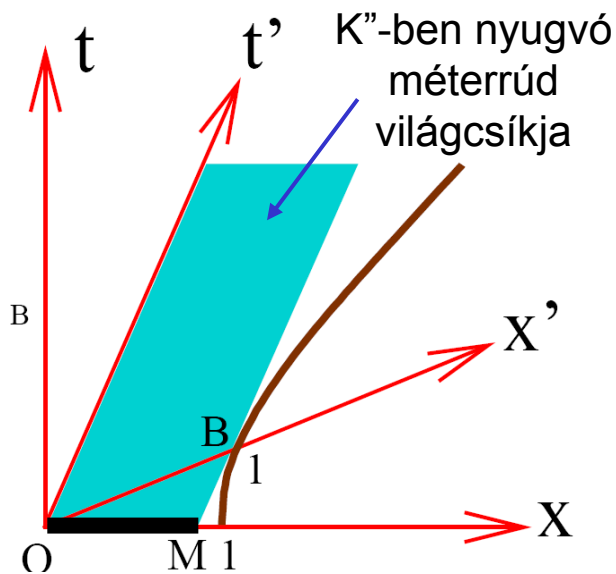
$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

$$x_M < 1$$

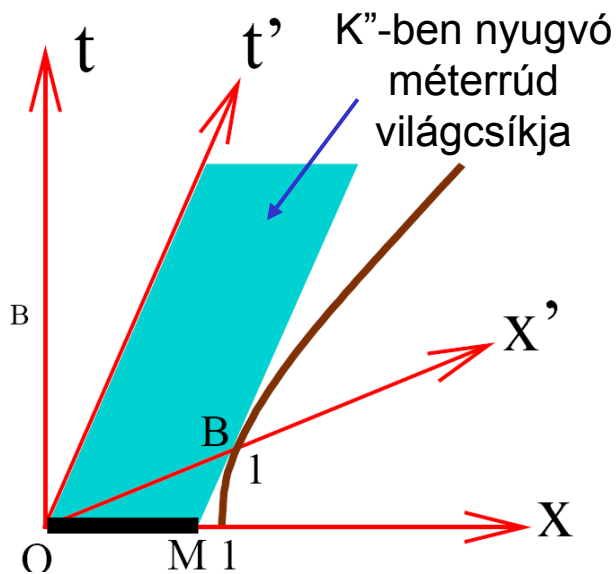
a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

A 1





# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

$$x_M < 1$$

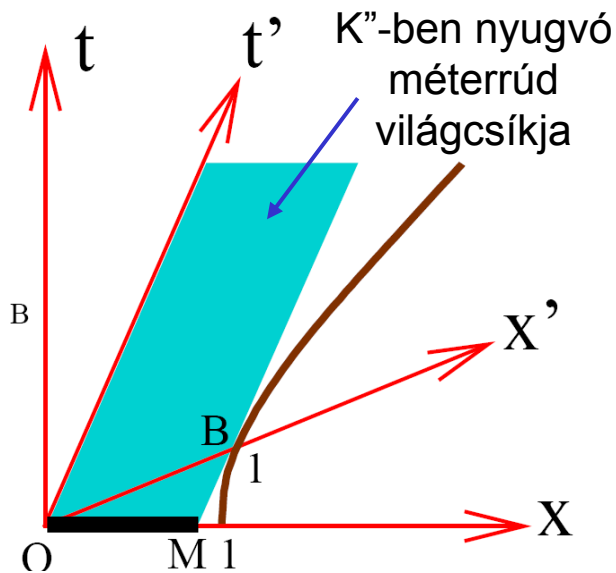
a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

A kontrakció paradoxona:

A 1



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
 de M: a mérés pontja  
 (M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a  $K$ -ben,  $t = 0$  -kor:

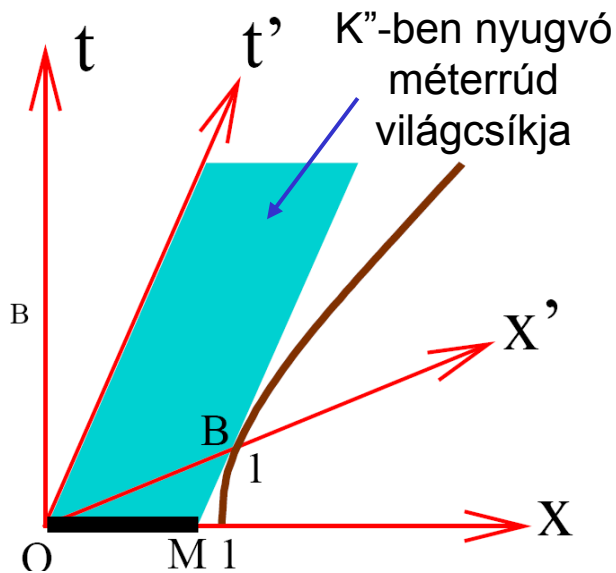
$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,  
 „Lorentz-kontrakció”

**A kontrakció paradoxona:**

$K$ -ban rövidebbek a tárgyak, mint  $K'$ -ben  
 – hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

$$x_M < 1$$

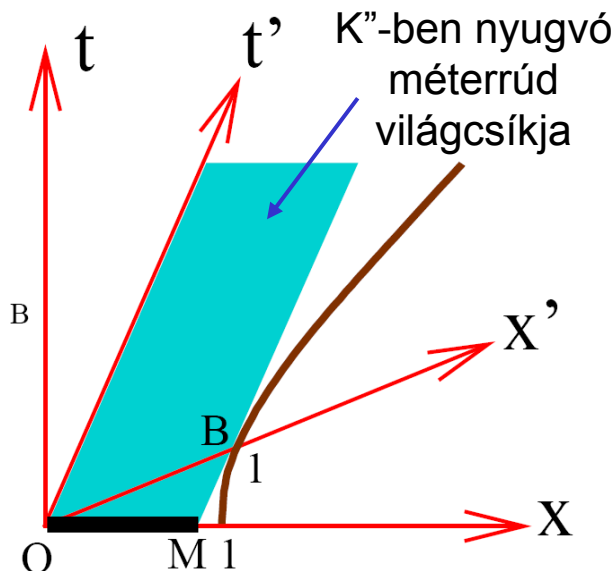
a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

**A kontrakció paradoxona:**

K-ban rövidebbek a tárgyak, mint K'-ben  
– hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!

# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
 de M: a mérés pontja  
 (M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a  $K$ -ben,  $t = 0$  -kor:

$$x_M < 1$$

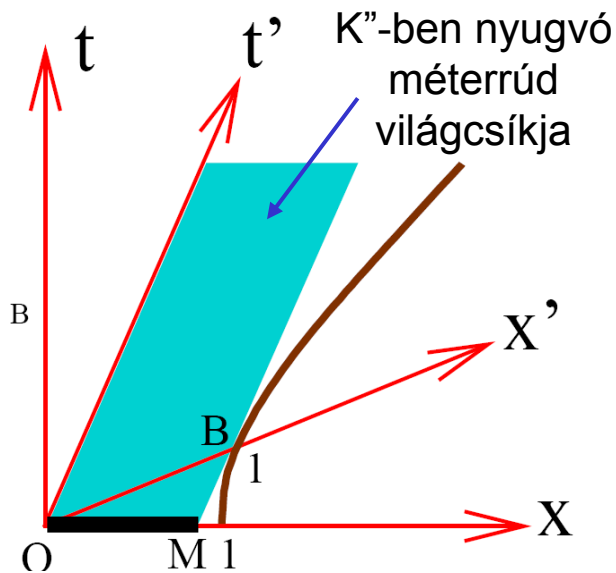
a mozgó méterrúd rövidülése,  
 „Lorentz-kontrakció”

## A kontrakció paradoxona:

$K$ -ban rövidebbek a tárgyak, mint  $K'$ -ben  
 – hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
 Csak **más eseményeket** nézünk...

# „Hosszúság-kontrakció”



$B$ : a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
 $M$ : a mérés pontja  
 (M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a  $K$ -ben,  $t = 0$  -kor:

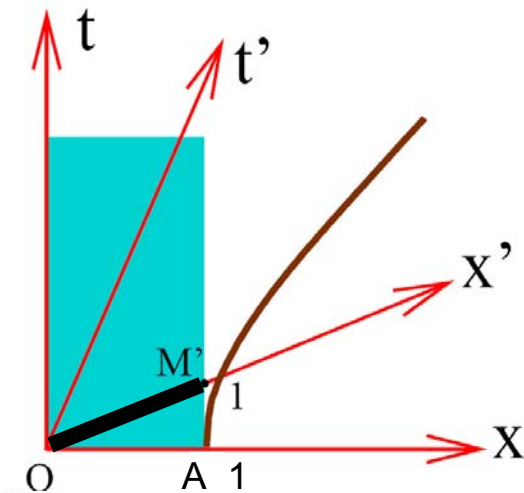
$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,  
 „Lorentz-kontrakció”

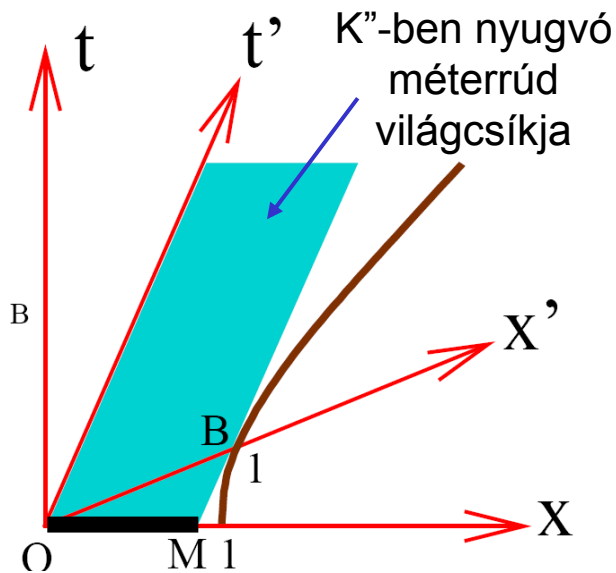
## A kontrakció paradoxona:

$K$ -ban rövidebbek a tárgyak, mint  $K'$ -ben  
 – hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
 Csak **más eseményeket** nézünk...



# „Hosszúság-kontrakció”



$B$ : a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
 de  $M$ : a mérés pontja  
 ( $M$  és  $B$  nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

$OM$  a méterrúd a  $K$ -ben,  $t = 0$  -kor:

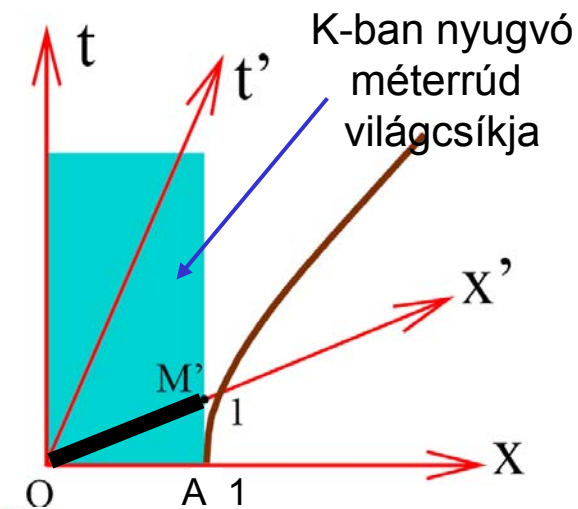
$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,  
 „Lorentz-kontrakció”

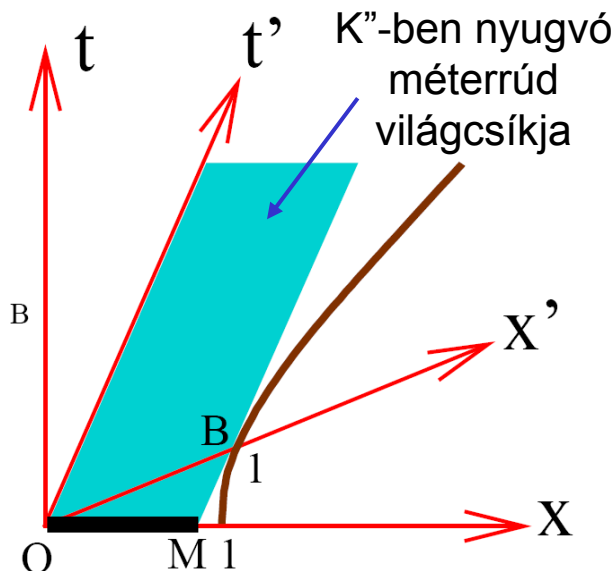
## A kontrakció paradoxona:

$K$ -ban rövidebbek a tárgyak, mint  $K'$ -ben  
 – hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
 Csak **más eseményeket** nézünk...



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a  $K'$ -ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a  $K$ -ben,  $t = 0$  -kor:

$$x_M < 1$$

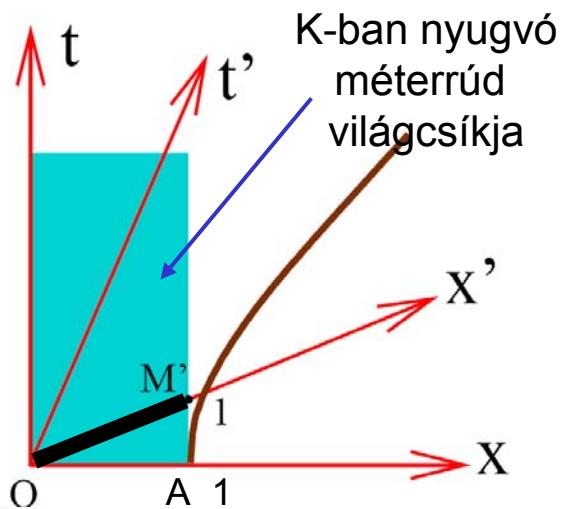
a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

## A kontrakció paradoxona:

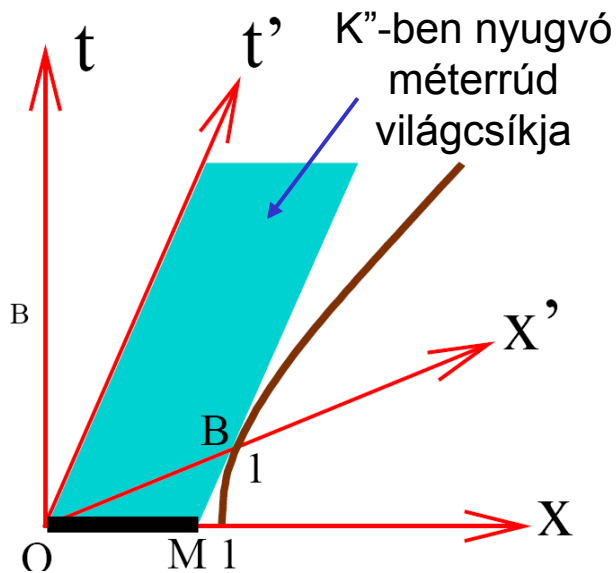
$K$ -ban rövidebbek a tárgyak, mint  $K'$ -ben  
– hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

A: a méterrúd jobb vége a  $K$ -ben:



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

$$x_M < 1$$

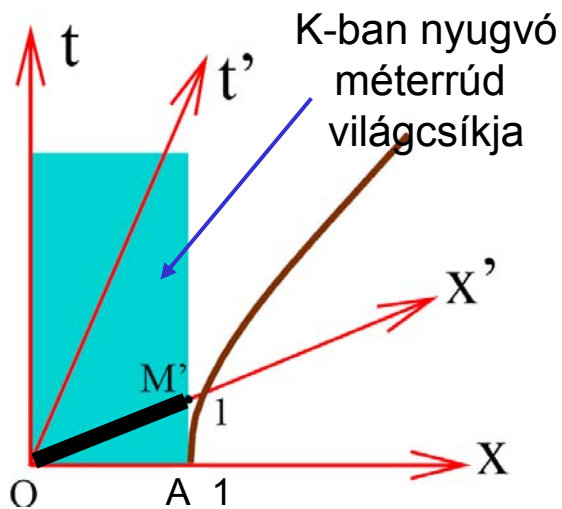
a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

## A kontrakció paradoxona:

K-ban rövidebbek a tárgyak, mint K'-ben  
– hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

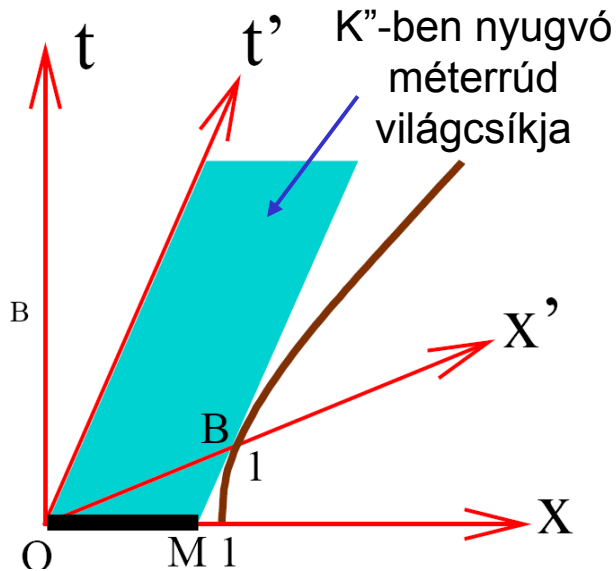
Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

A: a méterrúd jobb vége a K-ben:  
de M': a mérés pontja





# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

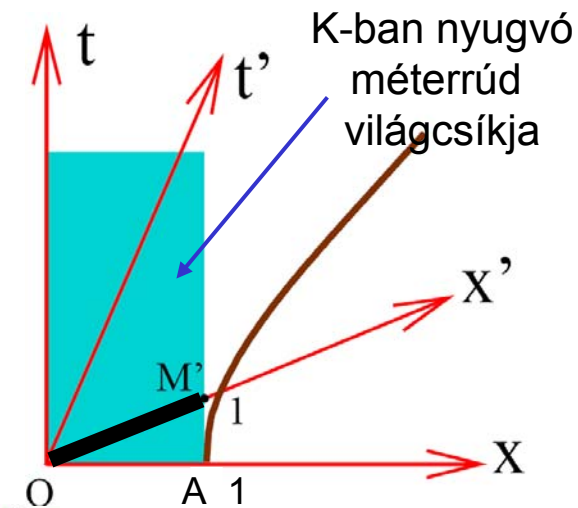
OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

**A kontrakció paradoxona:**  
K-ban rövidebbek a tárgyak, mint K'-ben  
– hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

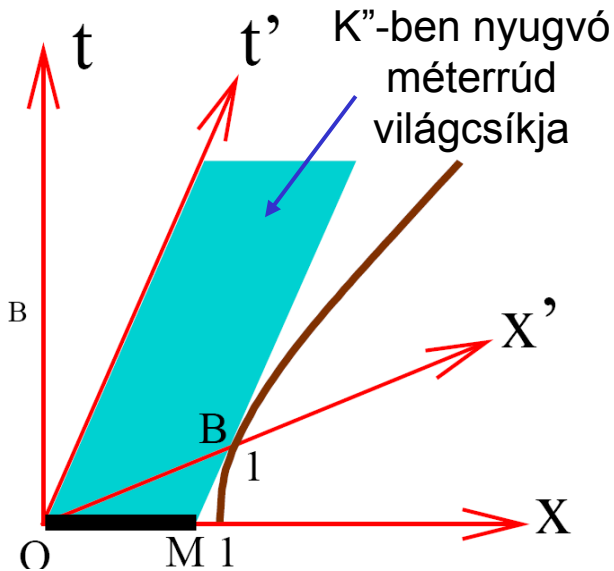
Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...



A: a méterrúd jobb vége a K-ben:  
de M': a mérés pontja  
(M' és A nem egyidejű!)



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$\begin{matrix} t_M = 0 \\ x'_M = 1 \end{matrix}$$

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

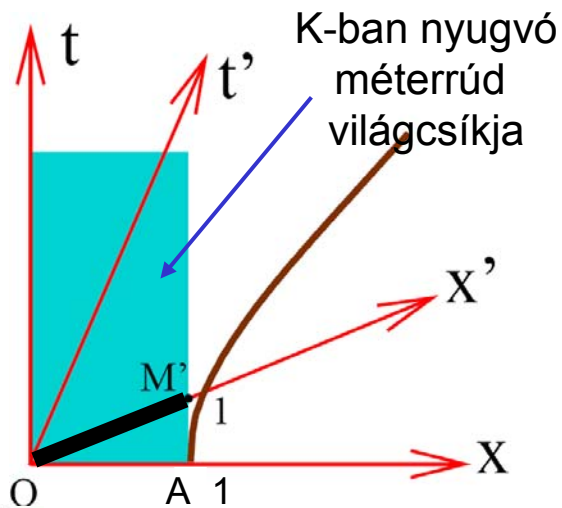
$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

## A kontrakció paradoxona:

K-ban rövidebbek a tárgyak, mint K'-ben  
– hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

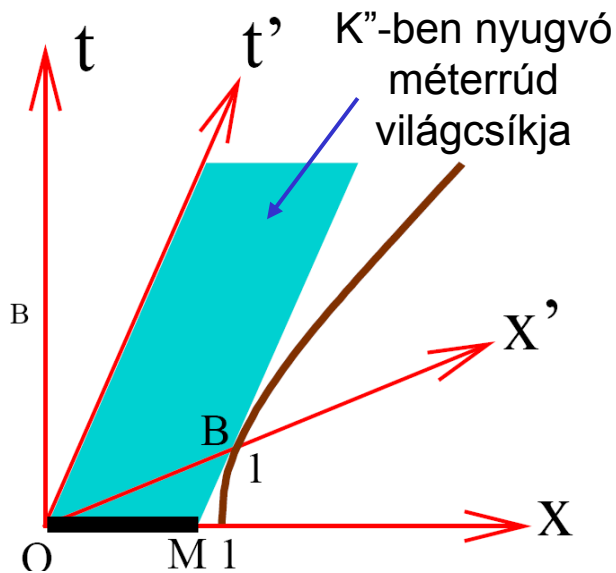


A: a méterrúd jobb vége a K-ben:  
de M': a mérés pontja  
(M' és A nem egyidejű!)

$$\begin{matrix} t'_{M'} = 0 \\ x_{M'} = 1 \end{matrix}$$



# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$\begin{matrix} t_M = 0 \\ x'_M = 1 \end{matrix}$$

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

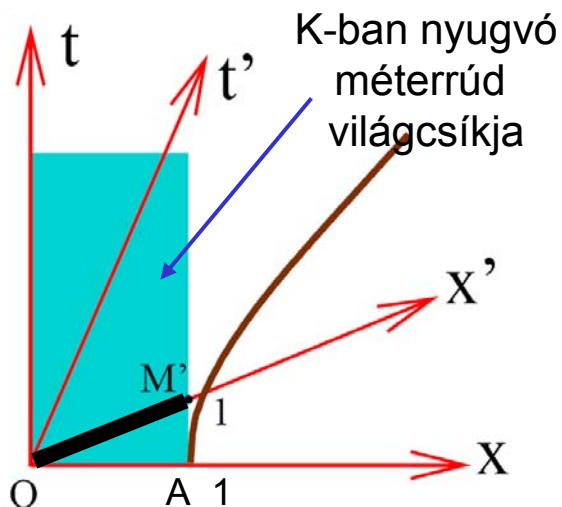
$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

## A kontrakció paradoxona:

K-ban rövidebbek a tárgyak, mint K'-ben  
– hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...

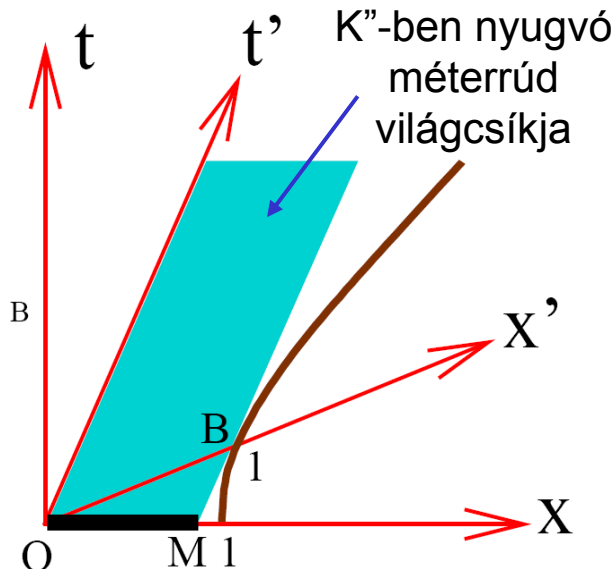


A: a méterrúd jobb vége a K-ben:  
de M': a mérés pontja  
(M' és A nem egyidejű!)

$$\begin{matrix} t'_{M'} = 0 \\ x_{M'} = 1 \end{matrix}$$

OM' a méterrúd a K'-ben,  $t' = 0$  -kor:

# „Hosszúság-kontrakció”



B: a méterrúd jobb vége a K'-ben  
de M: a mérés pontja  
(M és B nem egyidejű!)

$$t_M = 0$$

$$x'_M = 1$$

OM a méterrúd a K-ben,  $t = 0$  -kor:

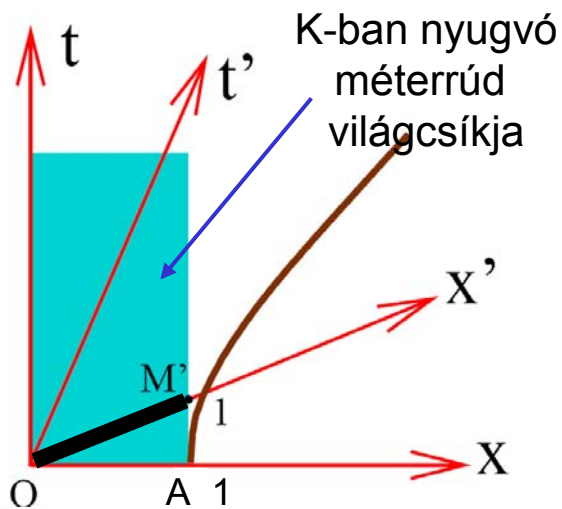
$$x_M < 1$$

a mozgó méterrúd rövidülése,  
„Lorentz-kontrakció”

## A kontrakció paradoxona:

K-ban rövidebbek a tárgyak, mint K'-ben  
– hova lett az IR-ek egyenértékűsége?

Nincs paradoxon, a helyzet szimmetrikus!  
Csak **más eseményeket** nézünk...



A: a méterrúd jobb vége a K-ben:  
de M': a mérés pontja  
(M' és A nem egyidejű!)

$$t'_{M'} = 0$$

$$x_{M'} = 1$$

OM' a méterrúd a K'-ben,  $t' = 0$  -kor:

$$x'_{M'} < 1$$



## Egy újabb paradoxon:



**Egy újabb paradoxon:**

hová lett a tér és az idő szimmetriája?



**Egy újabb paradoxon:**

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben:



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik





## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon:



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

Időkoordináták  
átszámítása:

Mozgó rúd  
hosszának mérése:



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

Időkoordináták  
átszámítása:  
**homogén adatok**

Mozgó rúd  
hosszának mérése:



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

Időkoordináták  
átszámítása:  
**homogén adatok**

Mozgó rúd  
hosszának mérése:  
**vegyes adatok**



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

Időkoordináták  
átszámítása:  
**homogén adatok**

Two boxes, each containing two equations, with arrows pointing from the text to each box.

$$\begin{array}{l} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{array}$$
$$\begin{array}{l} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{array}$$

Mozgó rúd  
hosszának mérése:  
**vegyes adatok**



## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

Időkoordináták  
átszámítása:  
**homogén adatok**

$$\begin{matrix} t'_B = 1 \\ x'_B = 0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} t_A = 1 \\ x_A = 0 \end{matrix}$$

Mozgó rúd  
hosszának mérése:  
**vegyes adatok**

$$\begin{matrix} t_M = 0 \\ x'_M = 1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} t'_{M'} = 0 \\ x_{M'} = 1 \end{matrix}$$



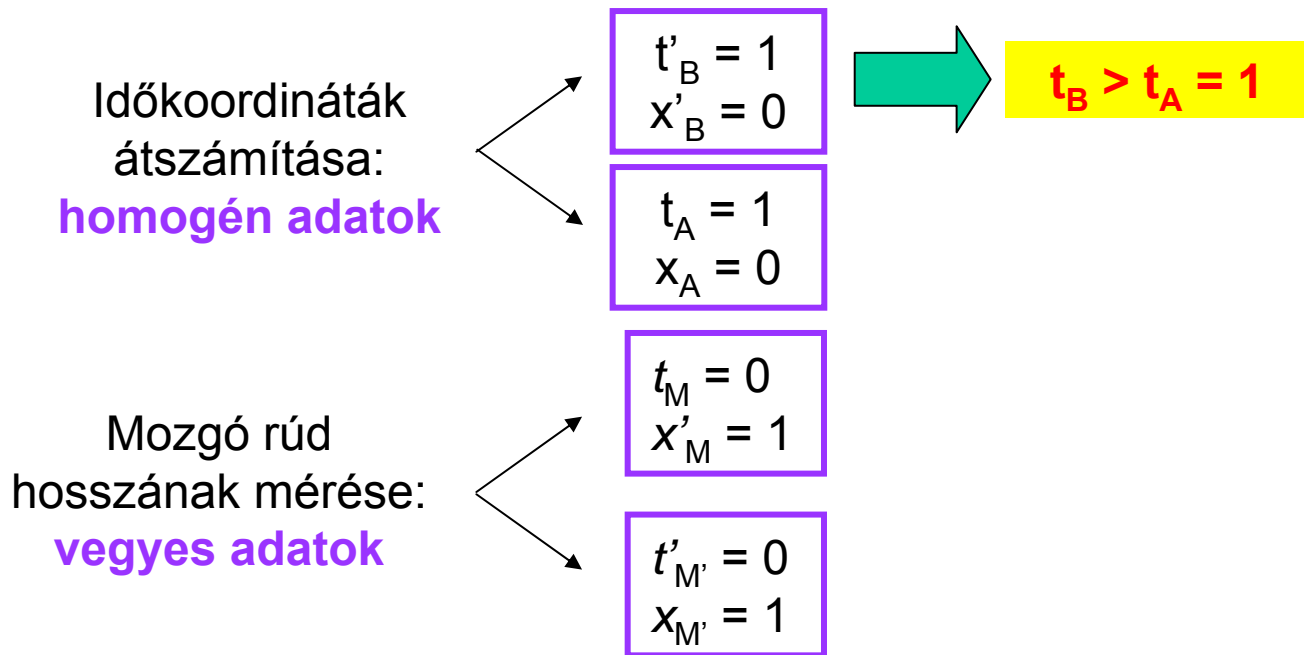


## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

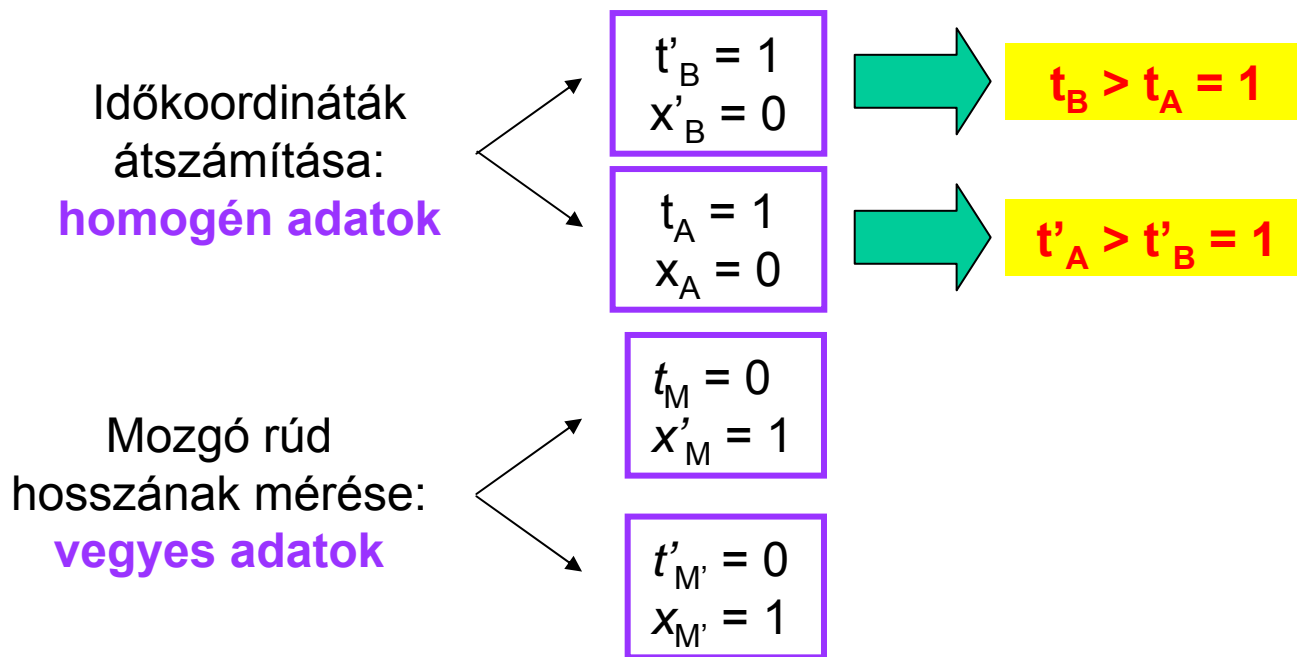


## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

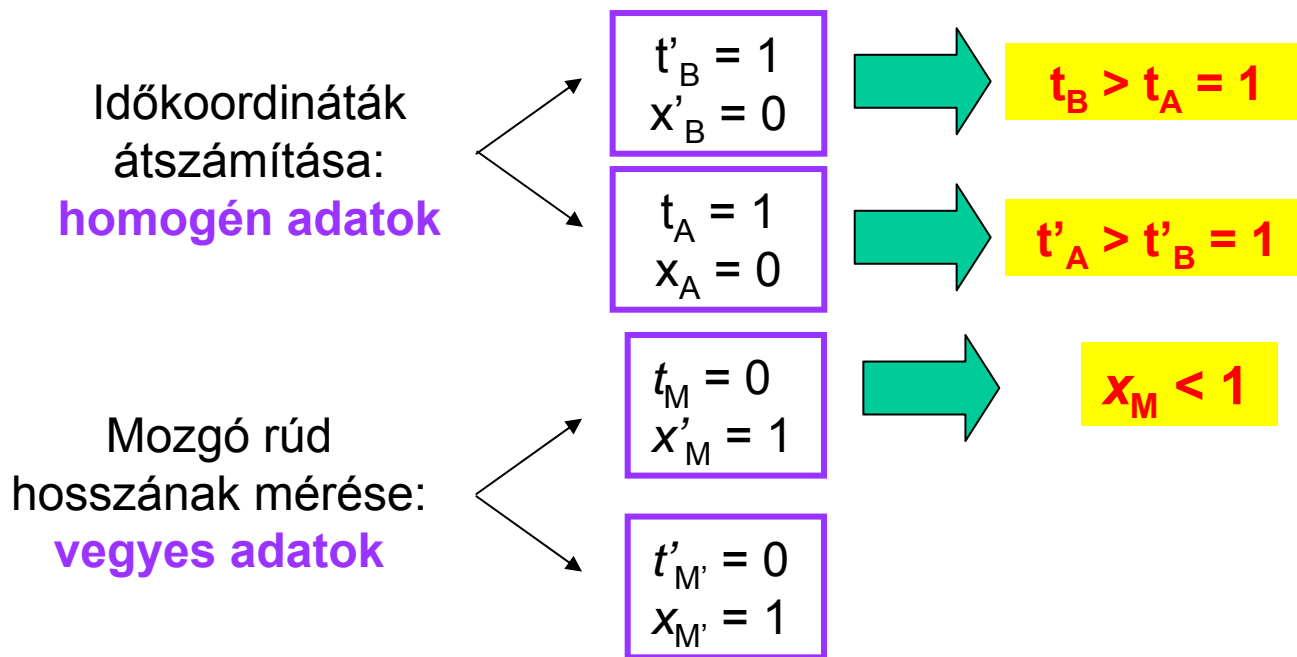


## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

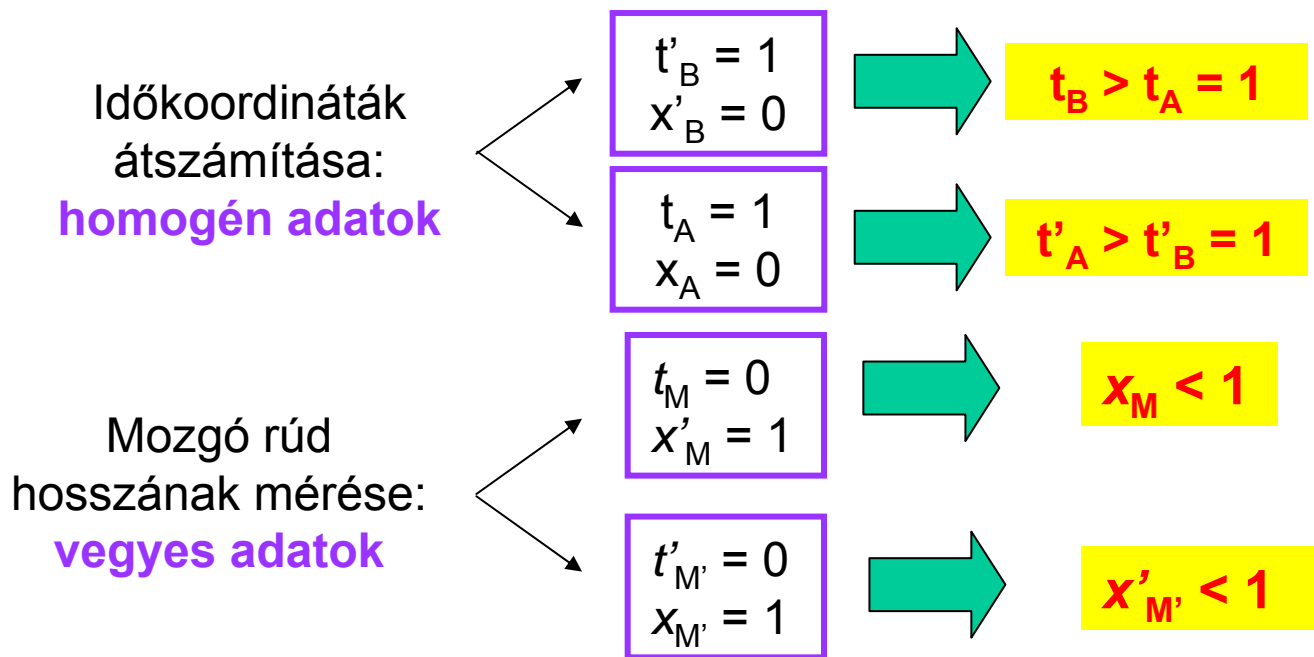


## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**

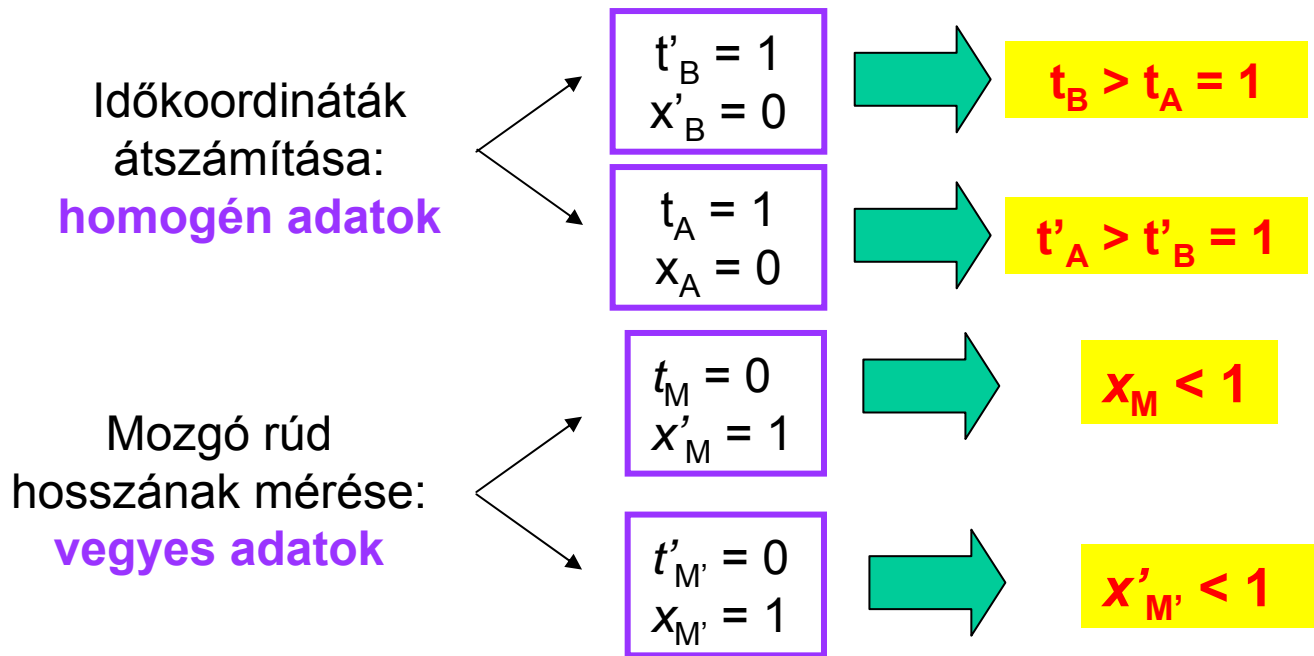


## Egy újabb paradoxon:

hová lett a tér és az idő szimmetriája?

hiszen a mozgó rendszerben: - az idő megnyúlik  
- a méterrúd viszont összemegy?

Nincs paradoxon: **más a mérések elve!**



A „Lorentz-kontrakció” **nem** valóságos fizikai **esemény!** A méterrúd nem nyomódik össze!  
Nem történik semmi: **másképp** olvassuk le az adatokat, **a valóság más vetületét mérjük.**

# Ikerparadoxon



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb?



# Ikerparadoxon

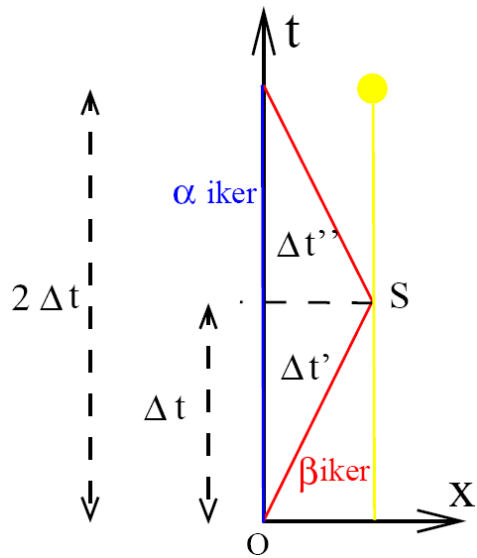
Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?





# Ikerparadoxon

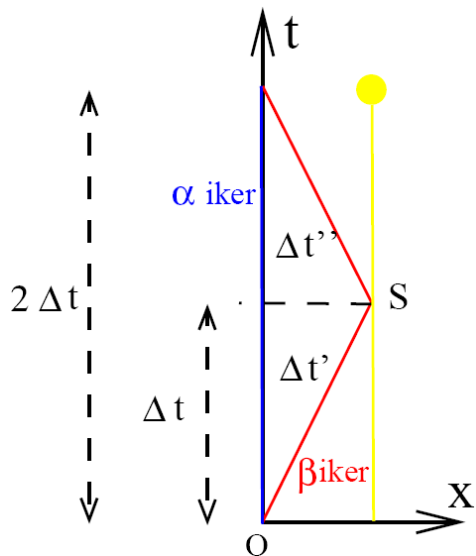
Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



# Ikerparadoxon

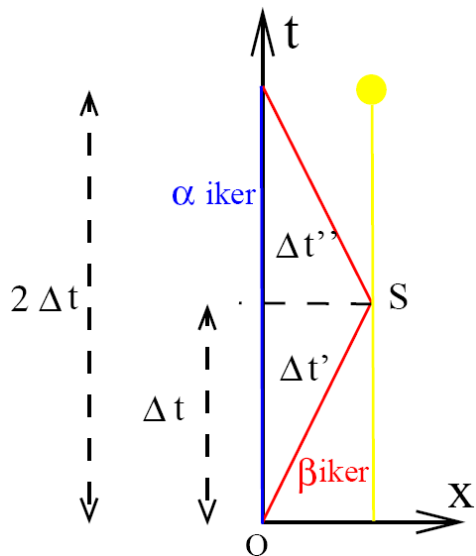
Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?

Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



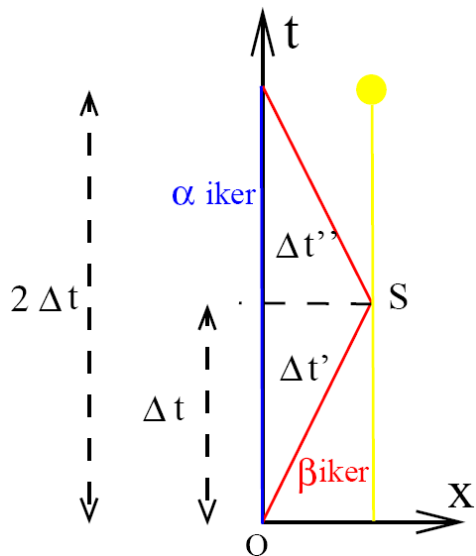
Válasz: a  **$\beta$  iker** lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



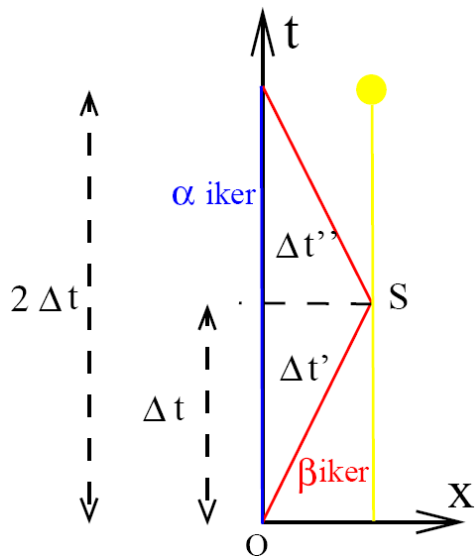
Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

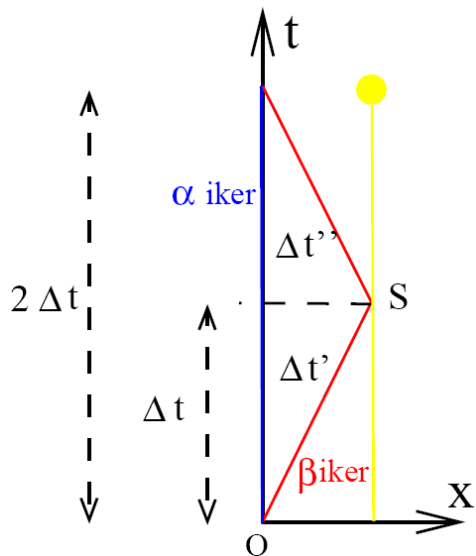
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  **$\beta$  iker** lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

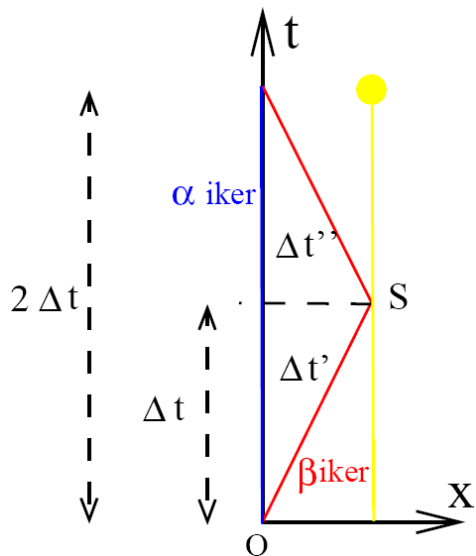
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  **$\beta$  iker** nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

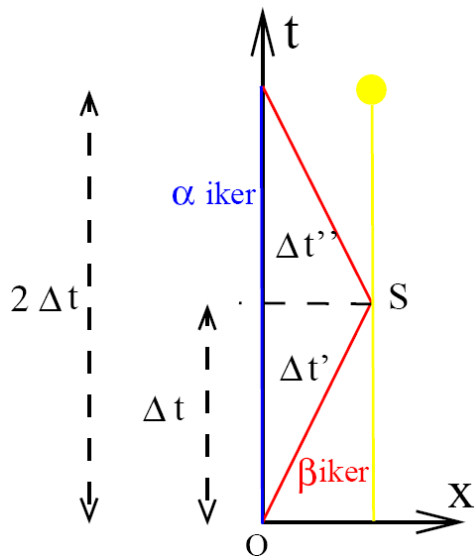
a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

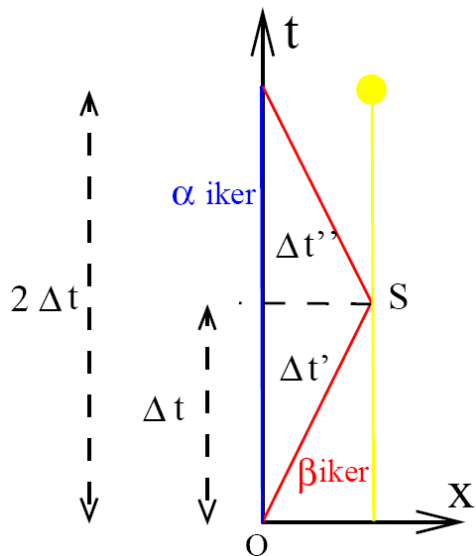
Válasz: **NEM a gyorsulás, a KR váltás!**





# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

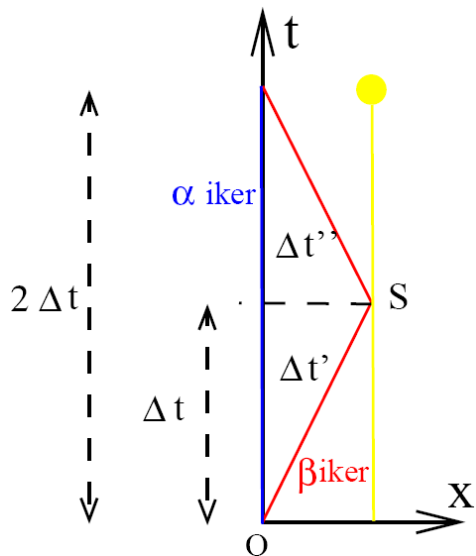
Válasz: **NEM a gyorsulás, a KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

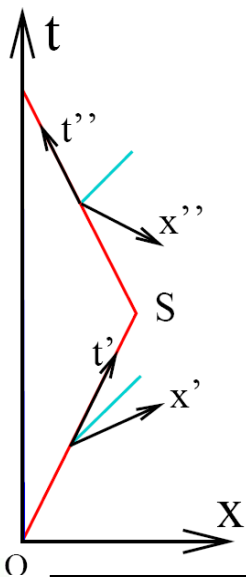
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

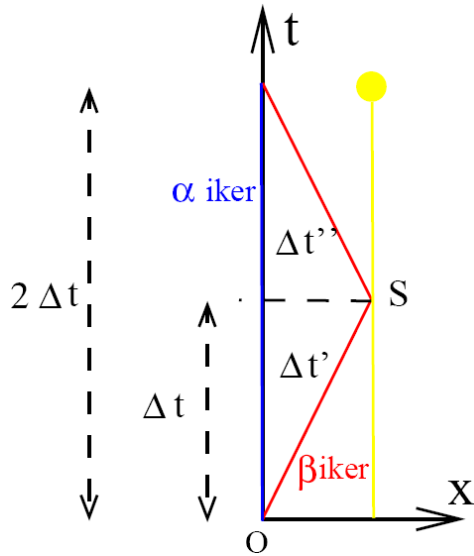
Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

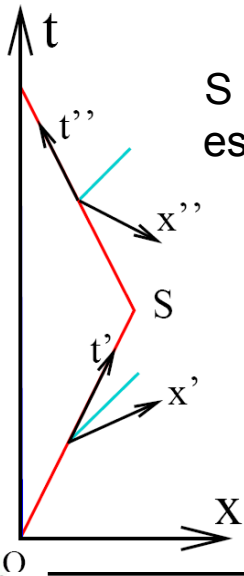
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.

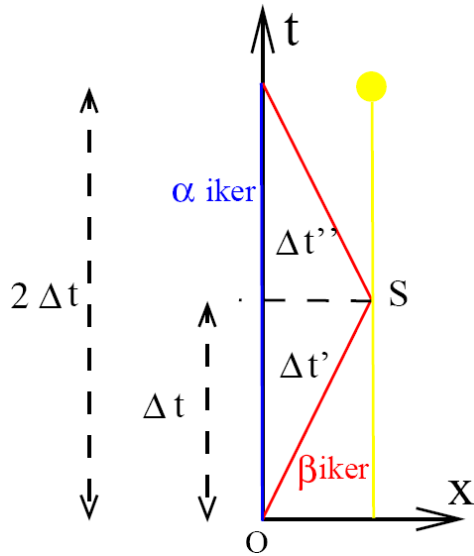


Keressük meg az S eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  **$\beta$  iker** lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

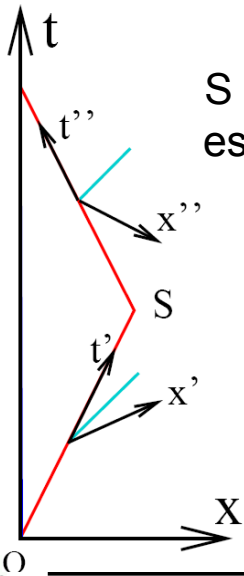
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  **$\beta$  iker** nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

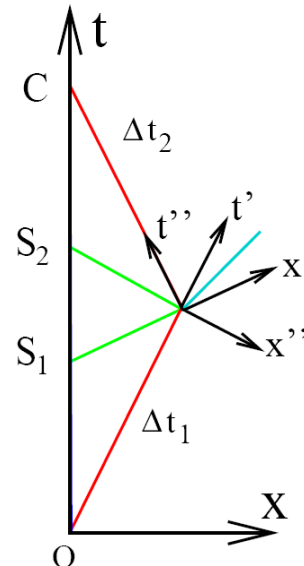
Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.

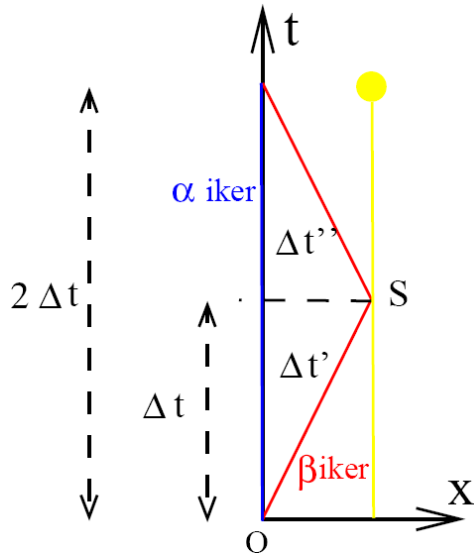


Keressük meg az S eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

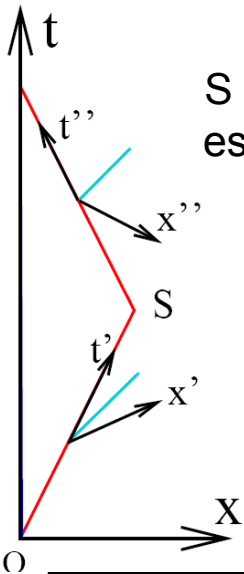
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az  $S$  pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

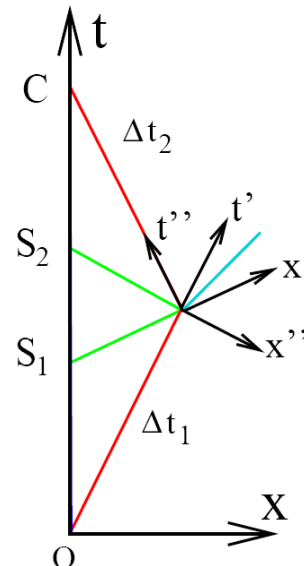
Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



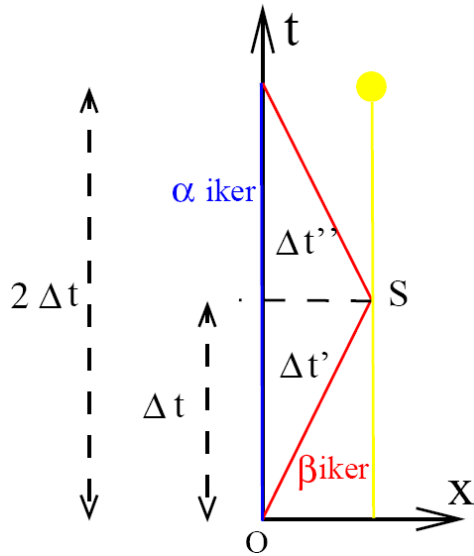
Keressük meg az  $S$  eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!

A KR-váltás megváltoztatja az egyidejűséget!



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a **β iker** lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

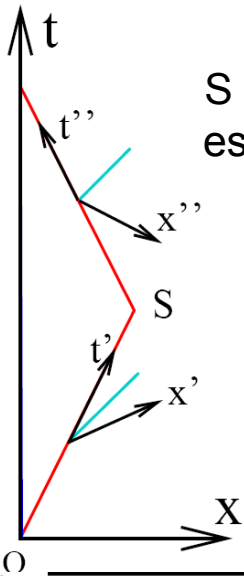
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a **β iker** nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

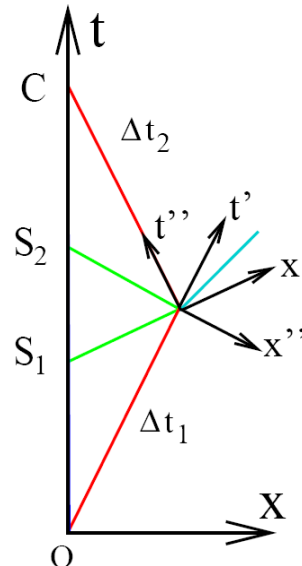
Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



Keressük meg az S eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!

A KR-váltás megváltoztatja az egyidejűséget!

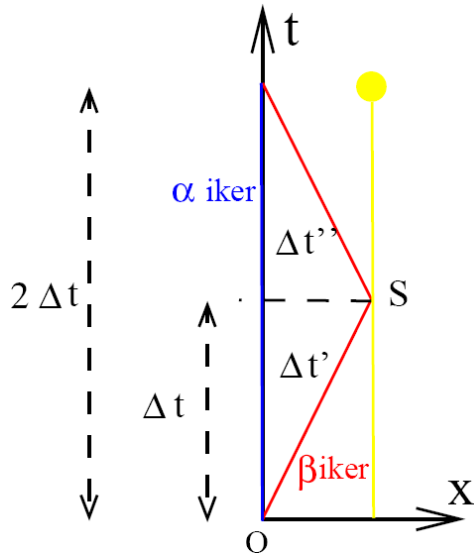


$$OS_1 < \Delta t_1$$



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  **$\beta$  iker** lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

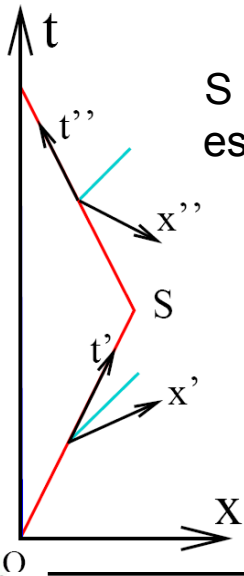
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  **$\beta$  iker** nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

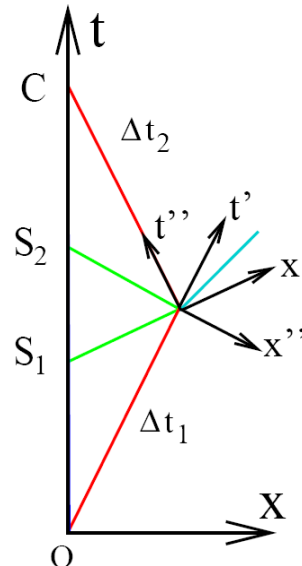
Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



Keressük meg az S eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!

A KR-váltás megváltoztatja az egyidejűséget!

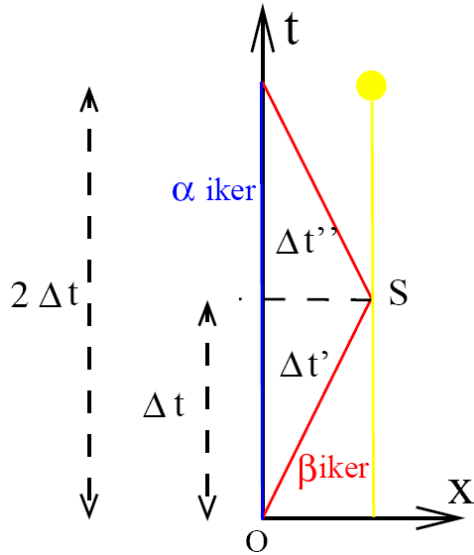


$$OS_1 < \Delta t_1 \quad \text{és} \quad S_2C < \Delta t_2$$



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  **$\beta$  iker** lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

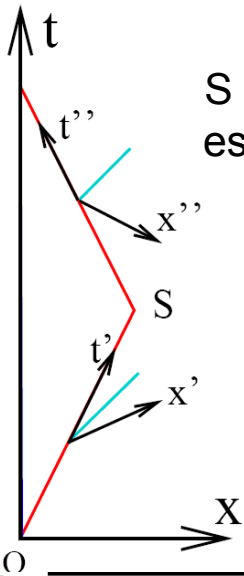
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  **$\beta$  iker** nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

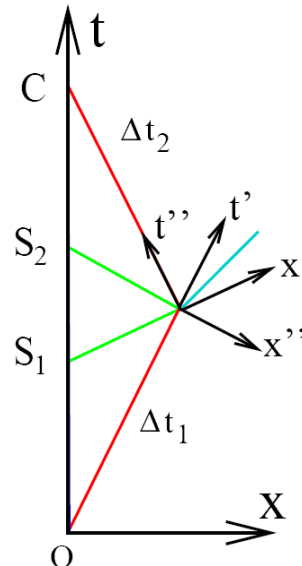
Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



Keressük meg az S eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!

A KR-váltás megváltoztatja az egyidejűséget!



$$OS_1 < \Delta t_1 \quad \text{és} \quad S_2C < \Delta t_2$$

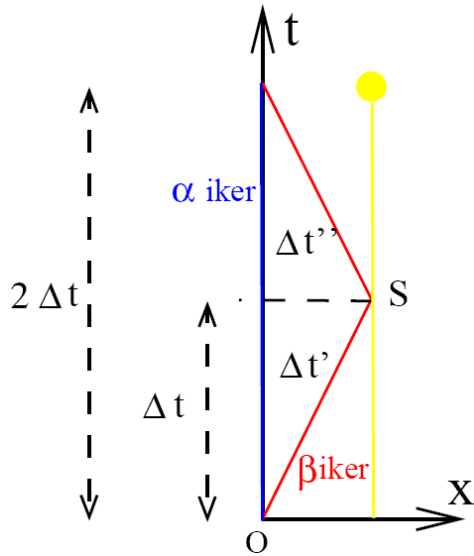
**DE:**





# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a **β iker** lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

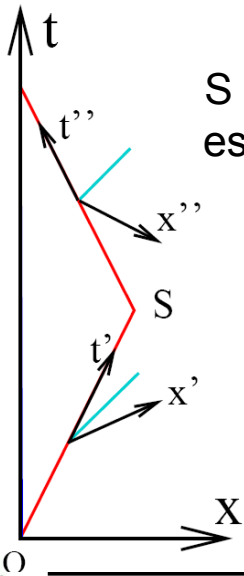
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a **β iker** nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

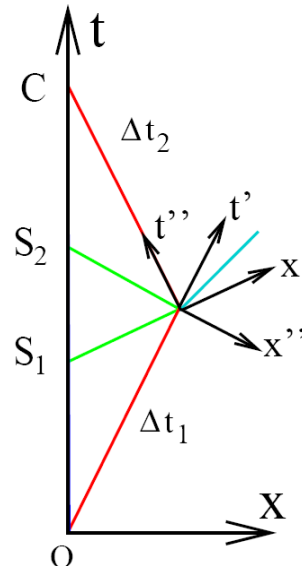
Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



Keressük meg az S eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!

A KR-váltás megváltoztatja az egyidejűséget!



$$OS_1 < \Delta t_1 \quad \text{és} \quad S_2C < \Delta t_2$$

DE:

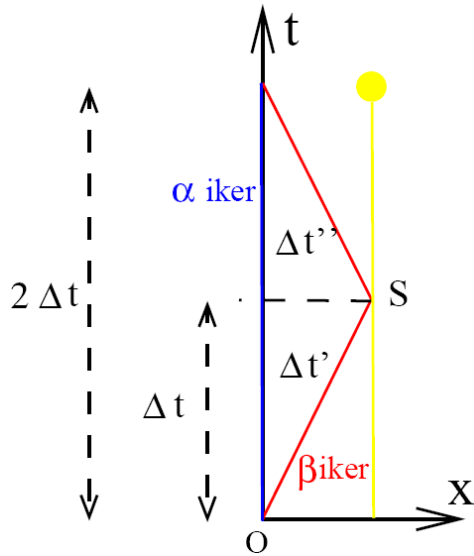
$$OS_1 + S_1S_2 + S_2C$$

α iker



# Ikerparadoxon

Ki lesz a fiatalabb? Az űrutazó vagy a Földön maradt iker?



Válasz: a  $\beta$  iker lesz fiatalabb.

Ellenvetés: hová lett a KR szimmetria?

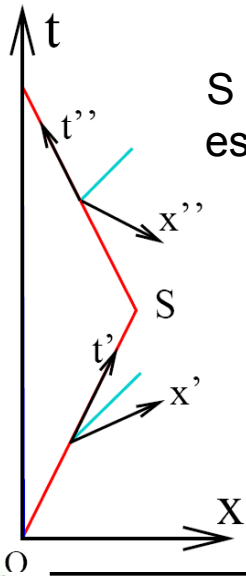
Válasz: a két út **NEM** egyenértékű:

a  $\beta$  iker nem volt végig egyetlen inerciarendszerben az S pontban gyorsult, „átugrott” egy visszafelé menő űrhajóba.

Ellenvetés: ezek szerint a gyorsulás fiatalít?

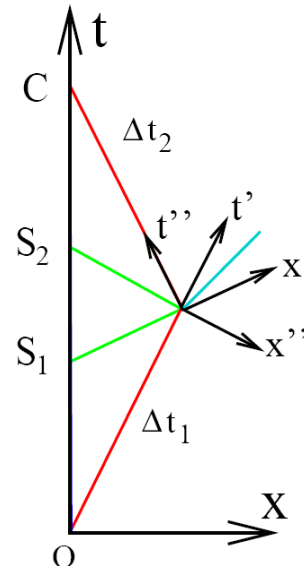
Válasz: **NEM** a gyorsulás, a **KR váltás!**

**HÁROM** KR szerepel az ábrán.



Keressük meg az S eseménnyel egyidejű eseményeket a Földön!

A KR-váltás megváltoztatja az egyidejűséget!



$$OS_1 < \Delta t_1 \quad \text{és} \quad S_2C < \Delta t_2$$

DE:

$$OS_1 + S_1S_2 + S_2C > \Delta t_1 + \Delta t_2$$

$\alpha$  iker

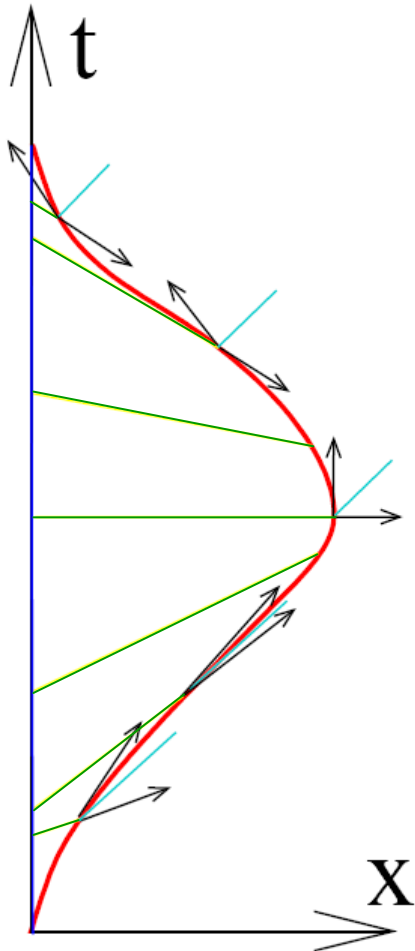
$\beta$  iker



## Folytonosan változó sebességű űrhajó:

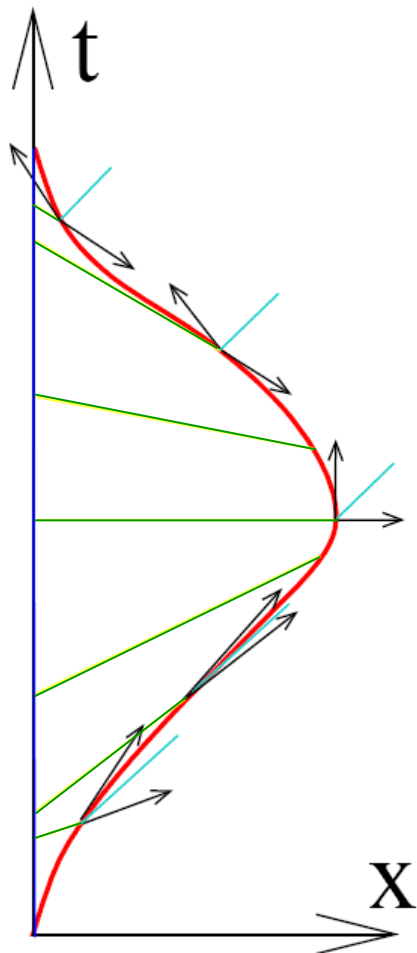


## Folytonosan változó sebességű űrhajó:

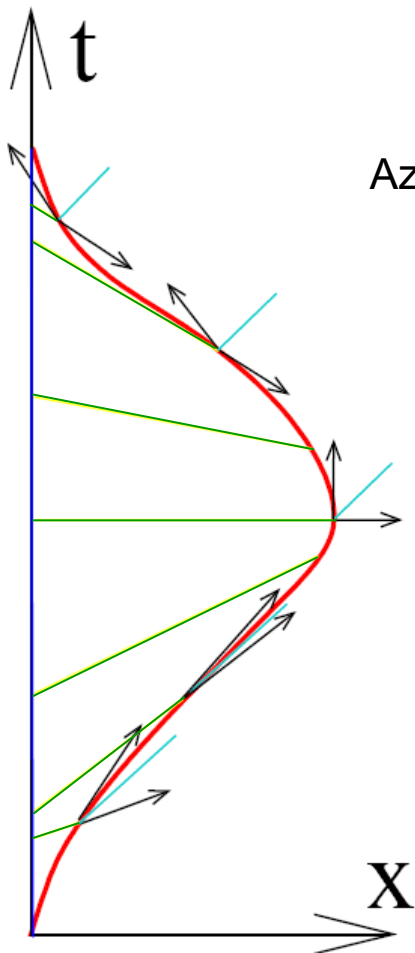


## Folytonosan változó sebességű űrhajó:

Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.



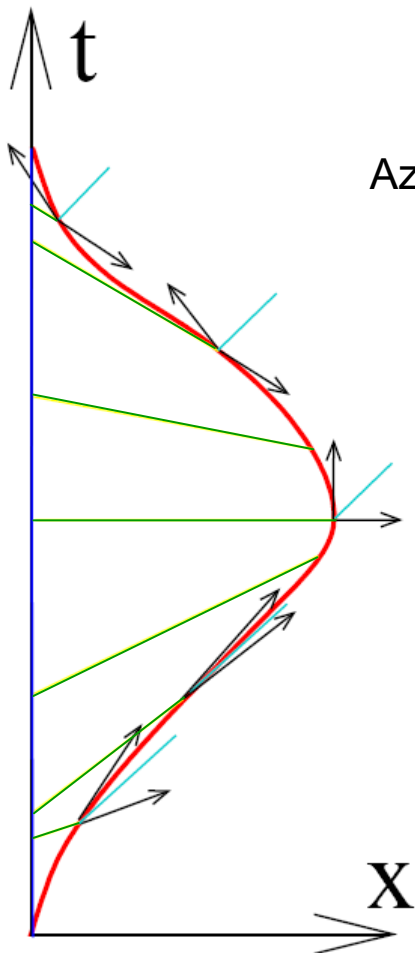
## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!

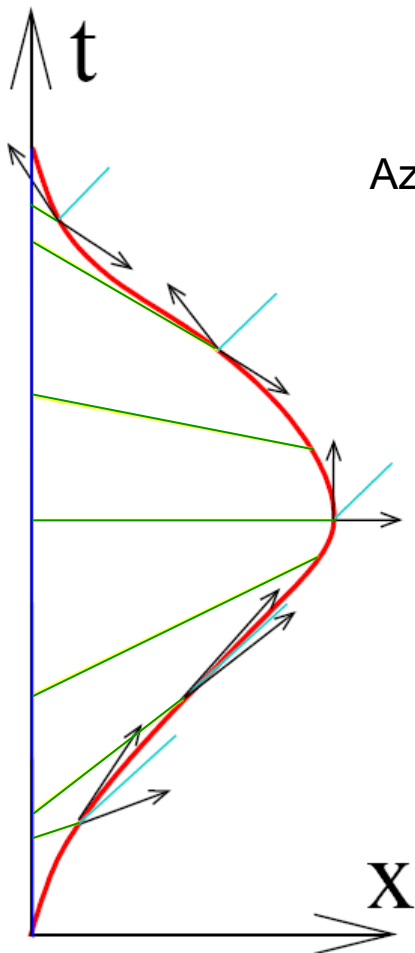
## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



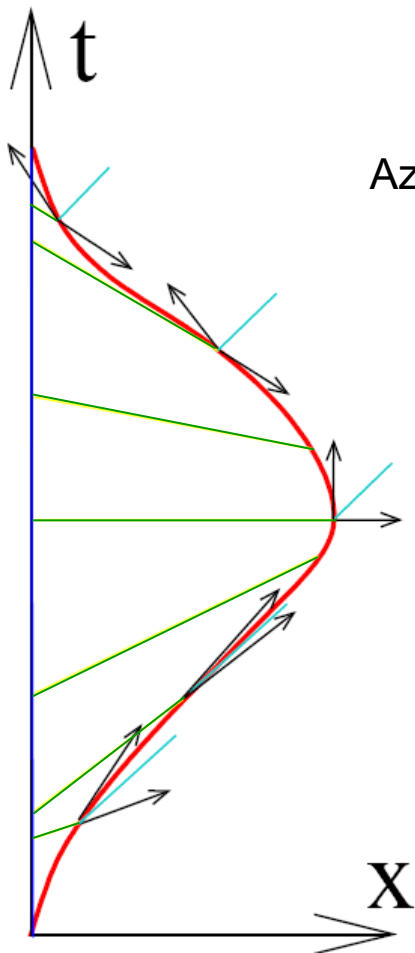
Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

Az ikerparadoxon  
geometriai interpretációja:



## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



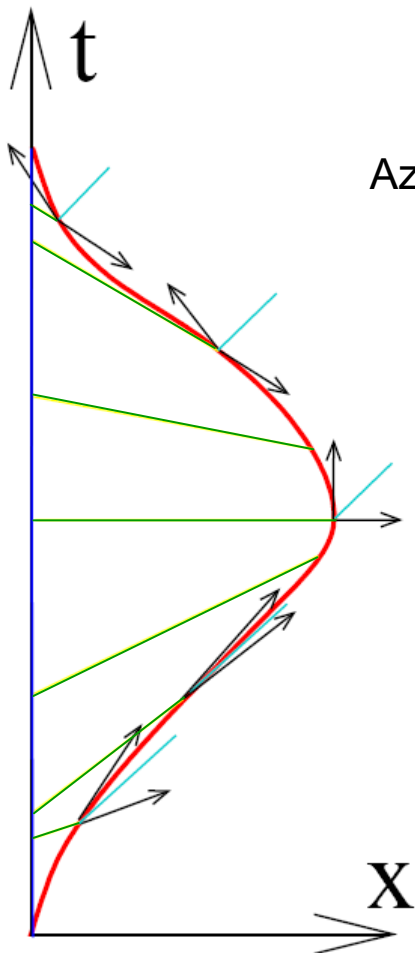
Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

Az ikerparadoxon  
geometriai interpretációja:

Euklidésznél:

## Folytonosan változó sebességű űrhajó:

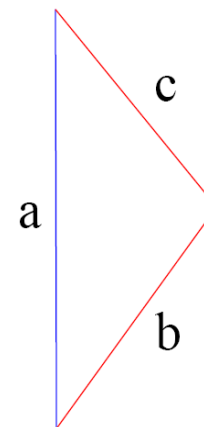


Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

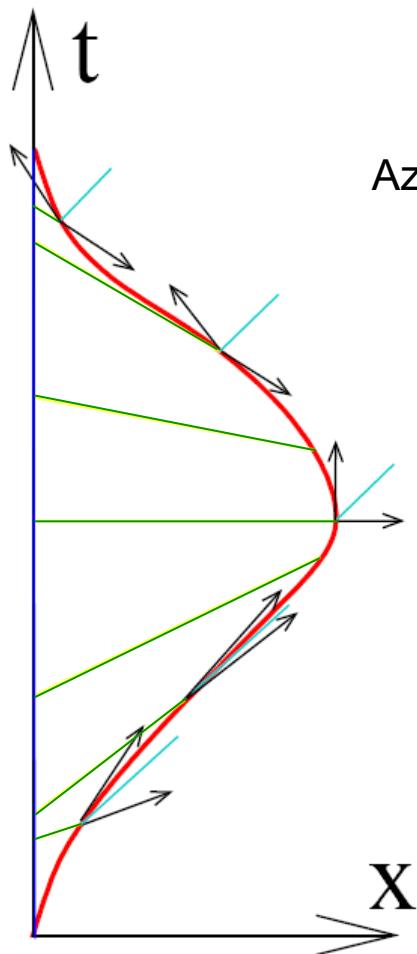
Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

Az ikerparadoxon geometriai interpretációja:

Euklidésznél:



## Folytonosan változó sebességű űrhajó:

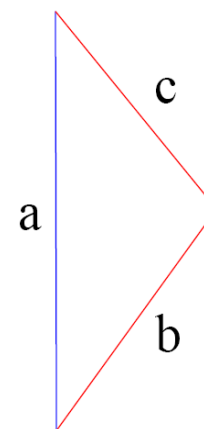


Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

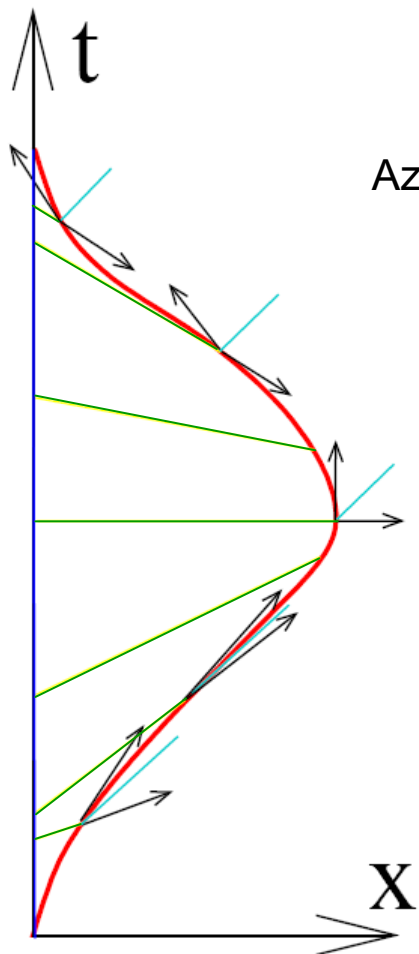
Az ikerparadoxon geometriai interpretációja:

Euklidésznél:



$$b + c > a$$

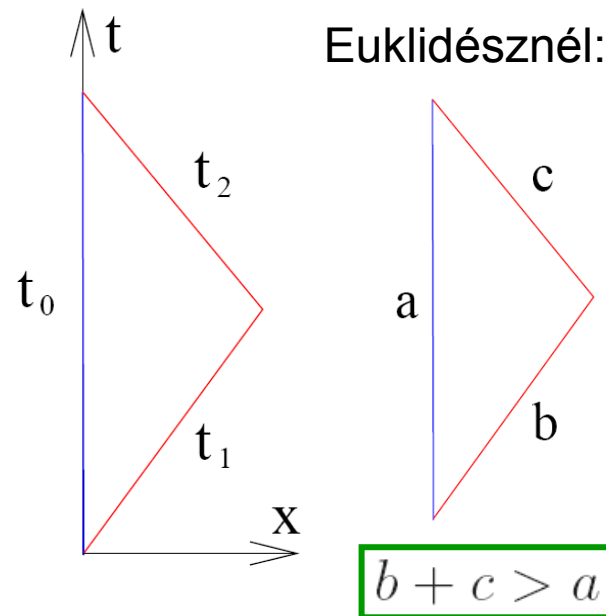
## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



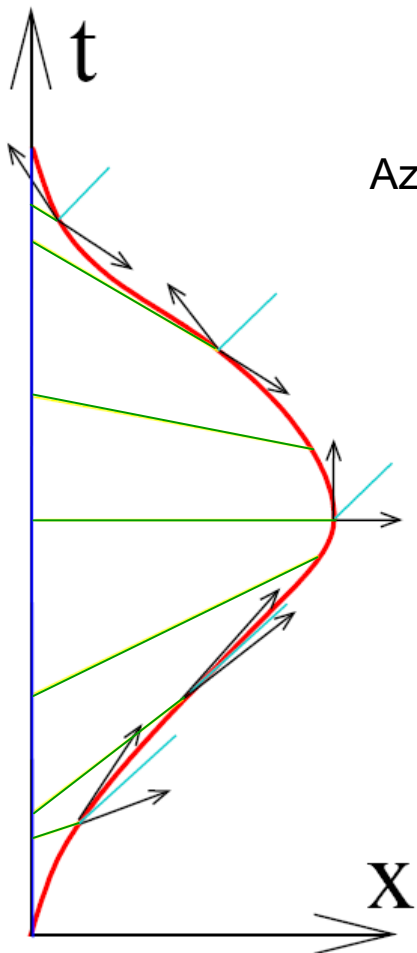
Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

Az ikerparadoxon geometriai interpretációja:



## Folytonosan változó sebességű űrhajó:

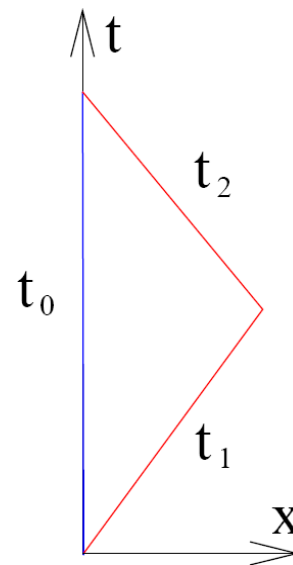


Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

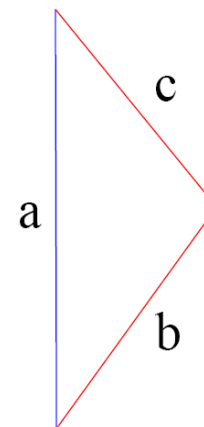
Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

Az ikerparadoxon geometriai interpretációja:

$$t_1 + t_2 < t_0$$

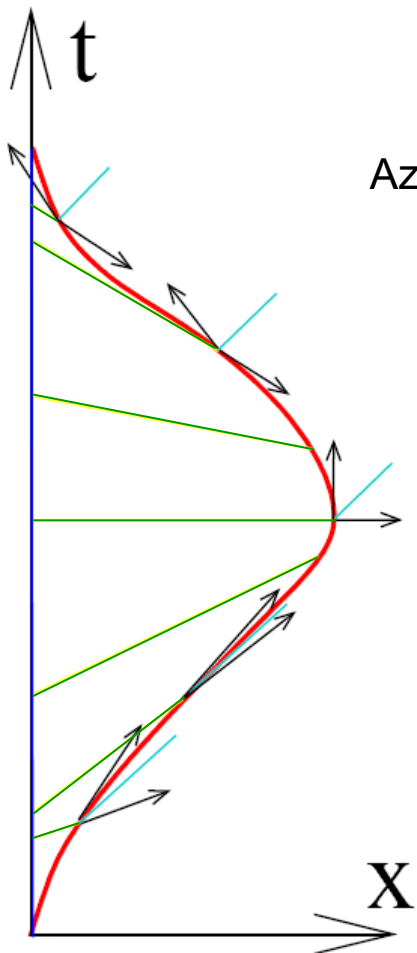


Euklidésznél:



$$b + c > a$$

## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



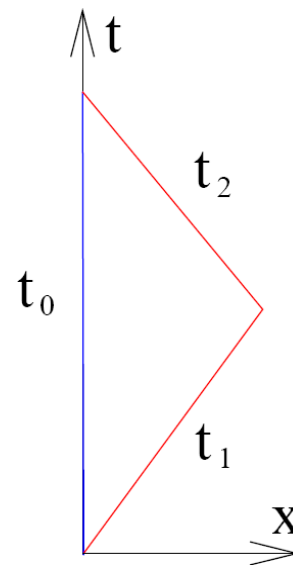
Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

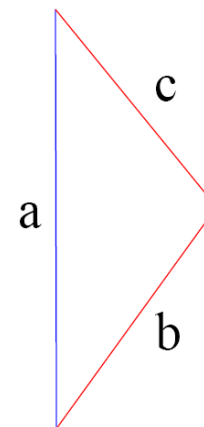
Az ikerparadoxon geometriai interpretációja:

**„Anti”-háromszög-egyenlőtlenség:**

$$t_1 + t_2 < t_0$$

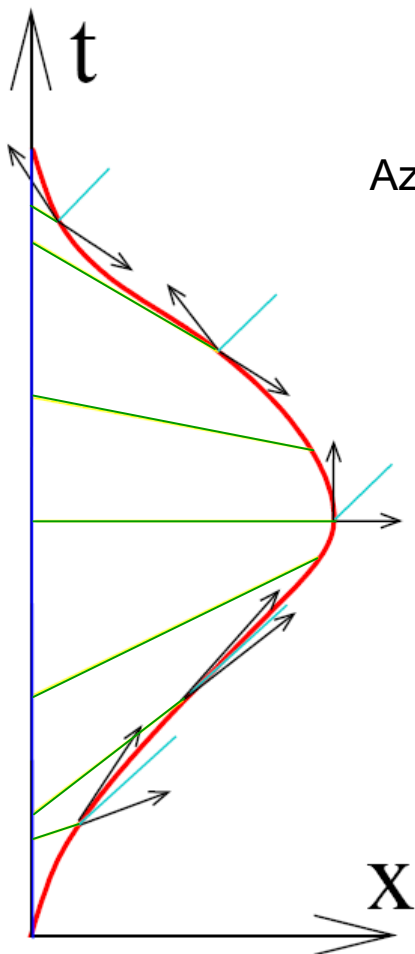


Euklidésznél:



$$b + c > a$$

## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonal érintője.

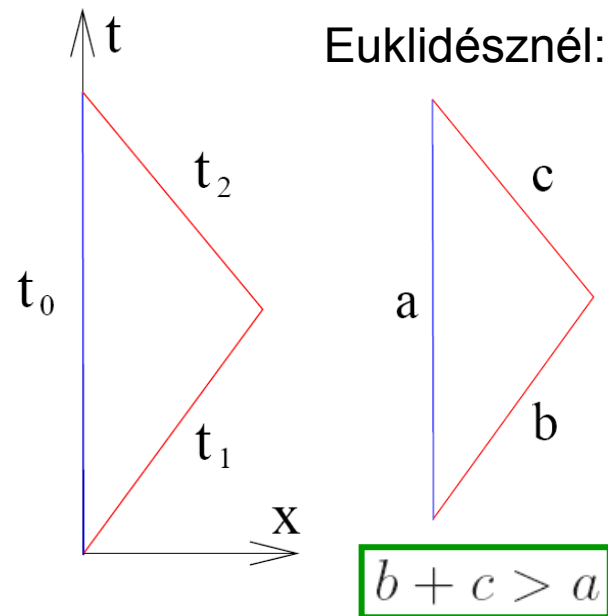
Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

Az ikerparadoxon geometriai interpretációja:

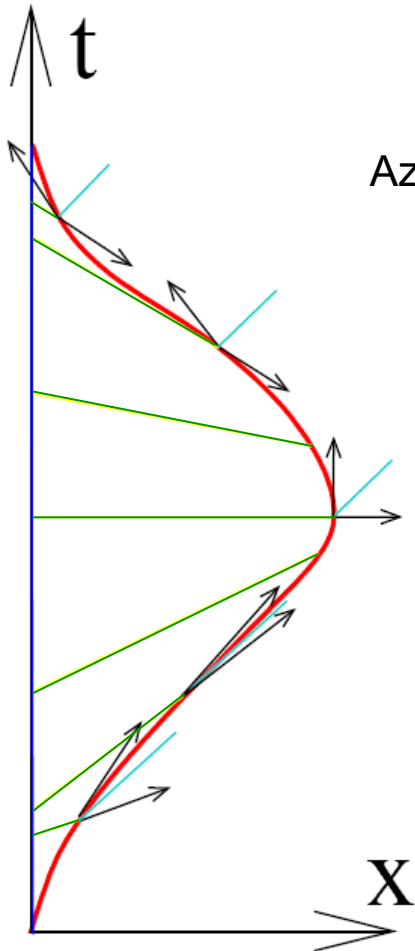
**„Anti”-háromszög-egyenlőtlenség:**

$$t_1 + t_2 < t_0$$

Ez a téridő-geometria sajátossága



## Folytonosan változó sebességű űrhajó:



Minden pontban van egy pillanatnyi, **lokális inerciarendszer**: ez folyamatosan változik. Időtengelye a világvonala érintője.

Az utazás adott pillanatával az utazó szerint egyidejű események ideje **nem egyenletesen söpri végig** a Föld világvonalát!  
A visszaforduláskor gyorsan változik az egyidejűség.

Az ikerparadoxon geometriai interpretációja:

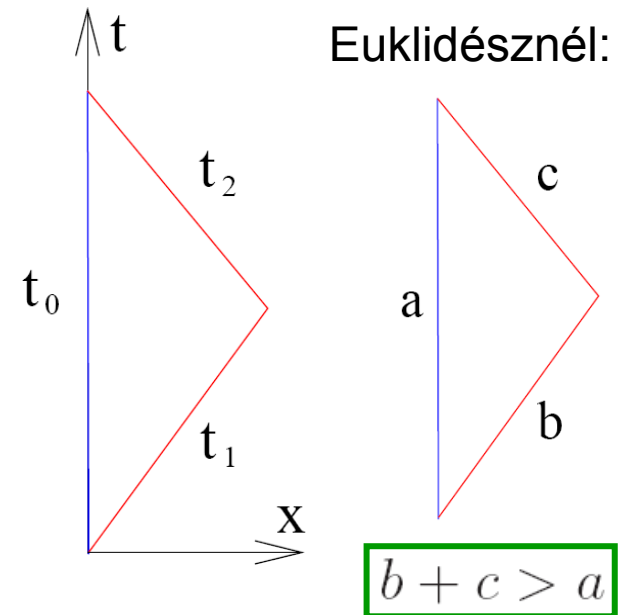
**„Anti”-háromszög-egyenlőtlenség:**

$$t_1 + t_2 < t_0$$

Ez a téridő-geometria sajátossága

**Vigyázat!**

**Csak időszerű szakaszokra igaz!**

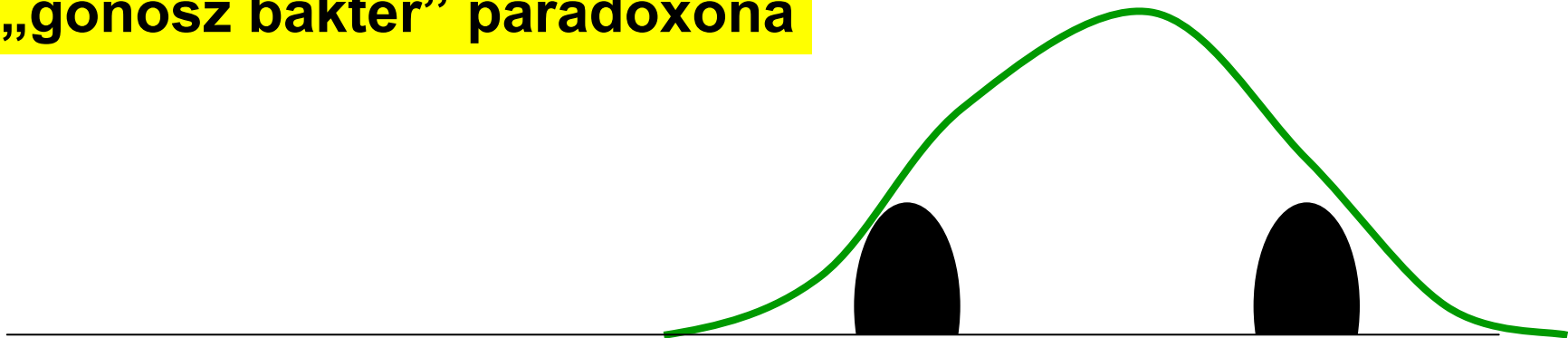




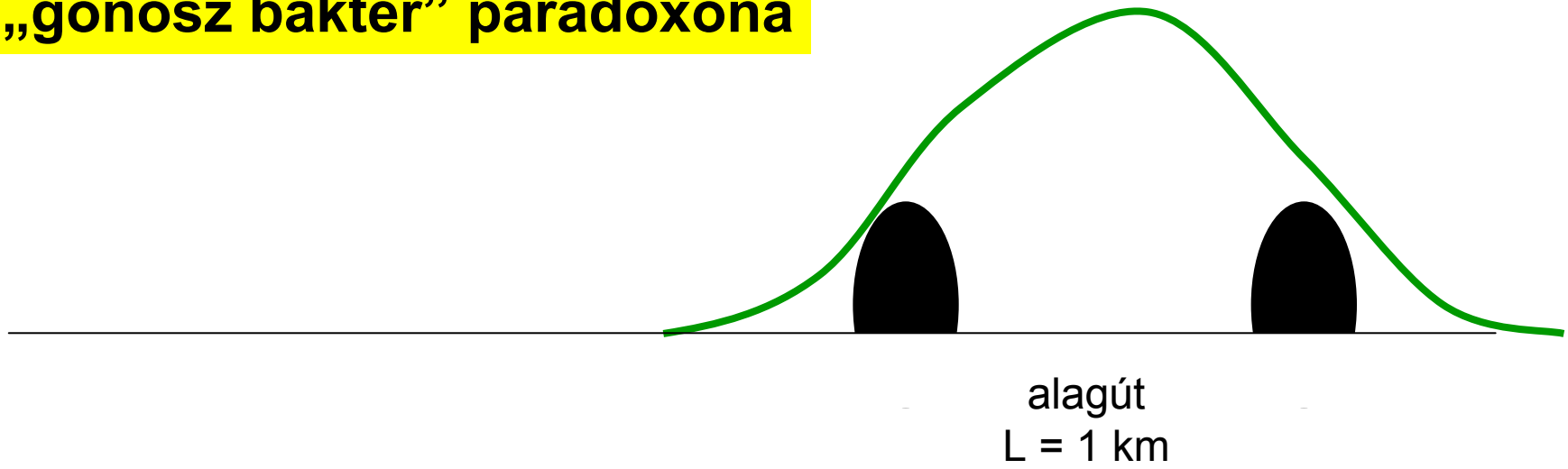
# A „gonosz bakter” paradoxona



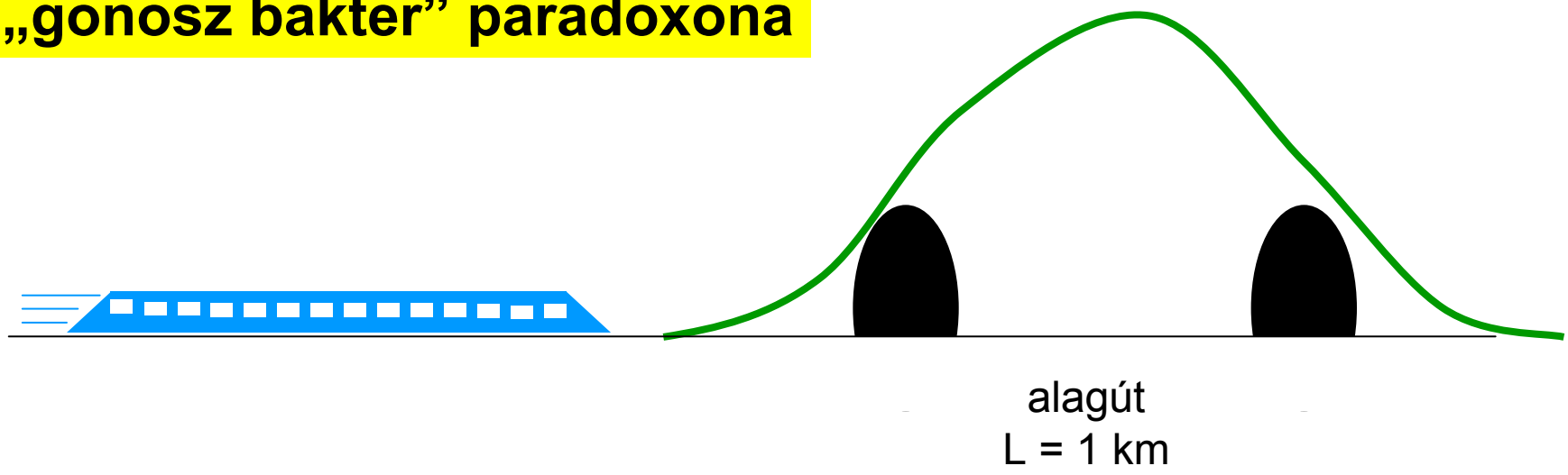
# A „gonosz bakter” paradoxona



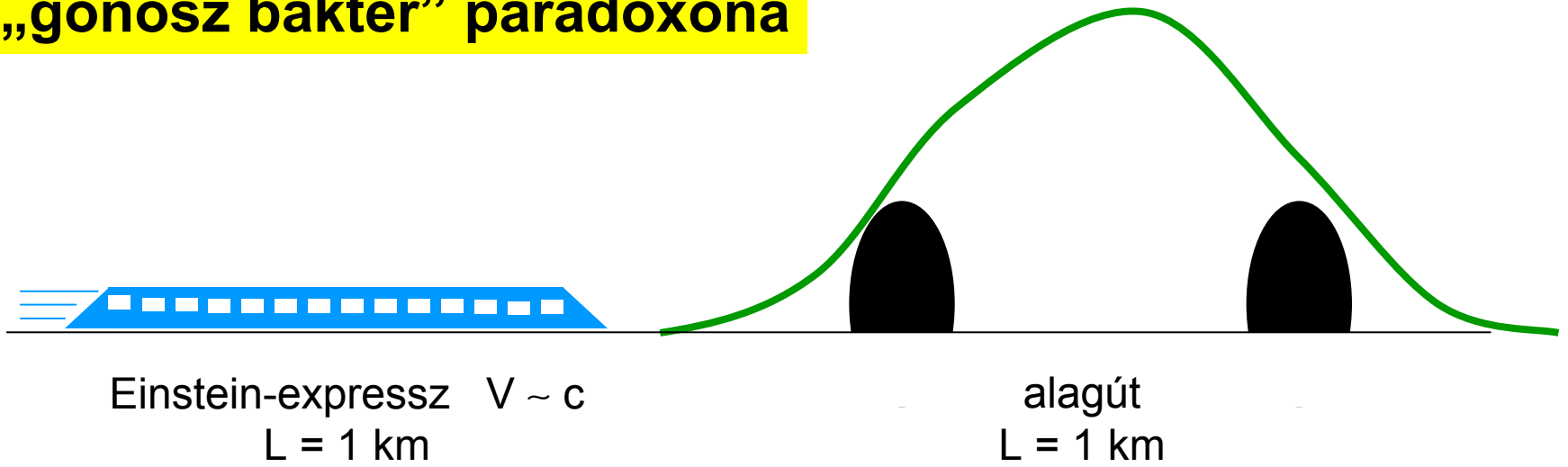
# A „gonosz bakter” paradoxona



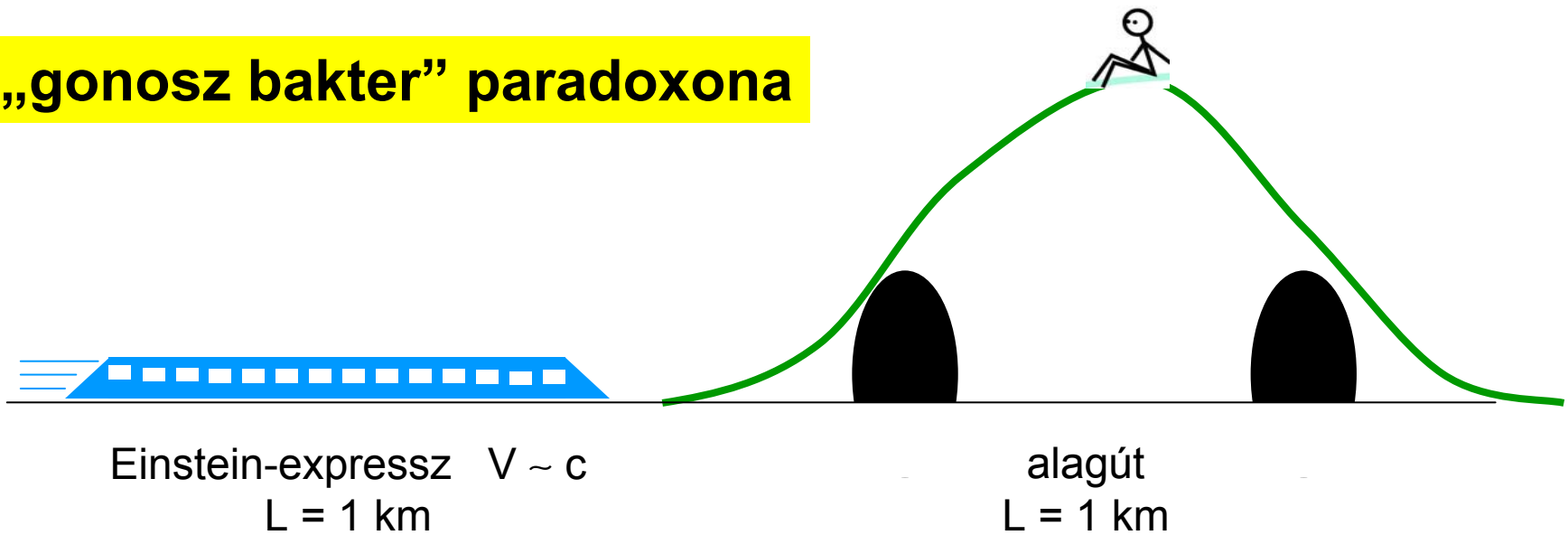
# A „gonosz bakter” paradoxona



# A „gonosz bakter” paradoxona



# A „gonosz bakter” paradoxona

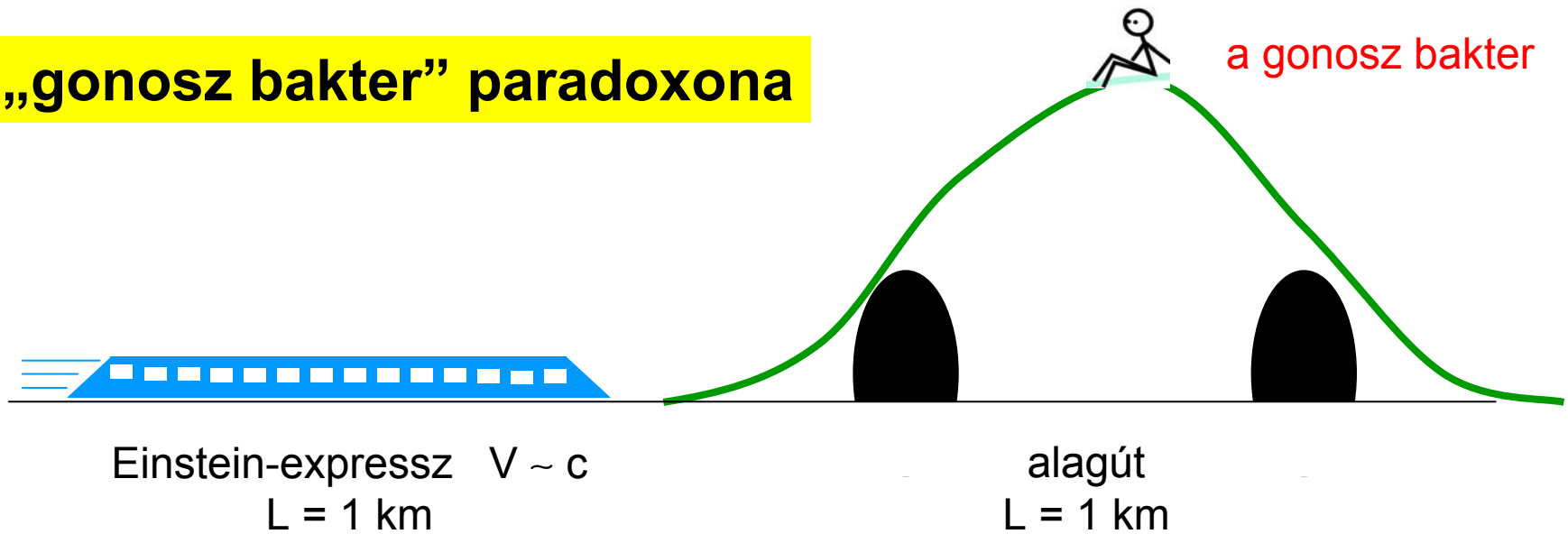


Einstein-expressz  $V \sim c$   
 $L = 1 \text{ km}$

alagút  
 $L = 1 \text{ km}$



# A „gonosz bakter” paradoxona

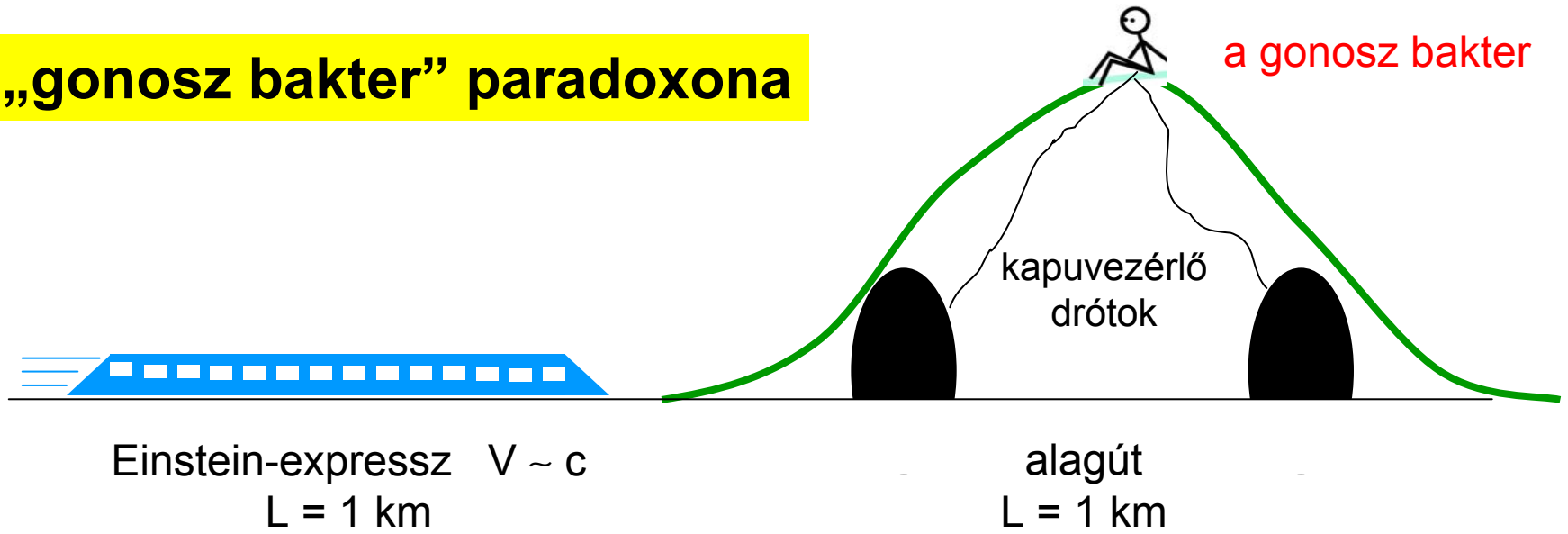


Einstein-expressz  $V \sim c$   
 $L = 1 \text{ km}$

alagút  
 $L = 1 \text{ km}$



# A „gonosz bakter” paradoxona



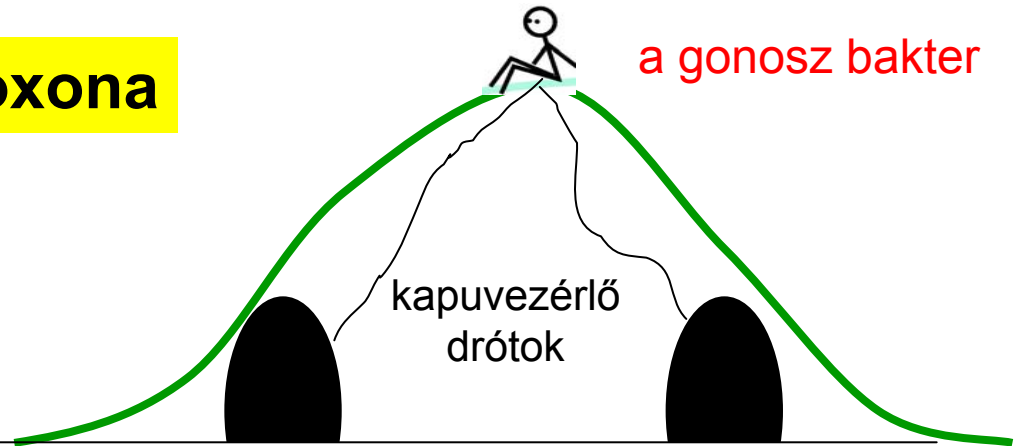


# A „gonosz bakter” paradoxona

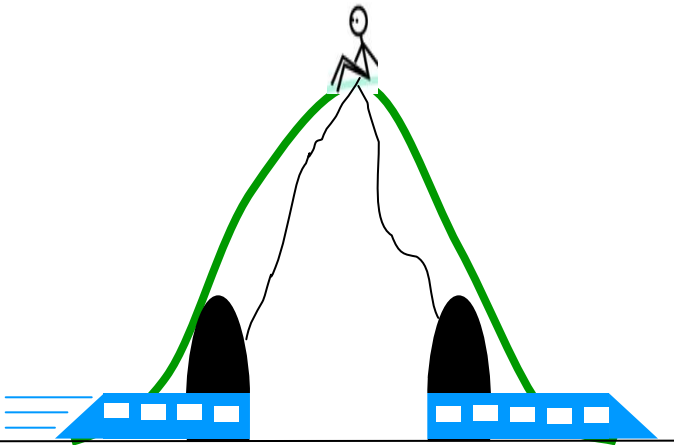
a gonosz bakter



Einstein-expressz  $V \sim c$   
 $L = 1 \text{ km}$



alagút  
 $L = 1 \text{ km}$

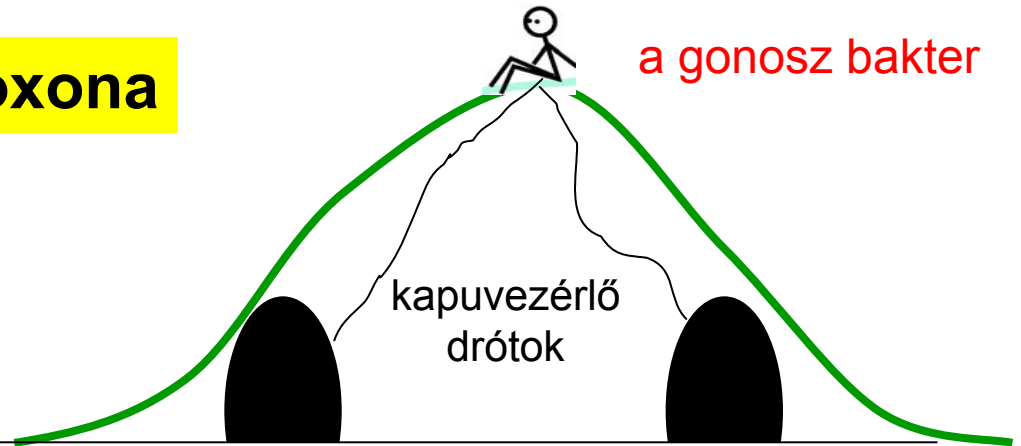


# A „gonosz bakter” paradoxona

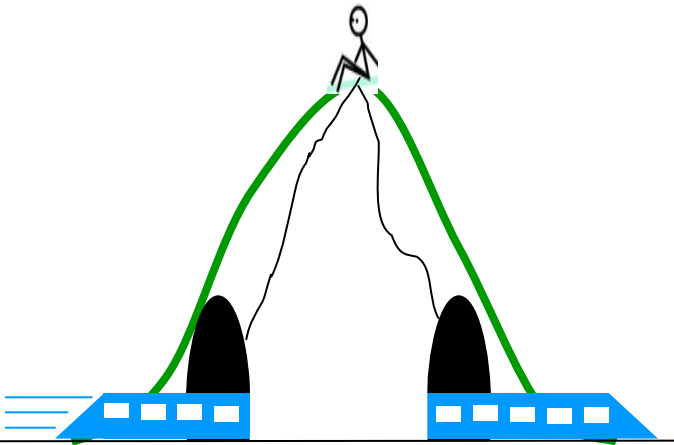
a gonosz bakter



Einstein-expressz  $V \sim c$   
 $L = 1 \text{ km}$



alagút  
 $L = 1 \text{ km}$



Így látja a mozdonyvezető

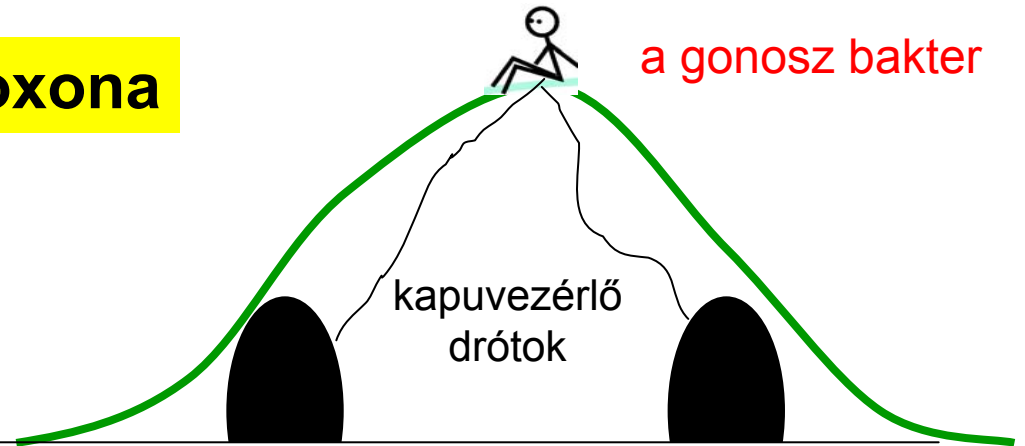


# A „gonosz bakter” paradoxona

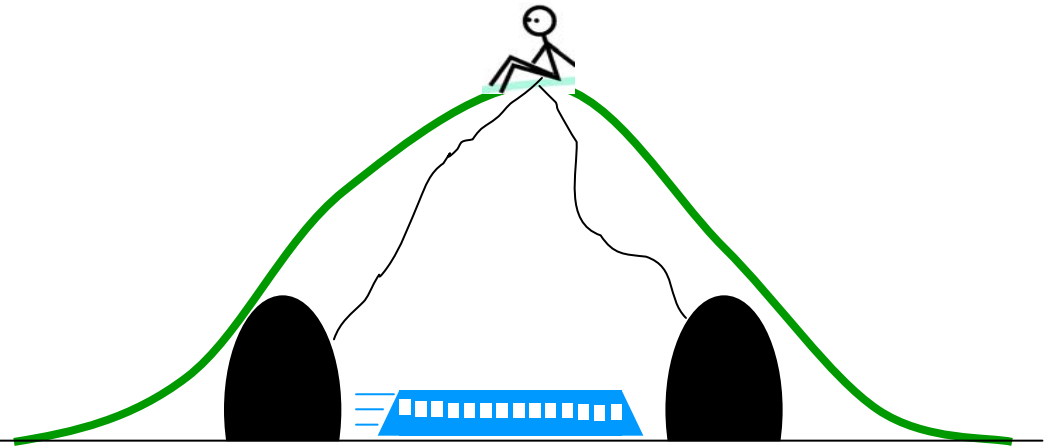
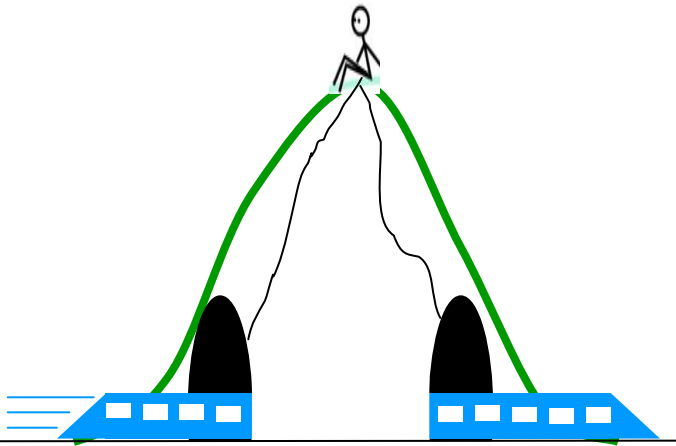
a gonosz bakter



Einstein-expressz  $V \sim c$   
 $L = 1 \text{ km}$



alagút  
 $L = 1 \text{ km}$



Így látja a mozdonyvezető

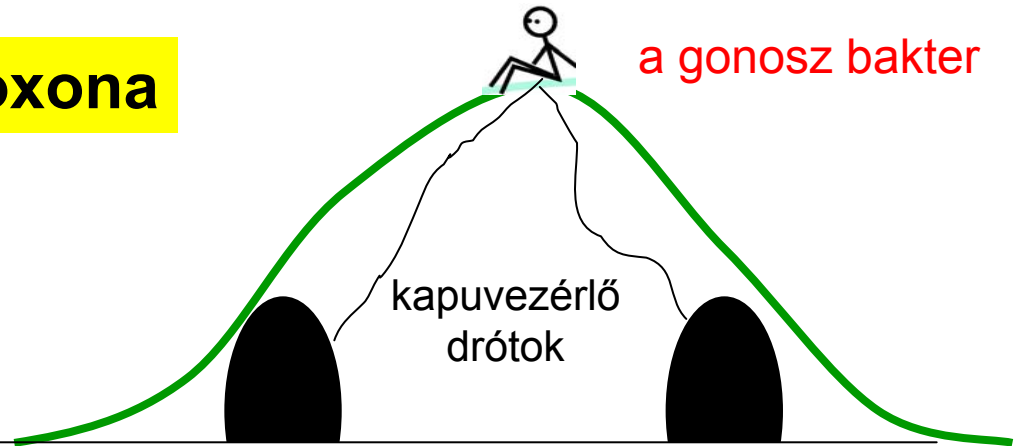


# A „gonosz bakter” paradoxona

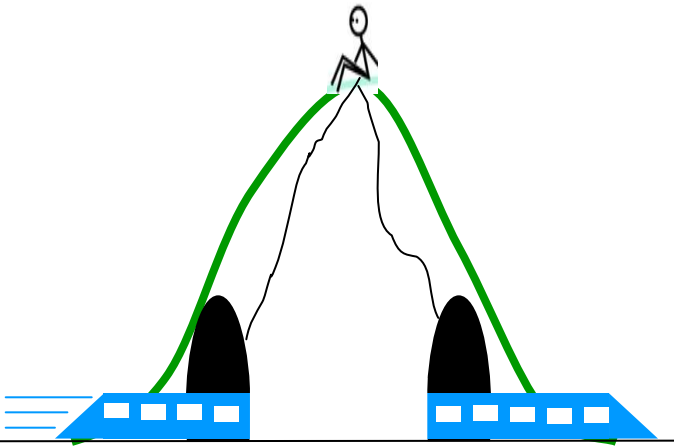
a gonosz bakter



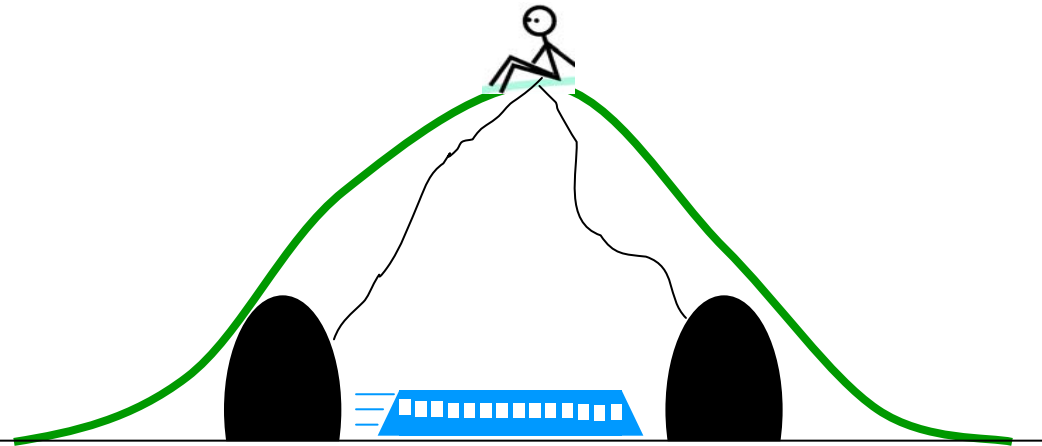
Einstein-expressz  $V \sim c$   
 $L = 1 \text{ km}$



alagút  
 $L = 1 \text{ km}$



Így látja a mozdonyvezető



Így látja a gonosz bakter.

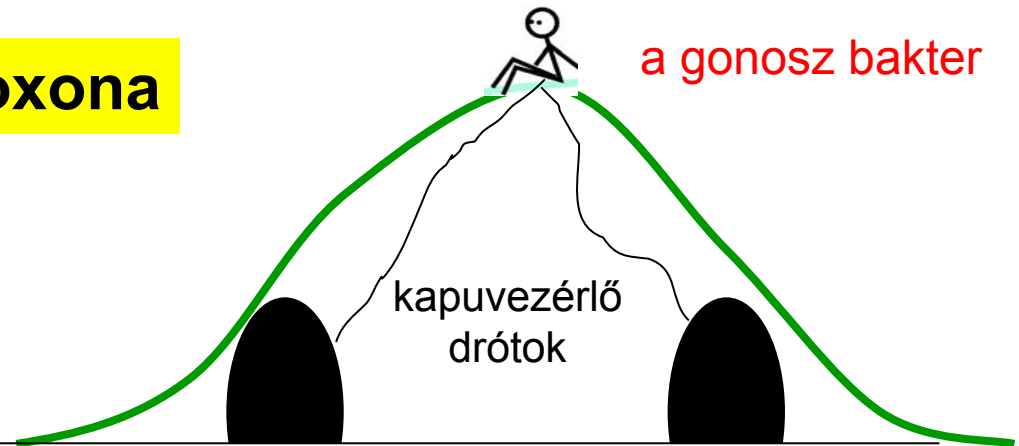


# A „gonosz bakter” paradoxona

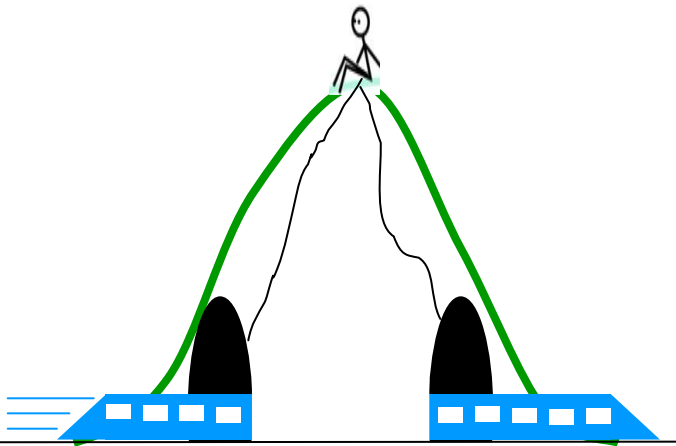
a gonosz bakter



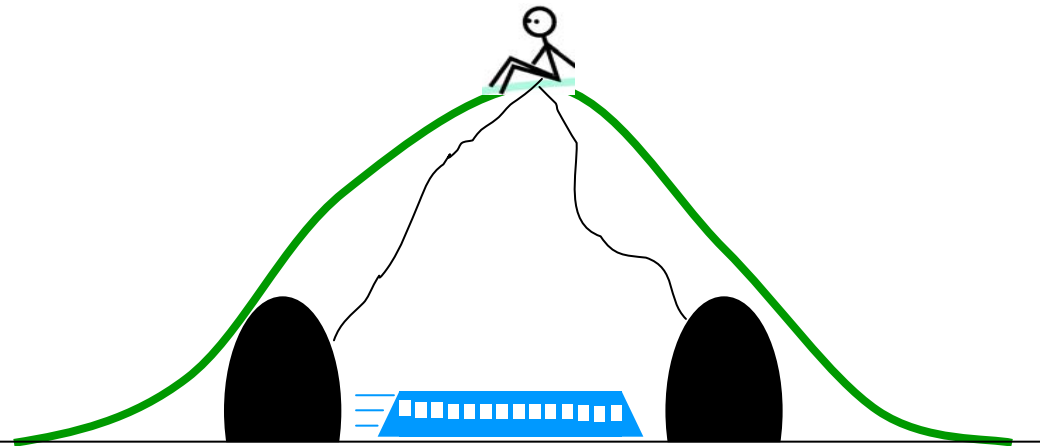
Einstein-expressz  $V \sim c$   
 $L = 1 \text{ km}$



alagút  
 $L = 1 \text{ km}$



Így látja a mozdonyvezető



Így látja a gonosz bakter. **És akkor huss, becsukja mindkét kaput!**



## A gonosz bakter paradoxona:



**A gonosz bakter paradoxona:**  
be van-e zárva a vonat, vagy nincs?



## **A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?

Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...





**A gonosz bakter paradoxona:**  
be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

**Válasz:**  
de bizony függ!



### A gonosz bakter paradoxona:

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?

Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

### Válasz:

de bizony függ!

Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?



**A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

**Válasz:**

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

A távoli események egyidejűsége nem abszolút, függ attól, ki nézi!



**A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

**Válasz:**

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút**, függ attól, ki nézi!

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.



**A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

**Válasz:**

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút**, függ attól, ki nézi!

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.  
**Ezek a bakter számára egyidejű események.**



### A gonosz bakter paradoxona:

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

### Válasz:

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

A távoli események egyidejűsége nem abszolút, függ attól, ki nézi!

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a két kapu egymástól távol bezáródik.

Ezek a bakter számára egyidejű események.

De a mozdonyvezető számára nem!



**A gonosz bakter paradoxona:**  
be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

**Válasz:**  
de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút, függ attól, ki nézi!**

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.

**Ezek a bakter számára egyidejű események.**

**De a mozdonyvezető számára nem!**

**Módosítás: a nem teljesen gonosz bakter paradoxona.**



**A gonosz bakter paradoxona:**  
be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

**Válasz:**  
de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút**, függ attól, ki nézi!

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.

**Ezek a bakter számára egyidejű események.**

**De a mozdonyvezető számára nem!**

**Módosítás: a nem teljesen gonosz bakter paradoxona.**  
Miután csapdába ejtette a vonatot, a bakter megszánja az utasokat.





### **A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

### **Válasz:**

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút, függ attól, ki nézi!**

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.

**Ezek a bakter számára egyidejű események.**

**De a mozdonyvezető számára nem!**

### **Módosítás: a nem teljesen gonosz bakter paradoxona.**

Miután csapdába ejtette a vonatot, a bakter megszánja az utasokat.  
Amikor a mozdony az alagút kijáratához ér, a bakter kinyitja mindkét kaput, és a vonat kisuhan az alagútból.



### **A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

### **Válasz:**

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút**, függ attól, ki nézi!

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.

**Ezek a bakter számára egyidejű események.**

**De a mozdonyvezető számára nem!**

### **Módosítás: a nem teljesen gonosz bakter paradoxona.**

Miután csapdába ejtette a vonatot, a bakter megszánja az utasokat.  
Amikor a mozdony az alagút kijáratához ér, a bakter kinyitja mindkét kaput, és a vonat kisuhan az alagútból.

**Paradoxon:** a vonat egy ideig teljesen be volt zárva.



### **A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

### **Válasz:**

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút**, függ attól, ki nézi!

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.

**Ezek a bakter számára egyidejű események.**

**De a mozdonyvezető számára nem!**

### **Módosítás: a nem teljesen gonosz bakter paradoxona.**

Miután csapdába ejtette a vonatot, a bakter megszánja az utasokat.  
Amikor a mozdony az alagút kijáratához ér, a bakter kinyitja mindkét kaput, és a vonat kisuhan az alagútból.

**Paradoxon:** a vonat egy ideig teljesen be volt zárva.  
De a mozdonyvezető szerint a vonat be sem fér az alagútba!



### **A gonosz bakter paradoxona:**

be van-e zárva a vonat, vagy nincs?  
Ez már csak objektív állítás,  
nem függhet attól, ki nézi...

### **Válasz:**

de bizony függ!  
Mert mit is jelent az, hogy „**akkor**”  
becsukja mindkét kaput?

**A távoli események egyidejűsége nem abszolút**, függ attól, ki nézi!

Amikor a vonat hátsó vége is beér az alagútba, a bakter megnyomja a gombot, a **két kapu** egymástól távol bezáródik.

**Ezek a bakter számára egyidejű események.**

**De a mozdonyvezető számára nem!**

### **Módosítás: a nem teljesen gonosz bakter paradoxona.**

Miután csapdába ejtette a vonatot, a bakter megszánja az utasokat.  
Amikor a mozdony az alagút kijáratához ér, a bakter kinyitja mindkét kaput, és a vonat kisuhan az alagútból.

**Paradoxon:** a vonat egy ideig teljesen be volt zárva.  
De a mozdonyvezető szerint a vonat be sem fér az alagútba!

Kövessük az események részleteit a téridő-diagramokon!

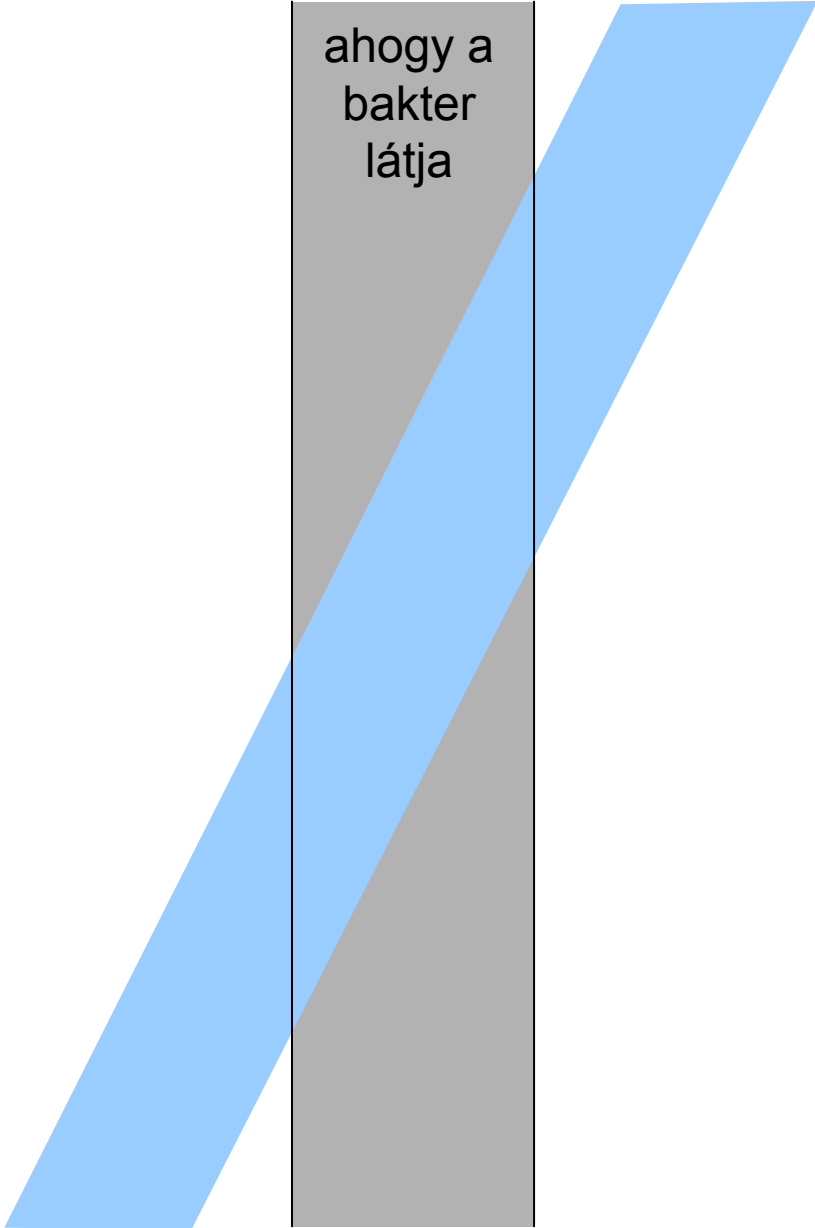


ahogy a  
bakter  
látja



ahogy a  
bakter  
látja





ahogy a  
bakter  
látja



ahogy a  
bakter  
látja





ahogy a  
bakter  
látja



ahogy a  
mozdony-  
vezető  
látja



ahogy a  
bakter  
látja



ahogy a  
mozdony-  
vezető  
látja



ahogy a  
bakter  
látja



ahogy a  
mozdony-  
vezető  
látja



ahogy a  
bakter  
látja



ahogy a  
mozdony-  
vezető  
látja

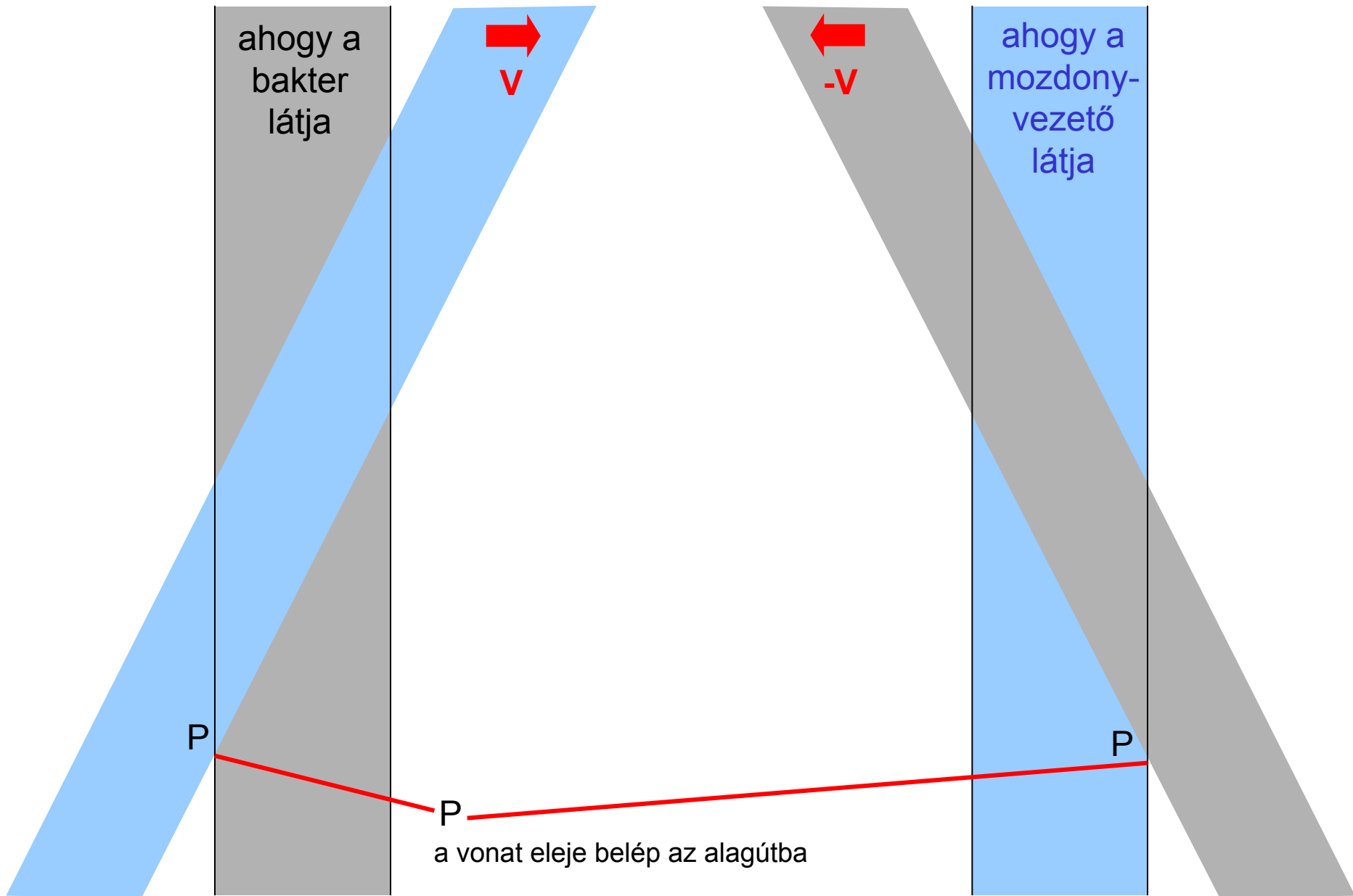
ahogy a  
bakter  
látja

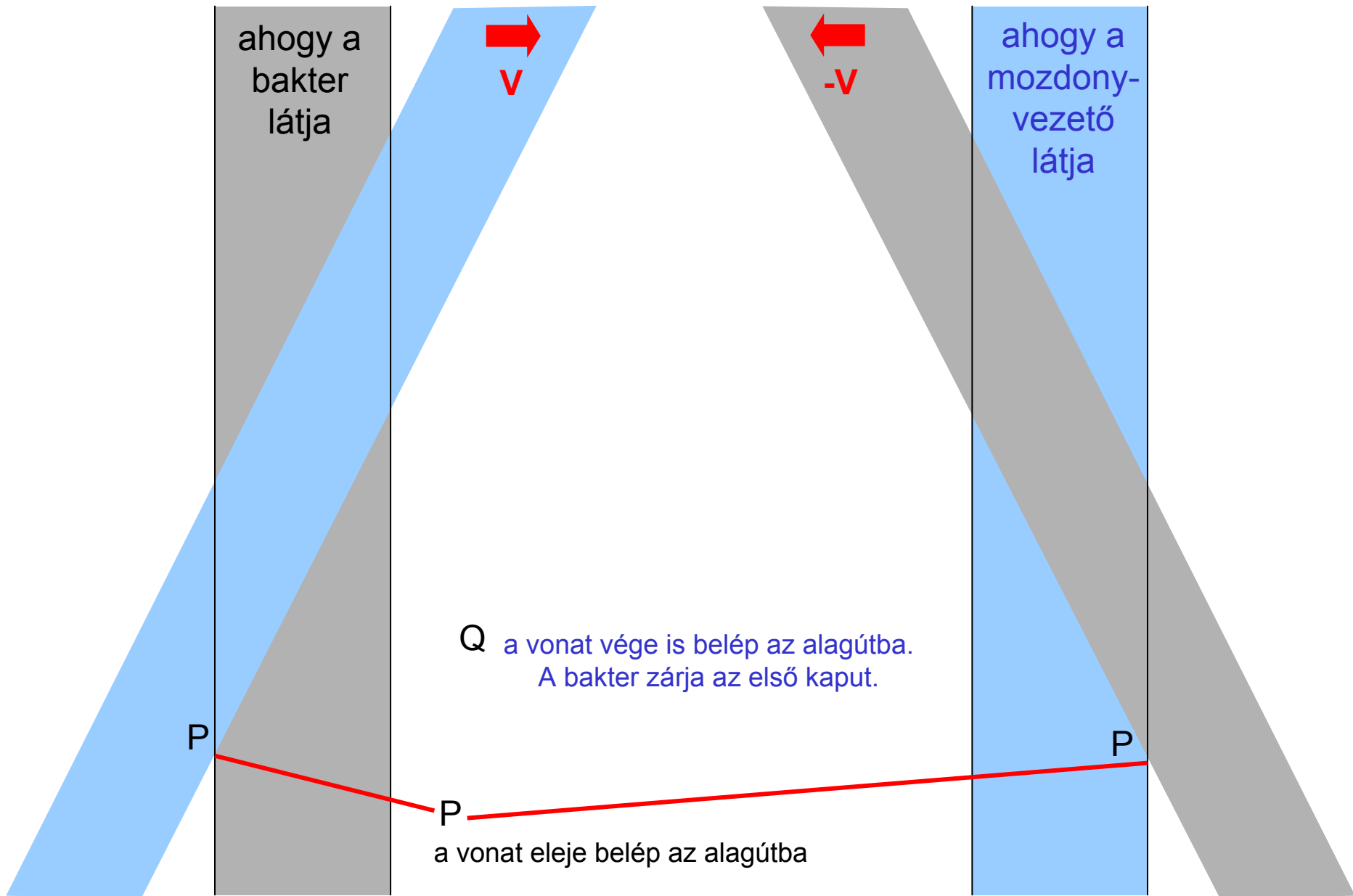


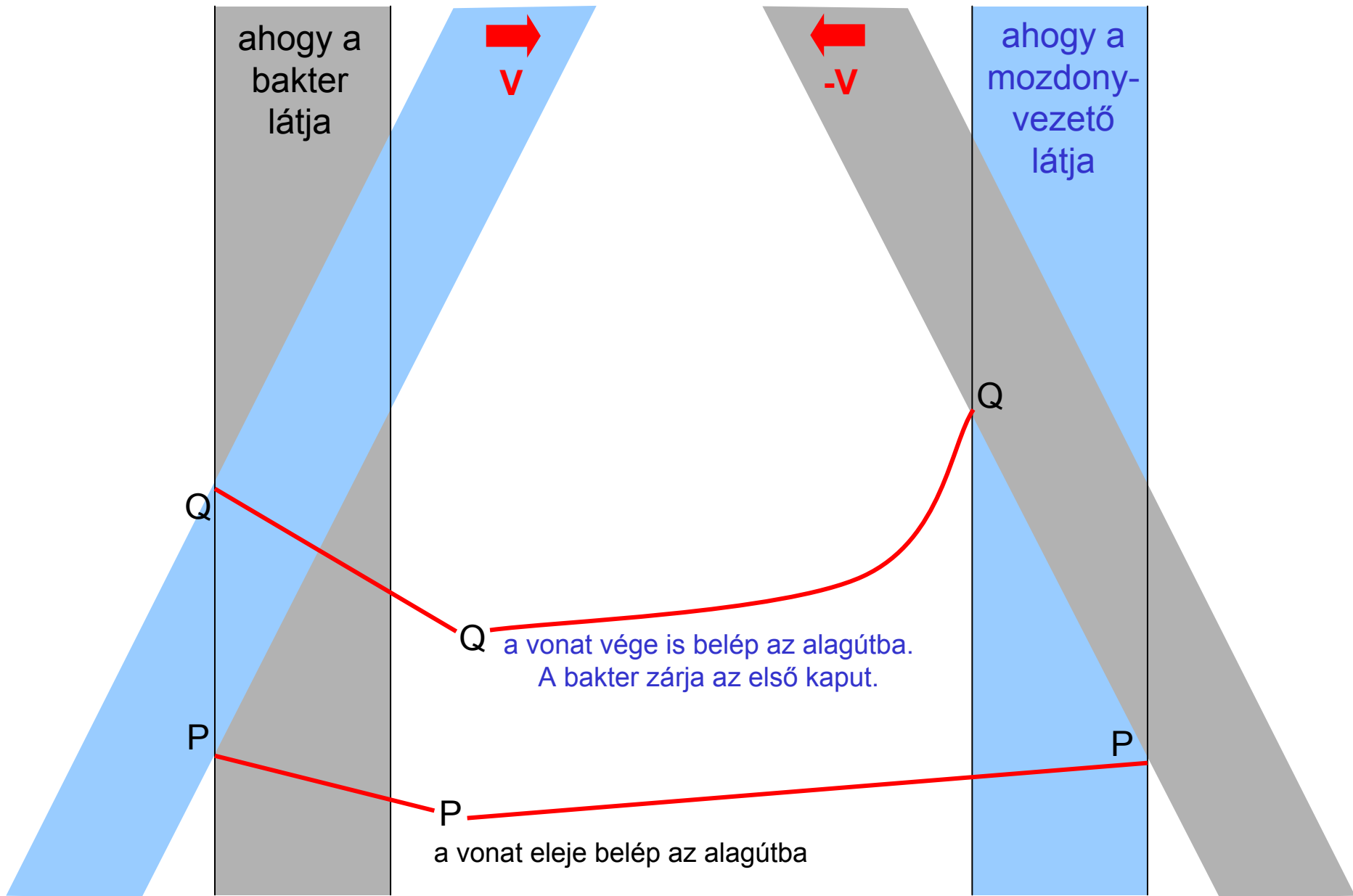
ahogy a  
mozdony-  
vezető  
látja

P  
a vonat eleje belép az alagútba

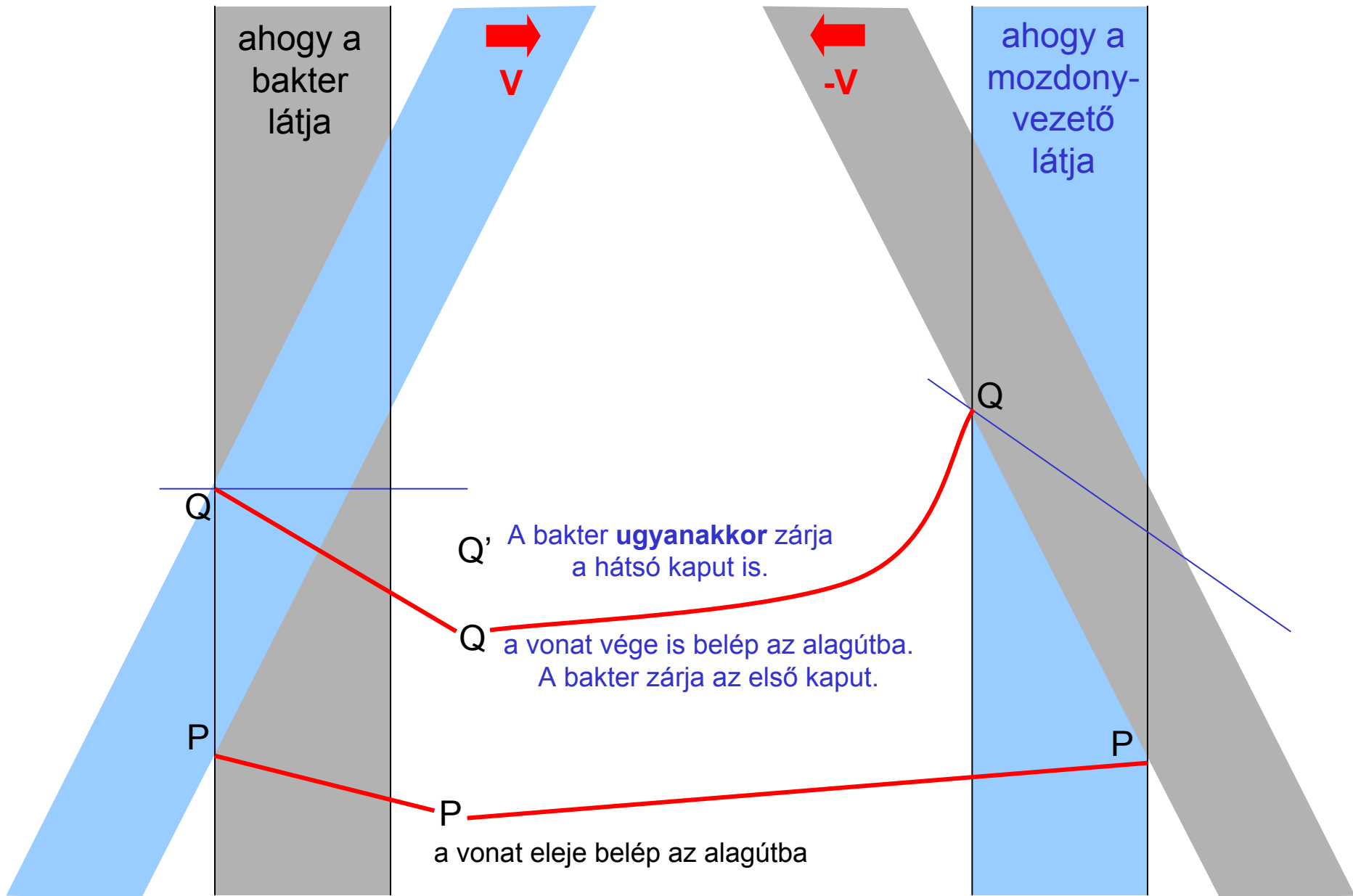


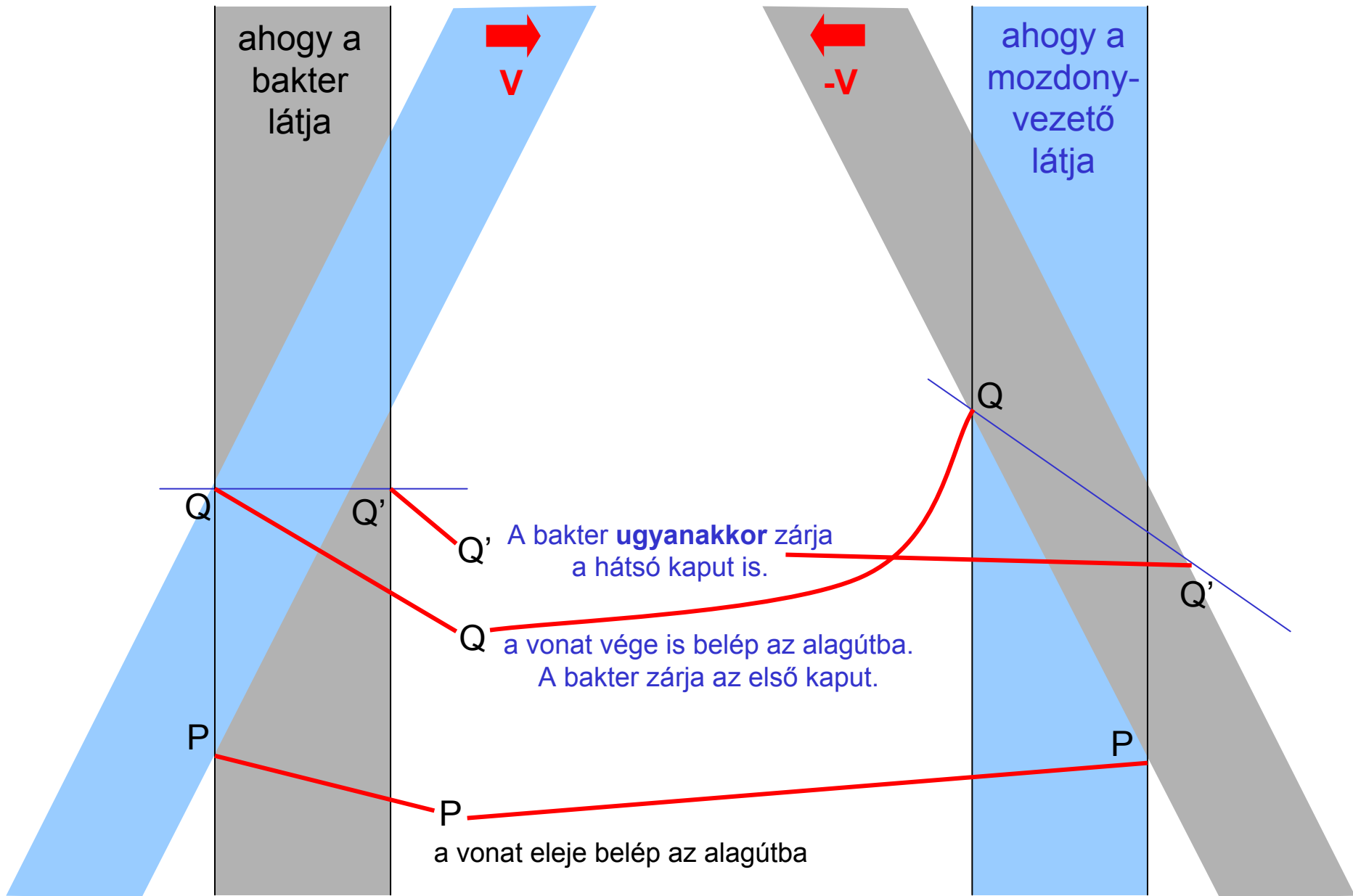


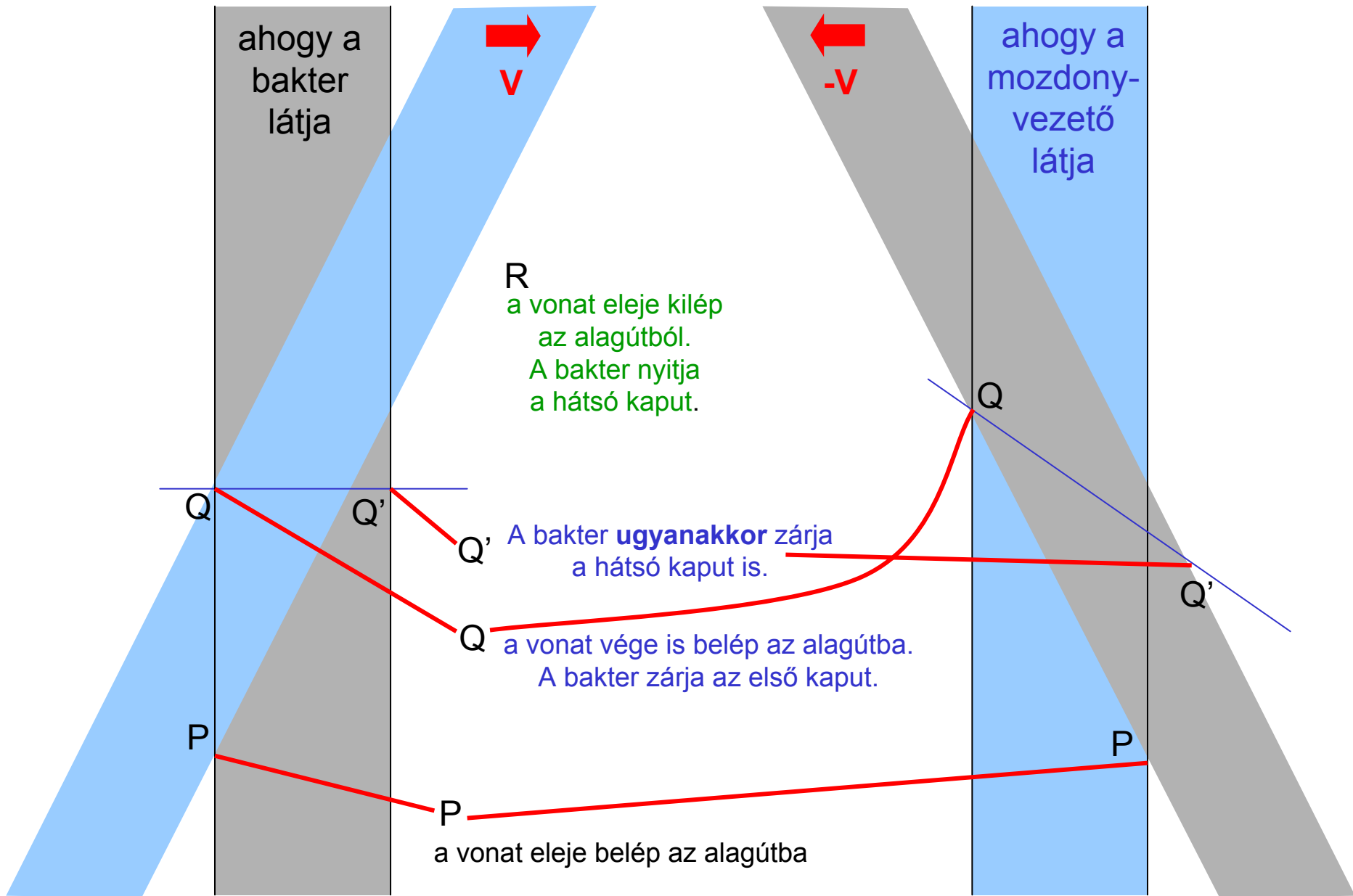


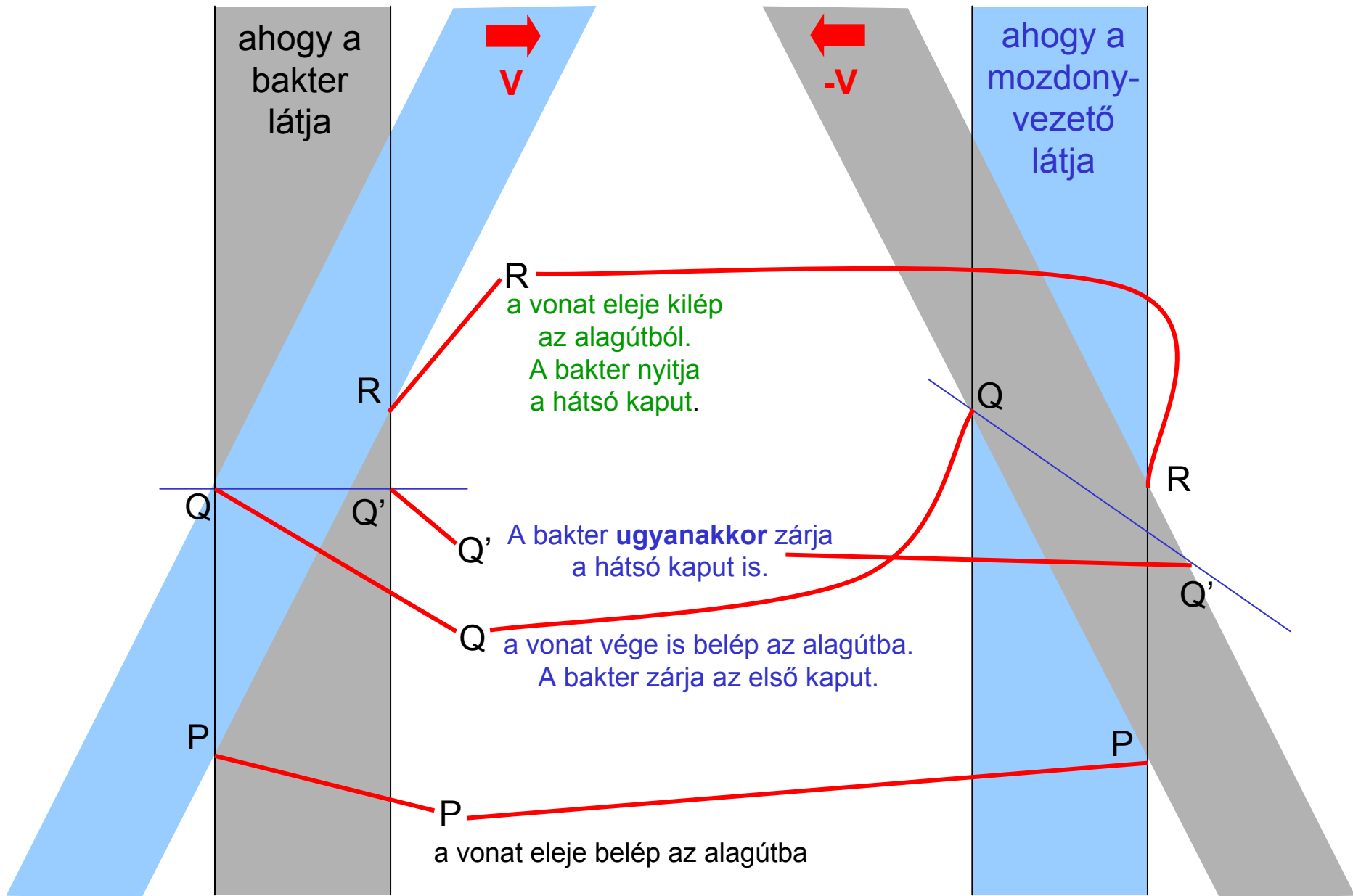


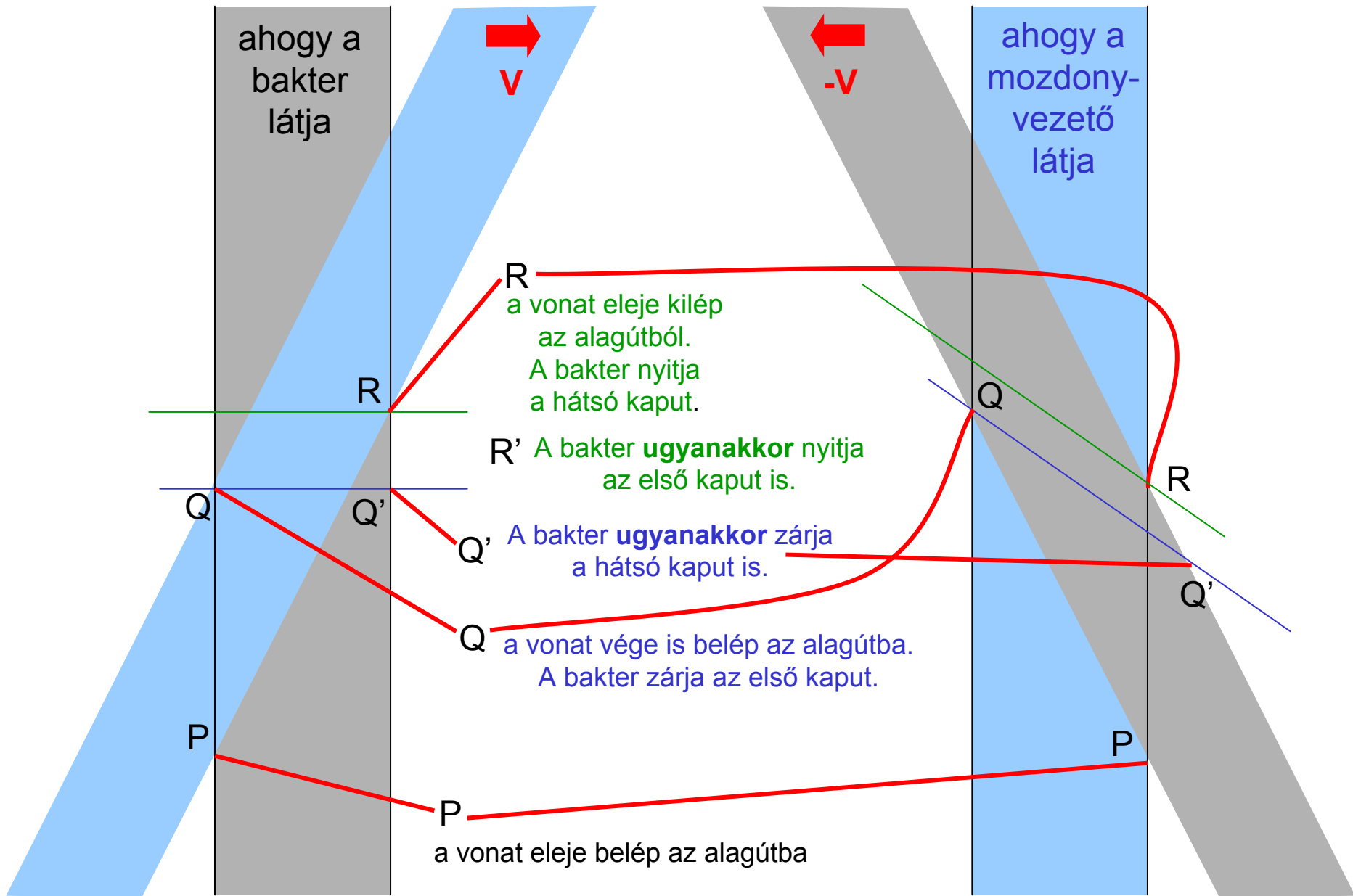


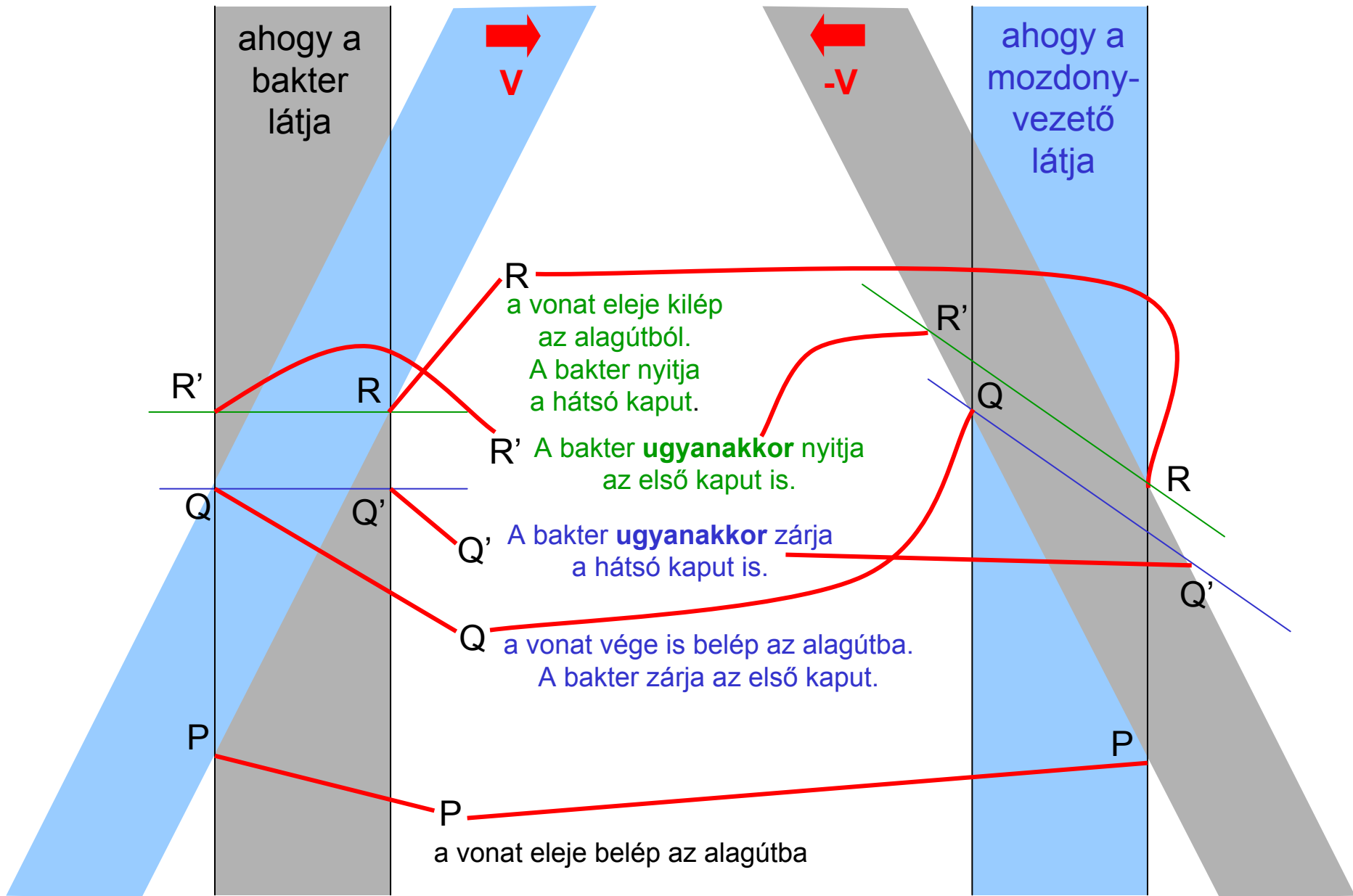


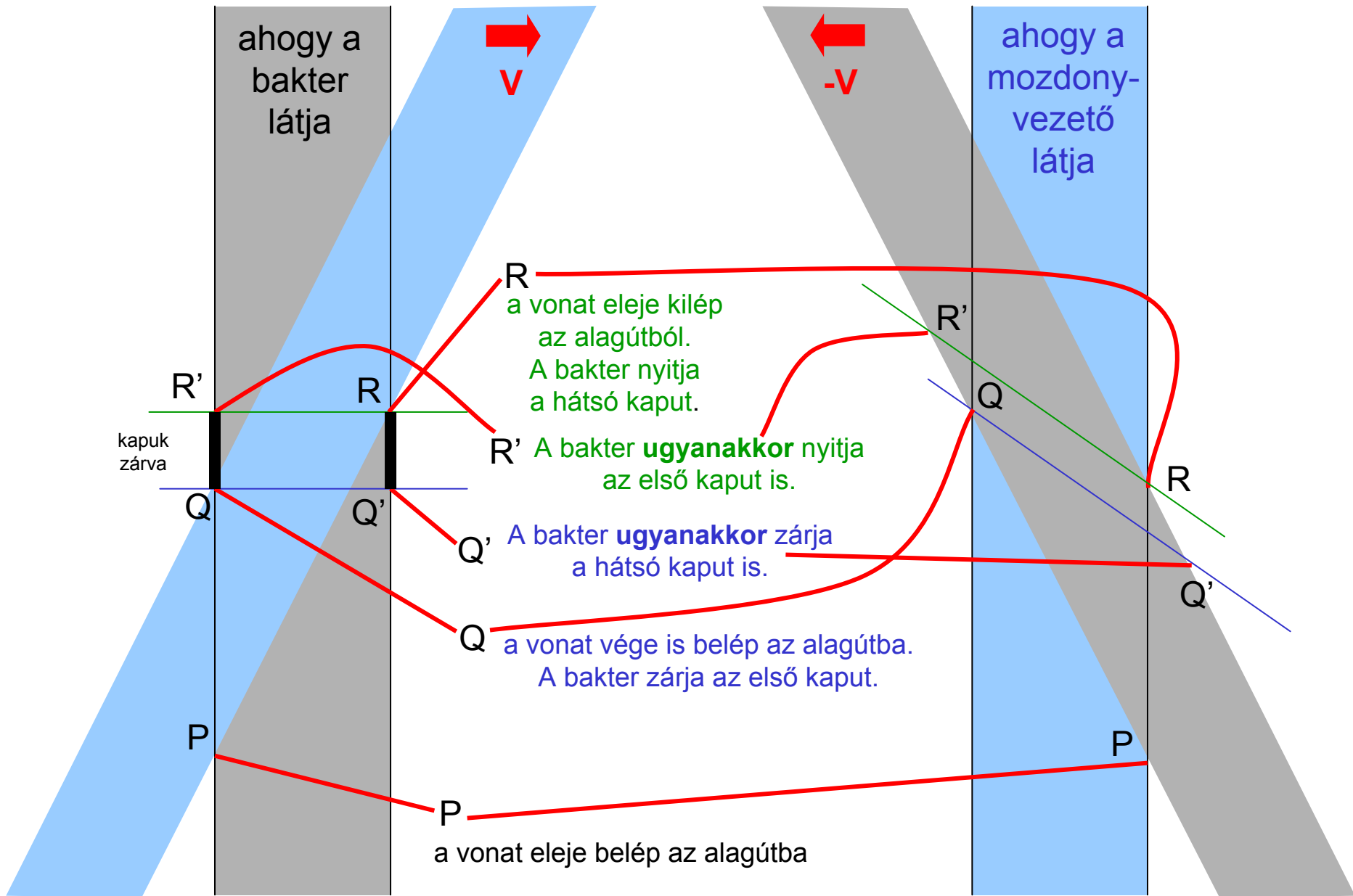


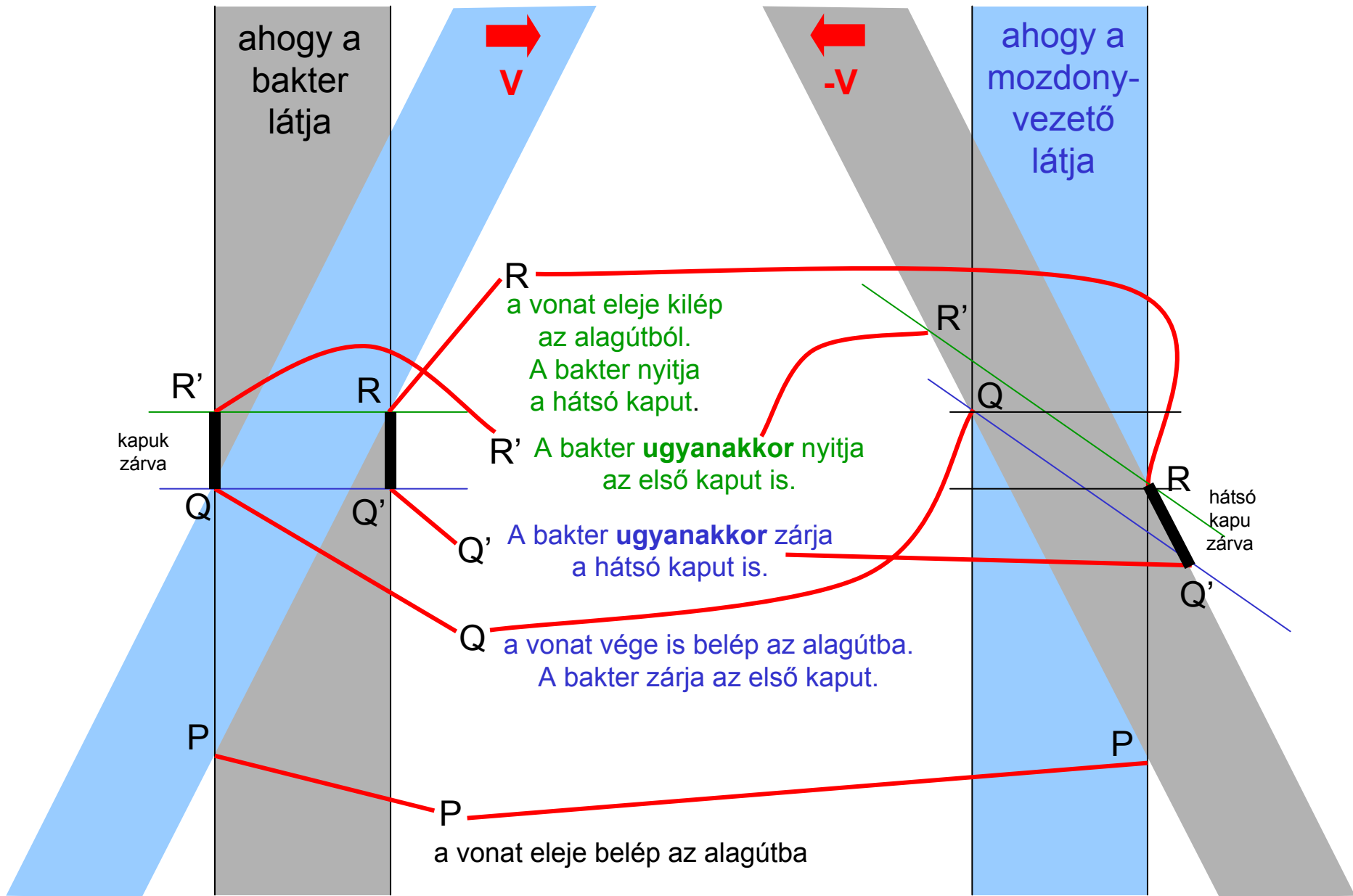




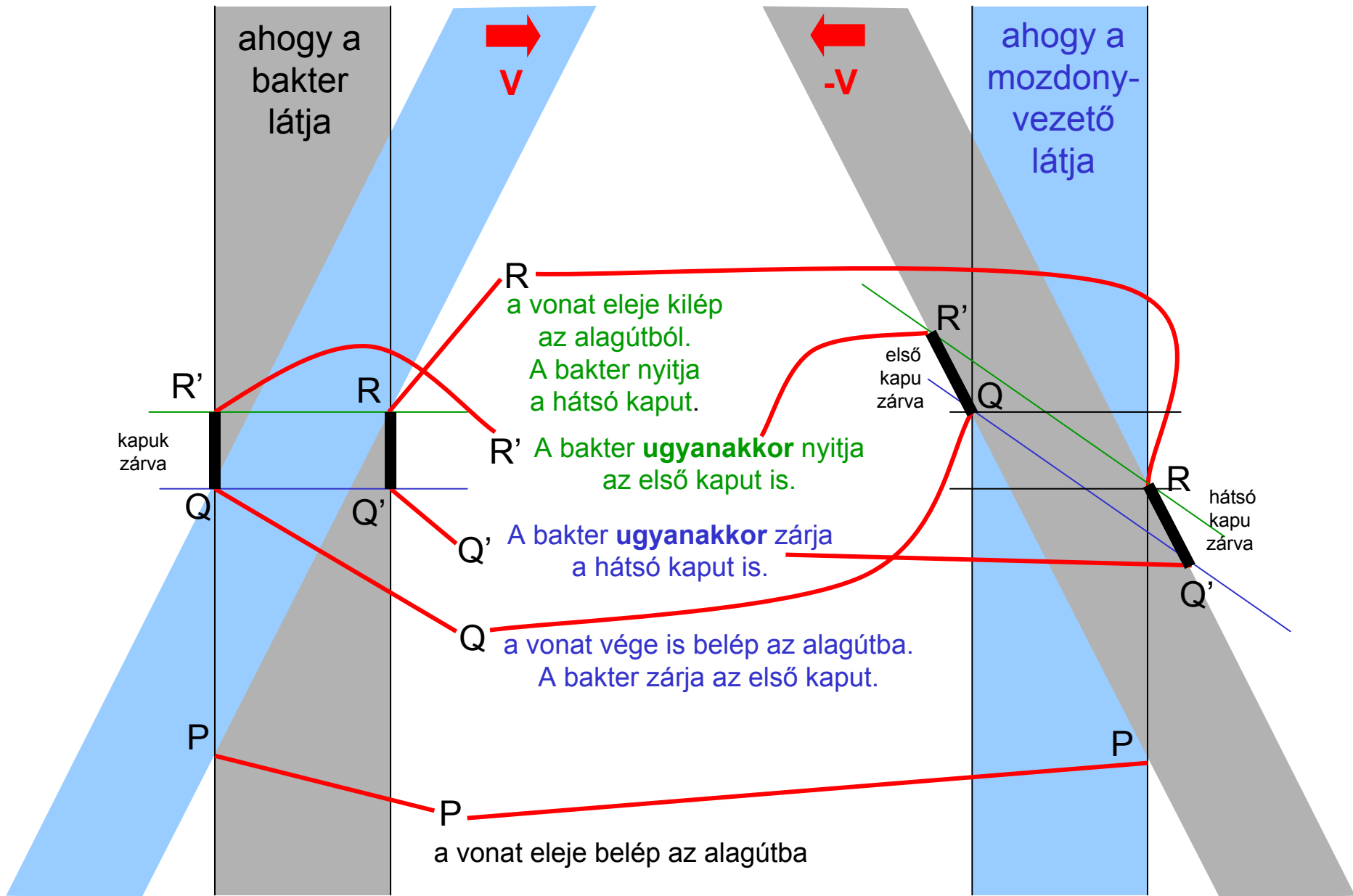


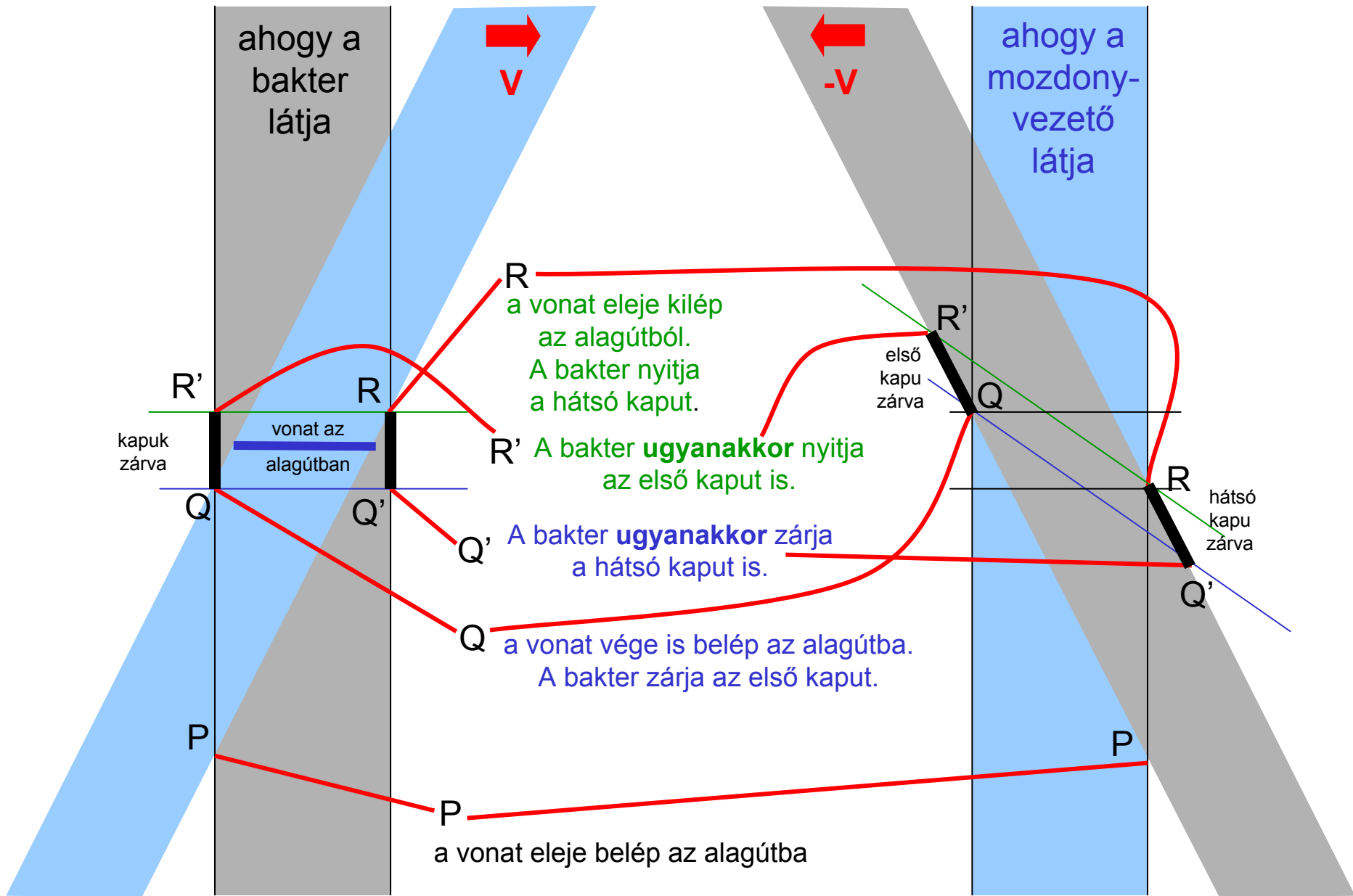


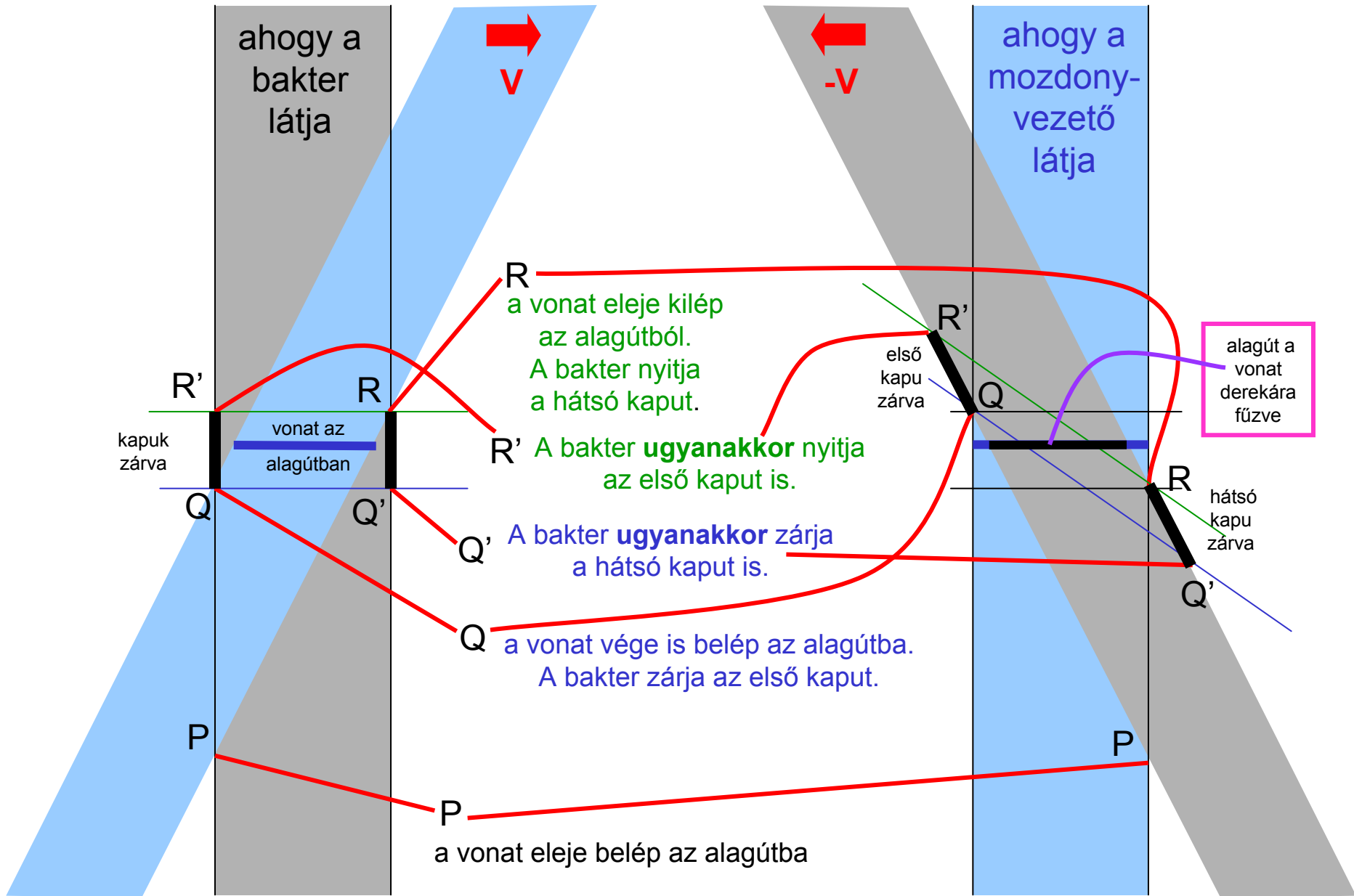


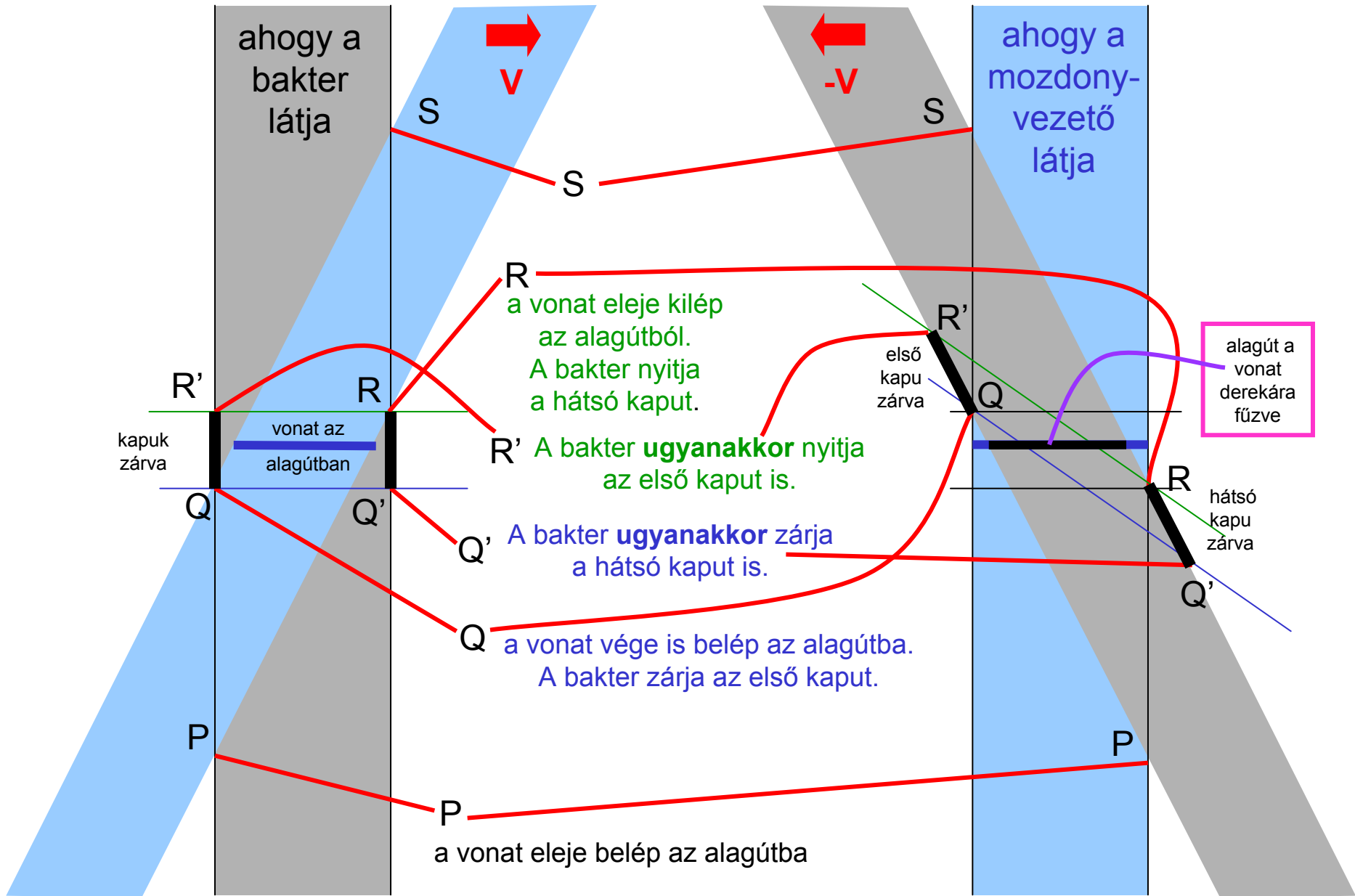


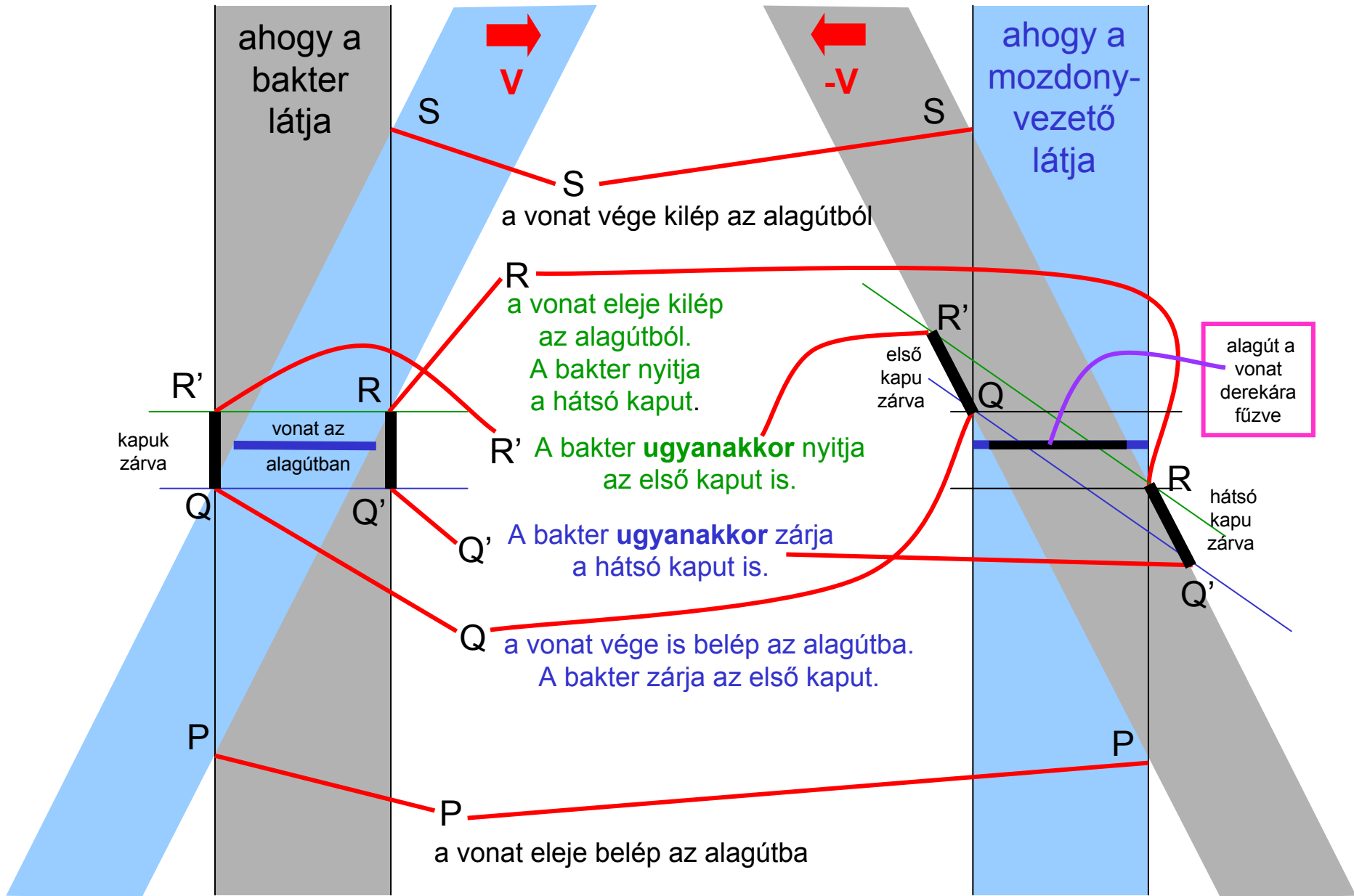


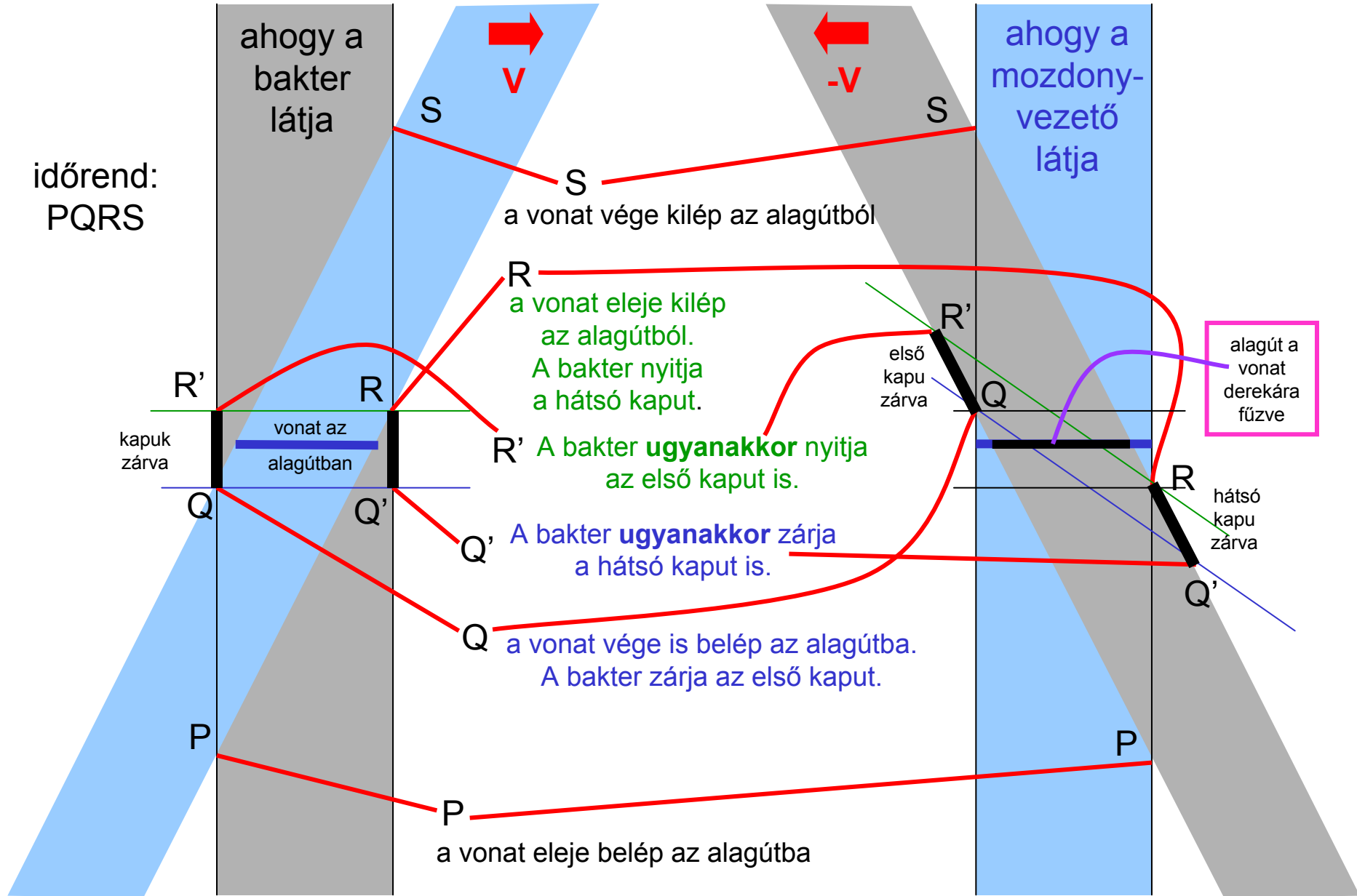


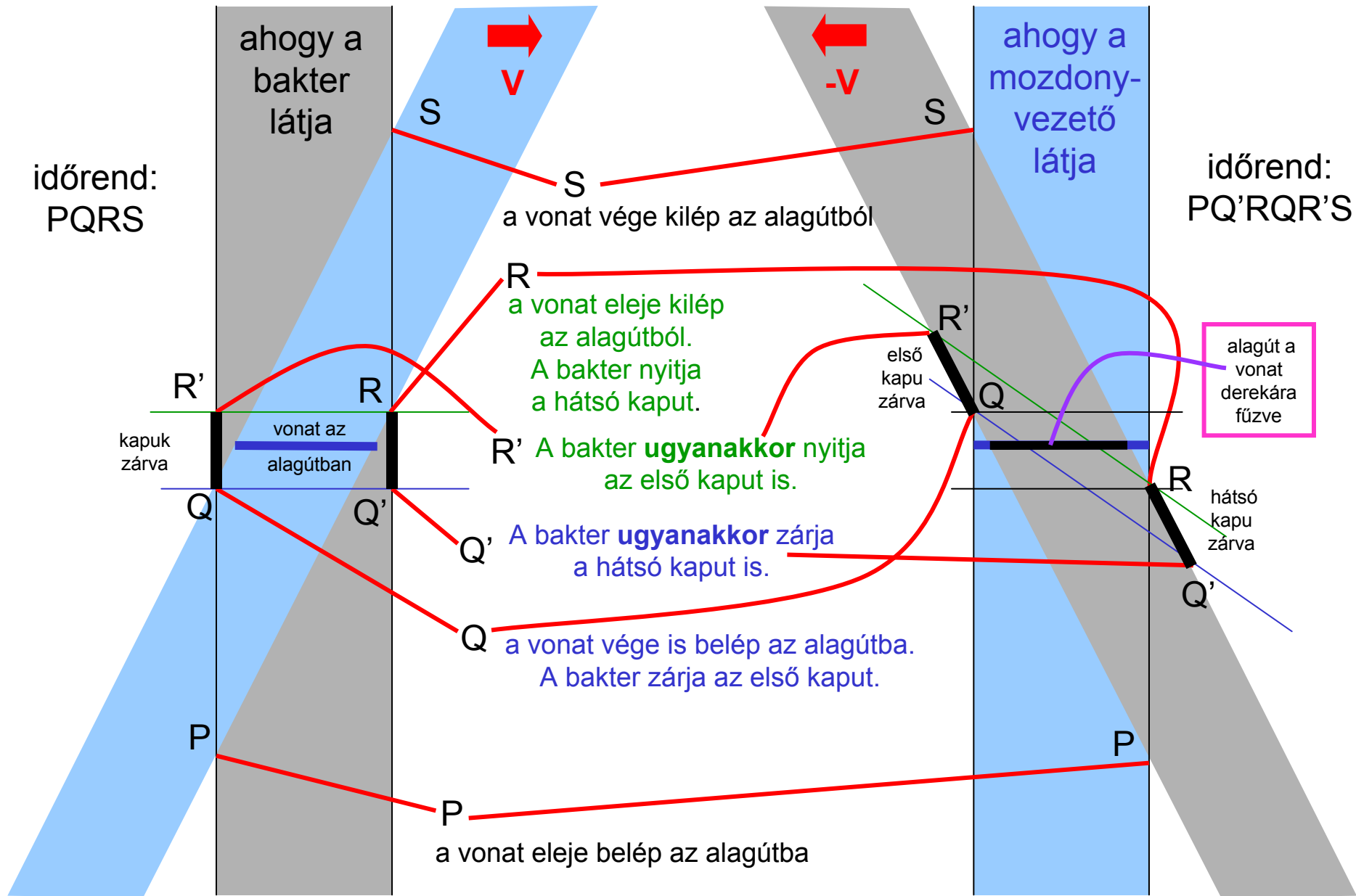










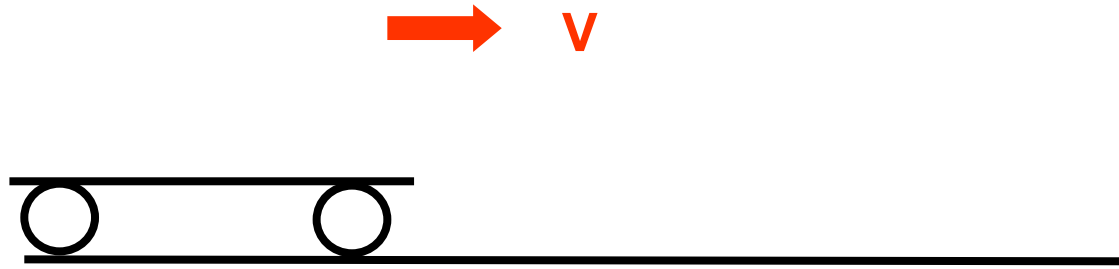


# Einstein és a bomba paradoxona

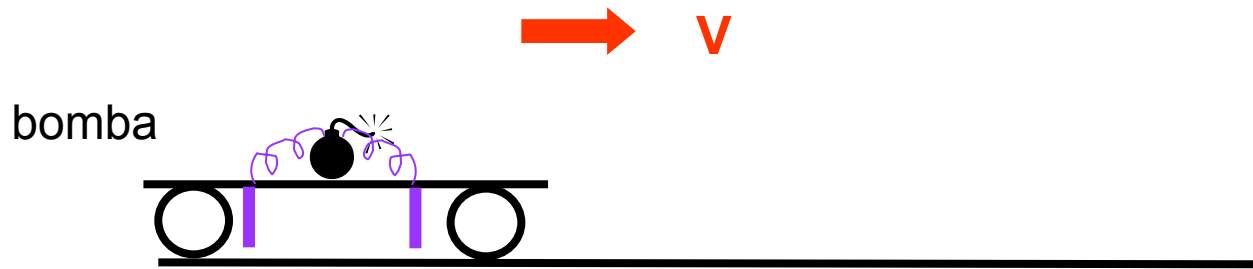




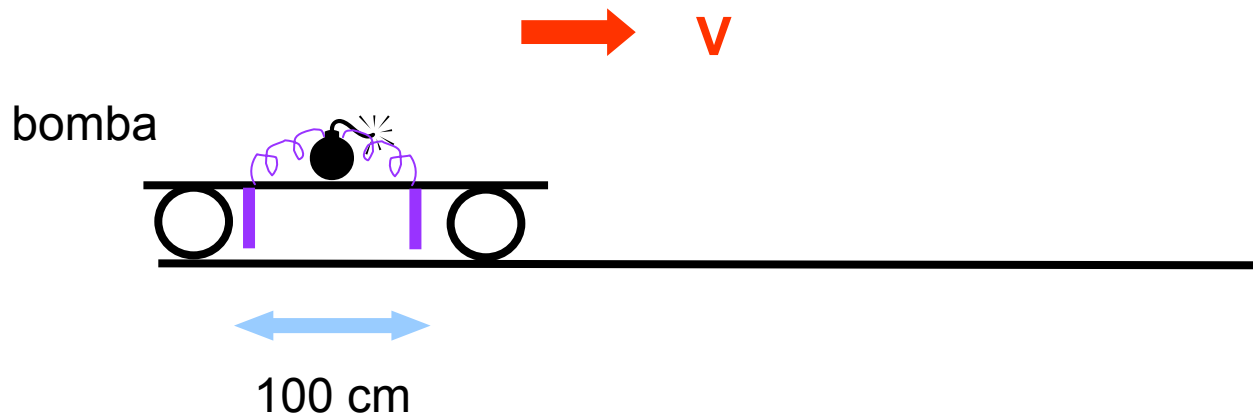
# Einstein és a bomba paradoxona



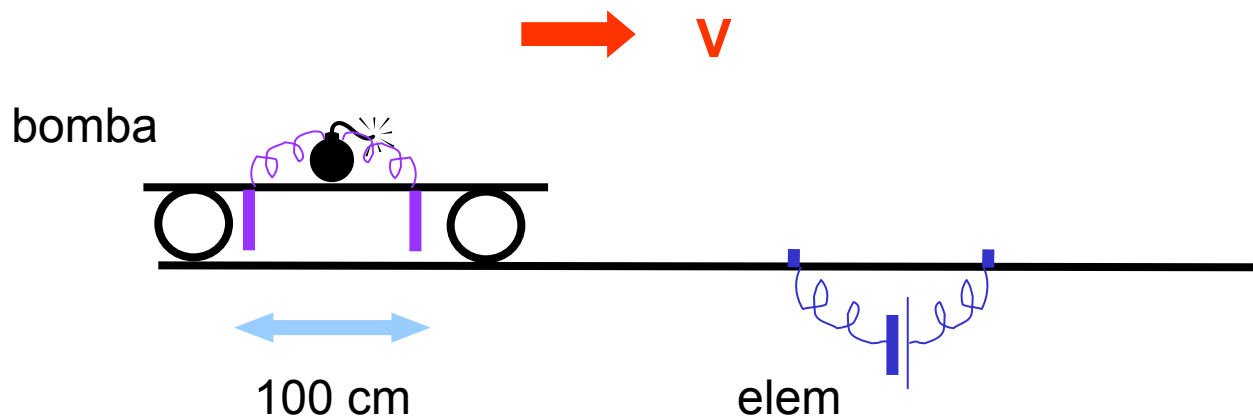
# Einstein és a bomba paradoxona



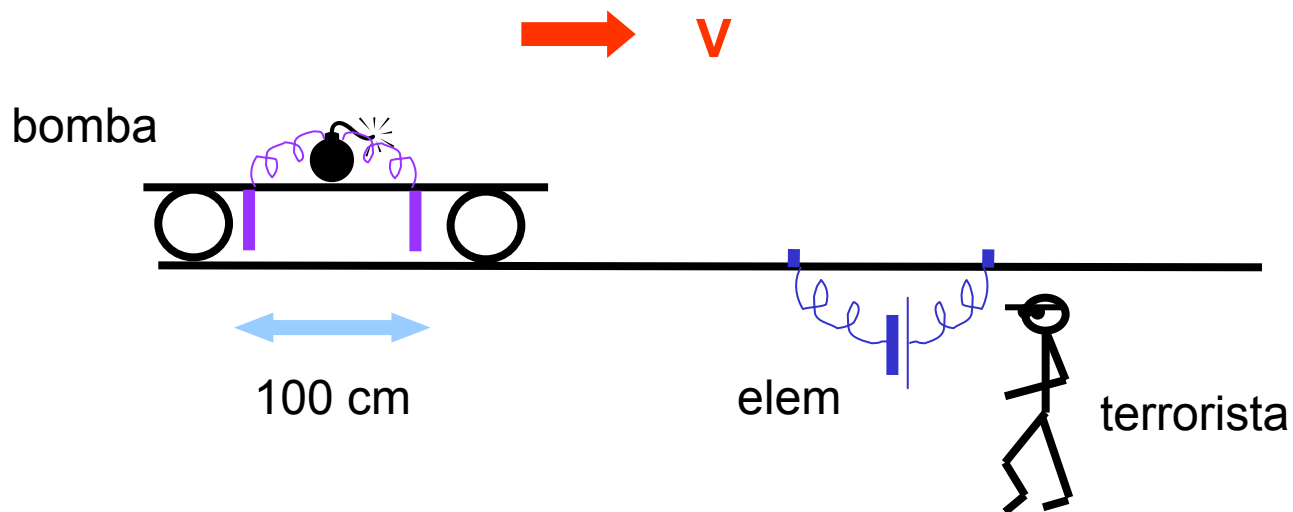
# Einstein és a bomba paradoxona



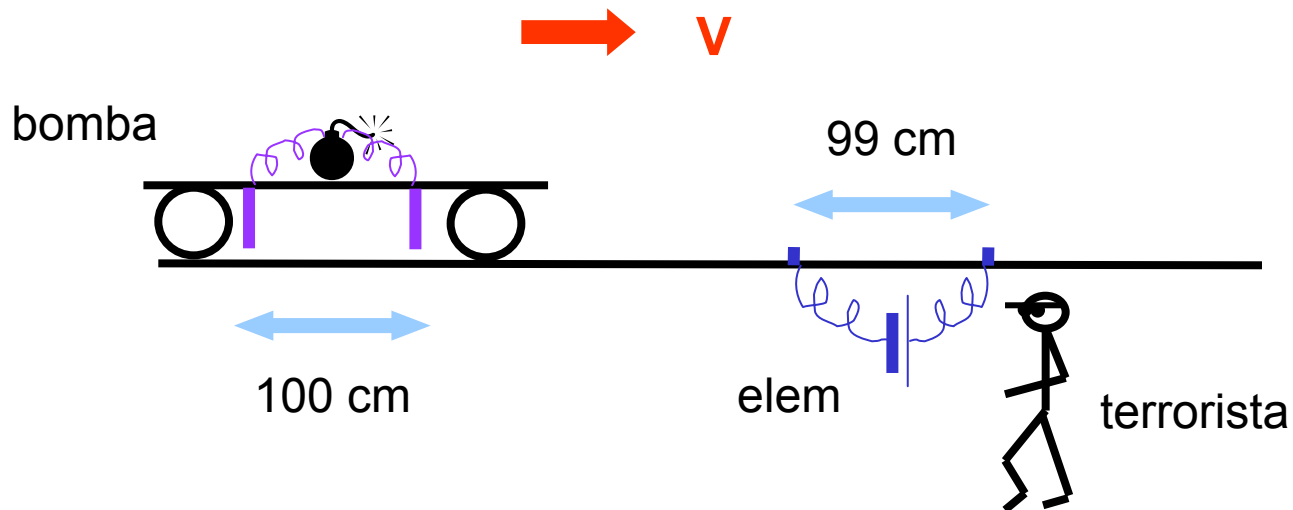
# Einstein és a bomba paradoxona



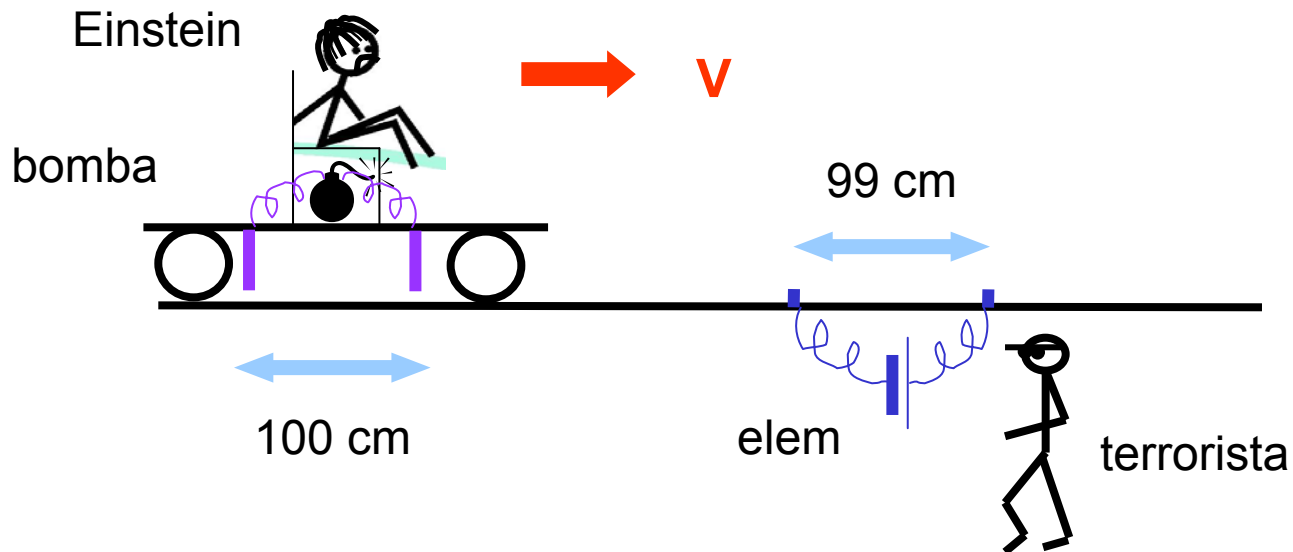
# Einstein és a bomba paradoxona



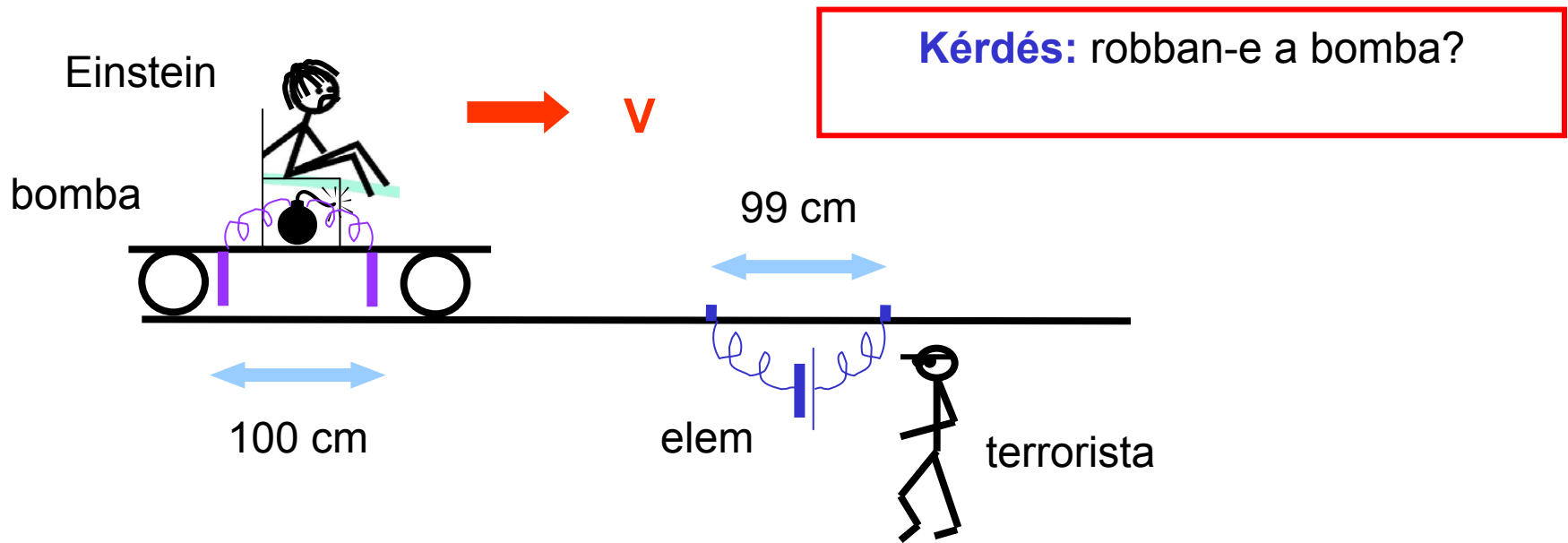
# Einstein és a bomba paradoxona



# Einstein és a bomba paradoxona

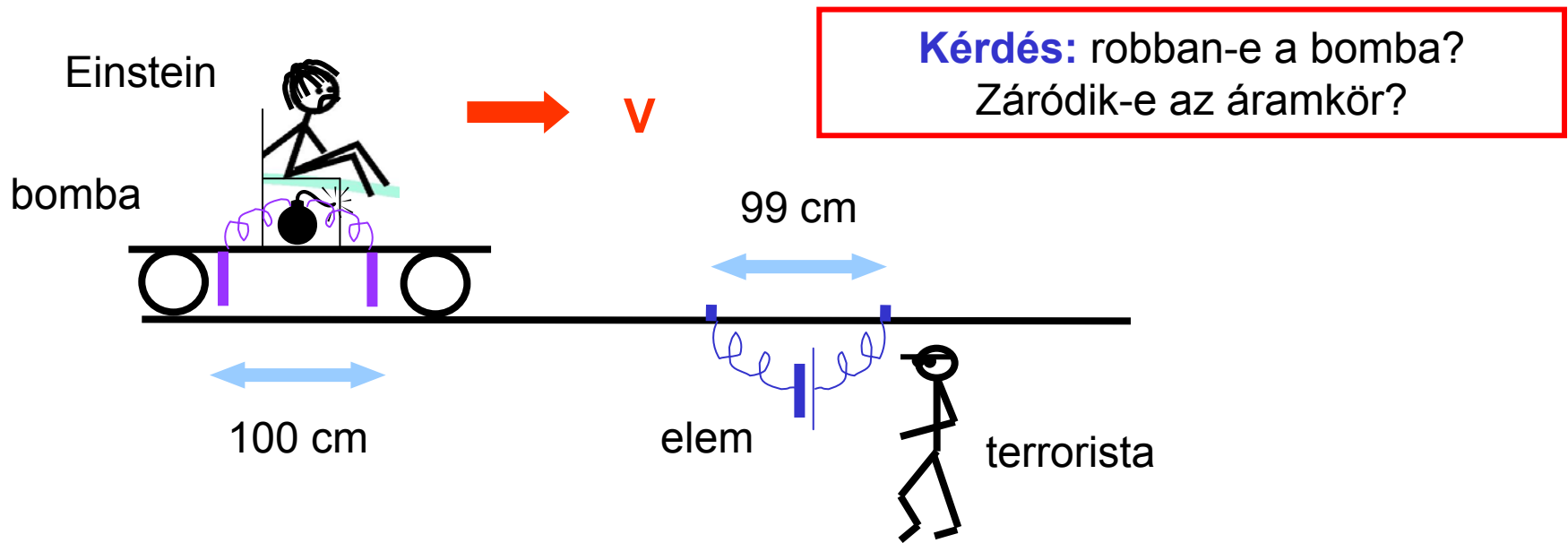


# Einstein és a bomba paradoxona

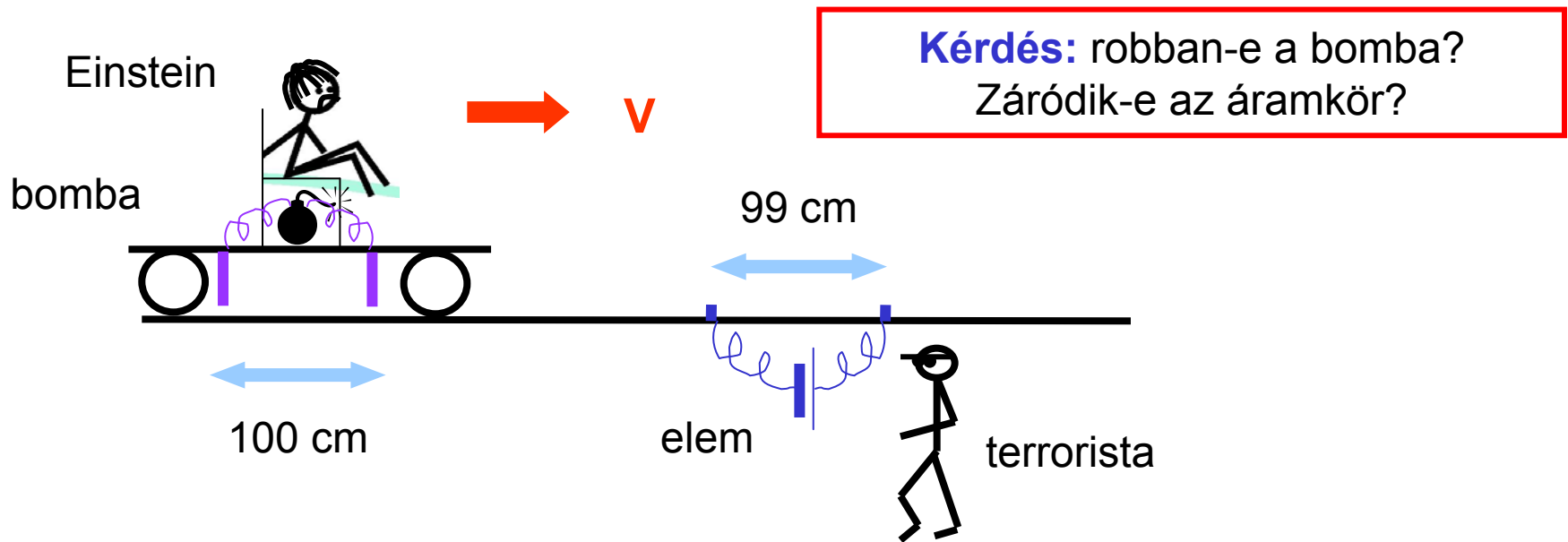




# Einstein és a bomba paradoxona

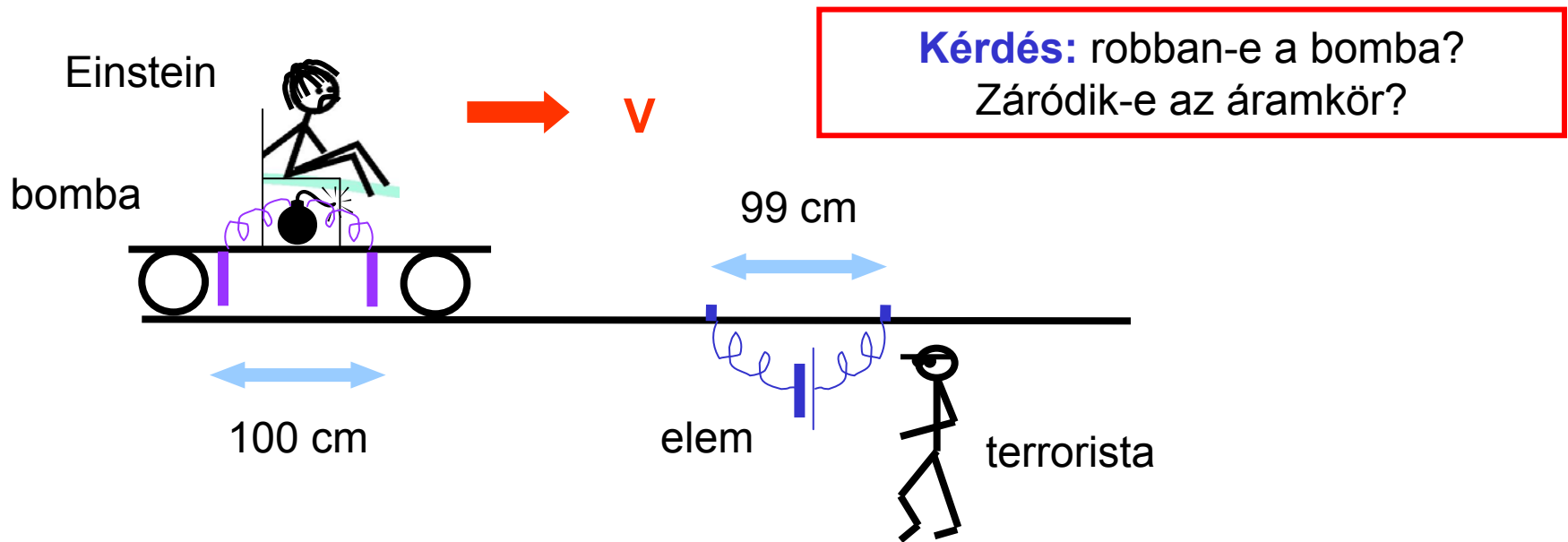


# Einstein és a bomba paradoxona



A terrorista szerint: a vonat megrövidül 1 cm-t, az áramkör záródik:  
**BUMM !!!**

# Einstein és a bomba paradoxona

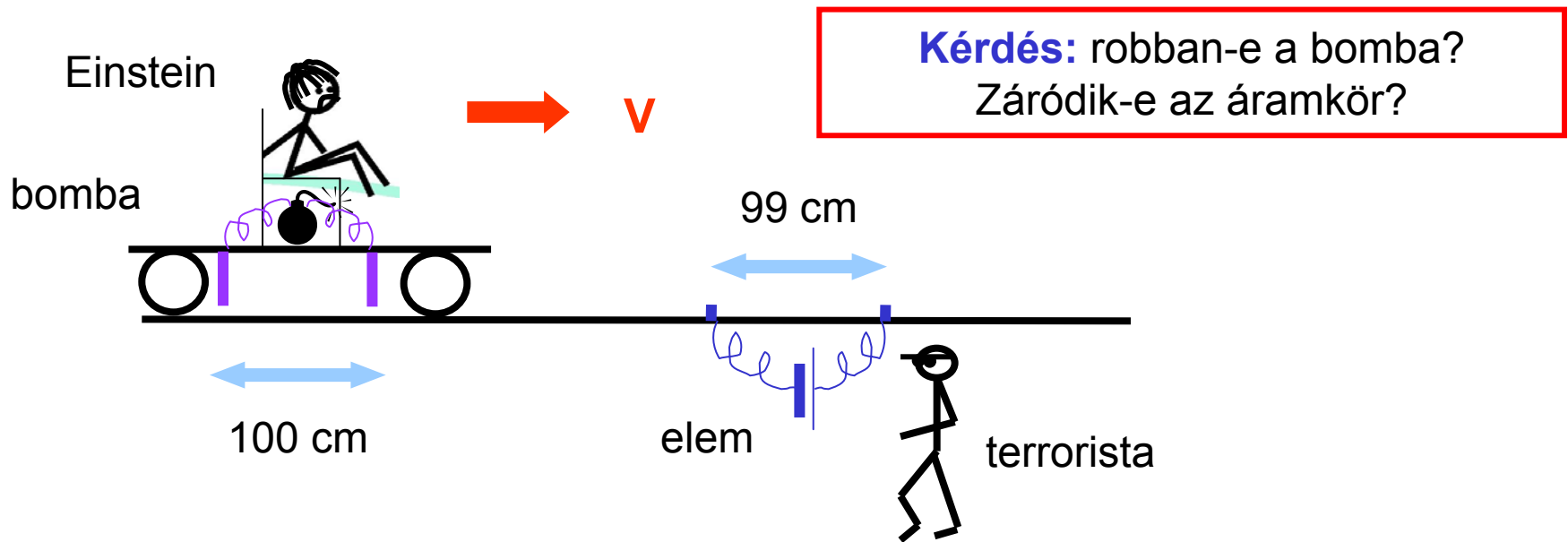


A terrorista szerint: a vonat megrövidül 1 cm-t, az áramkör záródik:  
**BUMM !!!**

Az utas szerint: a sín megrövidül 1 cm-t, az áramkör NEM záródik:  
**nincs BUMM !!!**



# Einstein és a bomba paradoxona

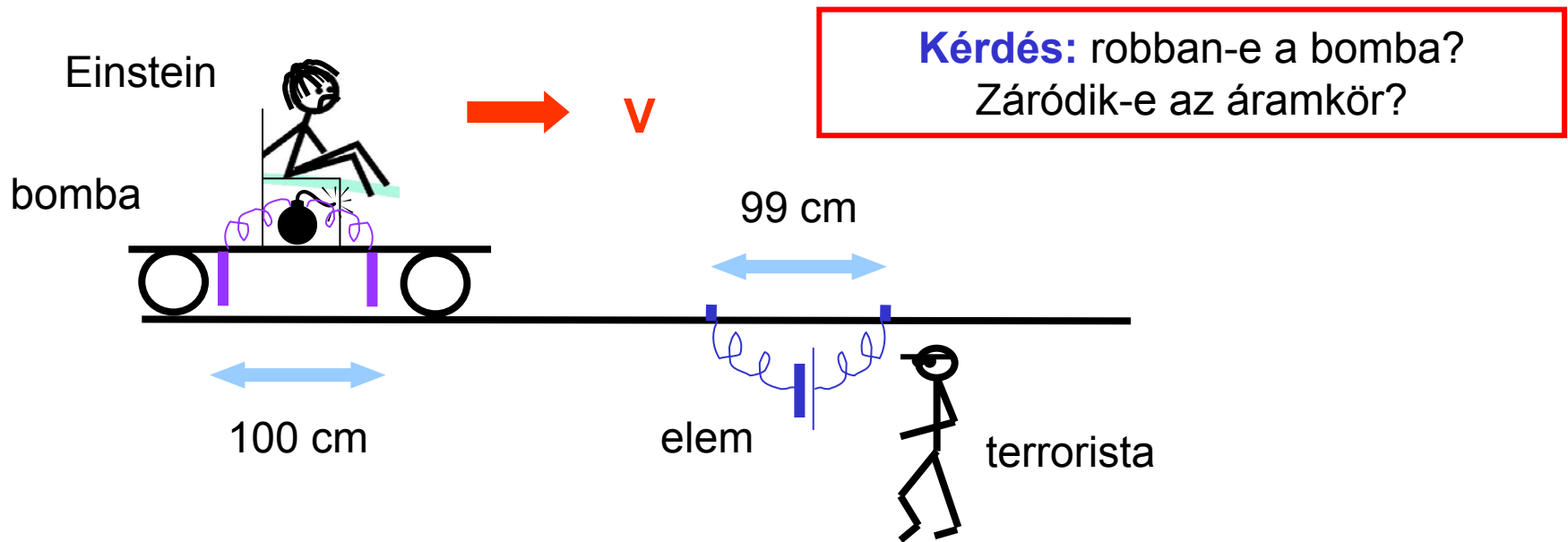


A terrorista szerint: a vonat megrövidül 1 cm-t, az áramkör záródik:  
**BUMM !!!**

Az utas szerint: a sín megrövidül 1 cm-t, az áramkör NEM záródik:  
**nincs BUMM !!!**

**Paradoxon:** a bomba robbanása egy helyen, egy időben lejátszódó esemény. Ez a relativitáselmélet szerint is objektív tény.

# Einstein és a bomba paradoxona



A terrorista szerint: a vonat megrövidül 1 cm-t, az áramkör záródik:  
**BUMM !!!**

Az utas szerint: a sín megrövidül 1 cm-t, az áramkör NEM záródik:  
**nincs BUMM !!!**

**Paradoxon:** a bomba robbanása egy helyen, egy időben lejátszódó esemény. Ez a relativitáselmélet szerint is objektív tény. Mégis másképp látja a két megfigyelő...

**Megoldás:** a két érintkezőpár érintkezése két TÁVOLI esemény,  
az egyidejűségük nem abszolút, rendszerfüggő!



**Megoldás:** a két érintkezőpár érintkezése két TÁVOLI esemény,  
az egyidejűségük nem abszolút, rendszerfüggő!

Az áramkör kiterjedt objektum.



**Megoldás:** a két érintkezőpár érintkezése két TÁVOLI esemény,  
az egyidejűségük nem abszolút, rendszerfüggő!

Az áramkör kiterjedt objektum.

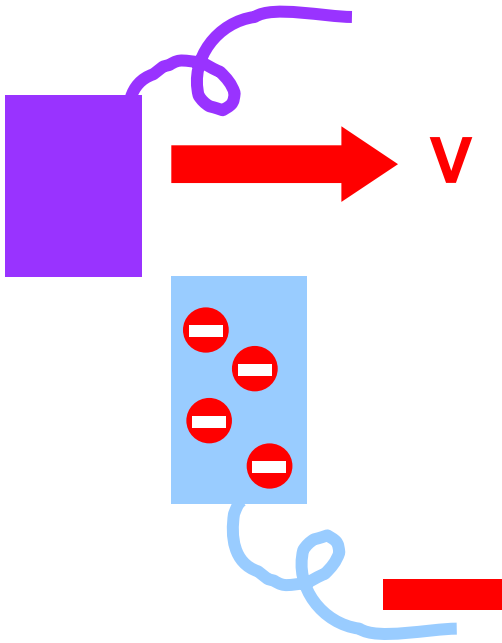
**NEM LÉTEZIK** olyasmi, mint az  
áramkörben adott  $t$  pillanatban folyó  
 $I(t)$  áram!





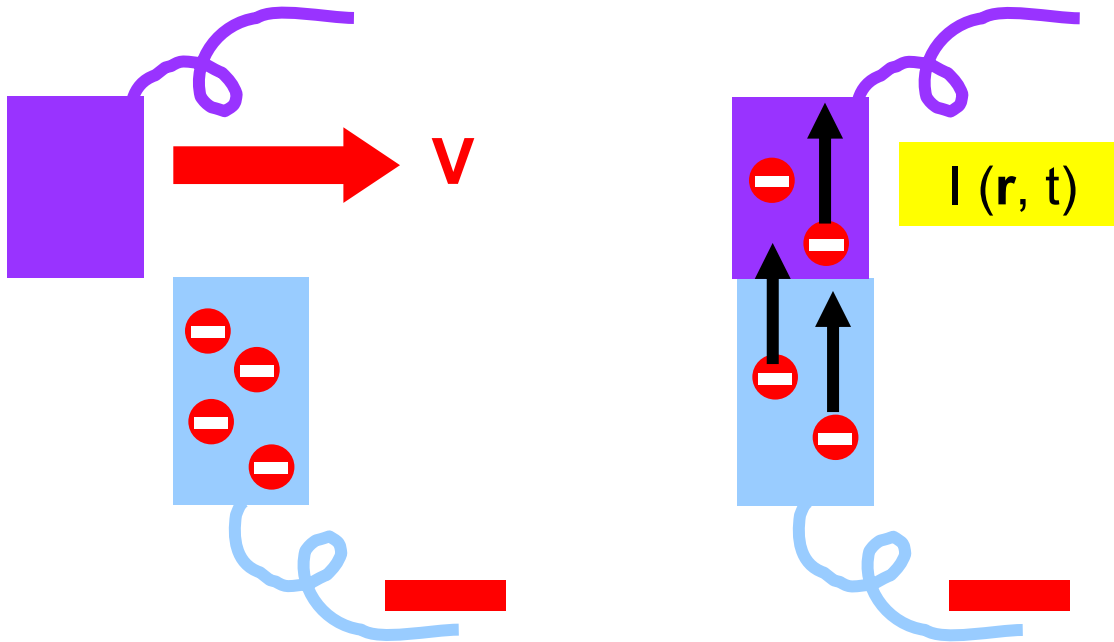
Megoldás: a két érintkezőpár érintkezése két TÁVOLI esemény,  
az egyidejűségük nem abszolút, rendszerfüggő!

Az áramkör kiterjedt objektum.  
**NEM LÉTEZIK** olyasmi, mint az  
áramkörben adott  $t$  pillanatban folyó  
 $I(t)$  áram!



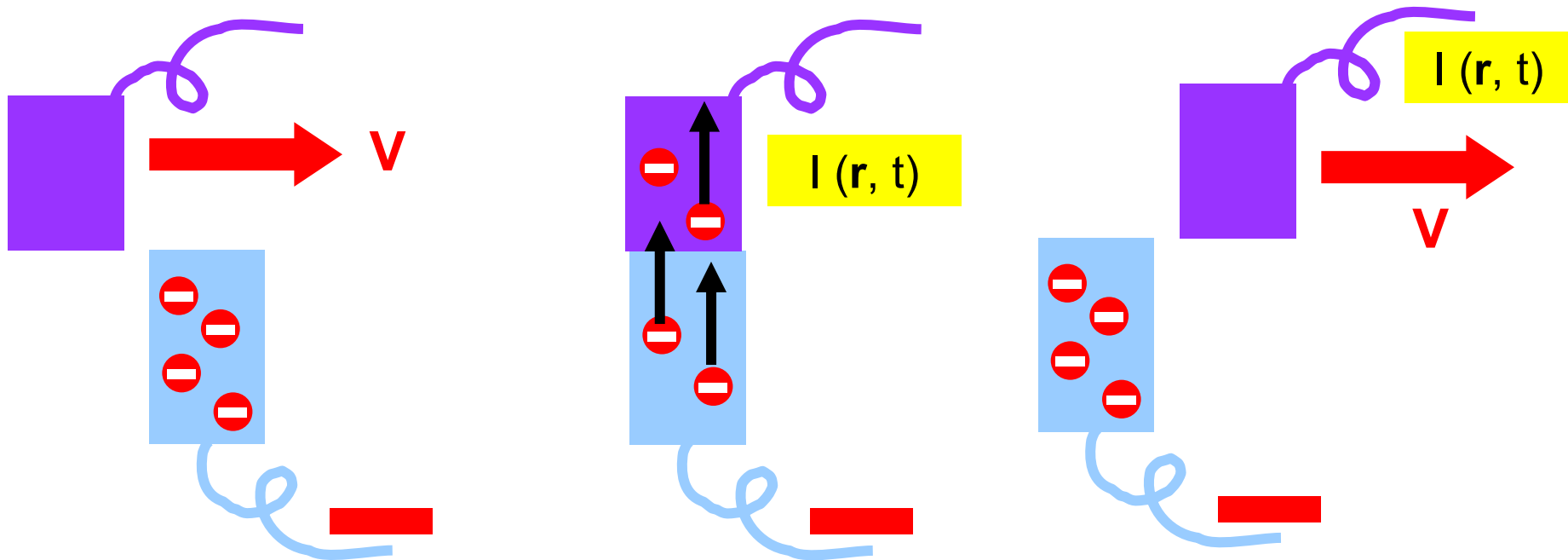
Megoldás: a két érintkezőpár érintkezése két TÁVOLI esemény,  
az egyidejűségük nem abszolút, rendszerfüggő!

Az áramkör kiterjedt objektum.  
**NEM LÉTEZIK** olyasmi, mint az  
áramkörben adott  $t$  pillanatban folyó  
 $I(t)$  áram!



Megoldás: a két érintkezőpár érintkezése két TÁVOLI esemény,  
az egyidejűségük nem abszolút, rendszerfüggő!

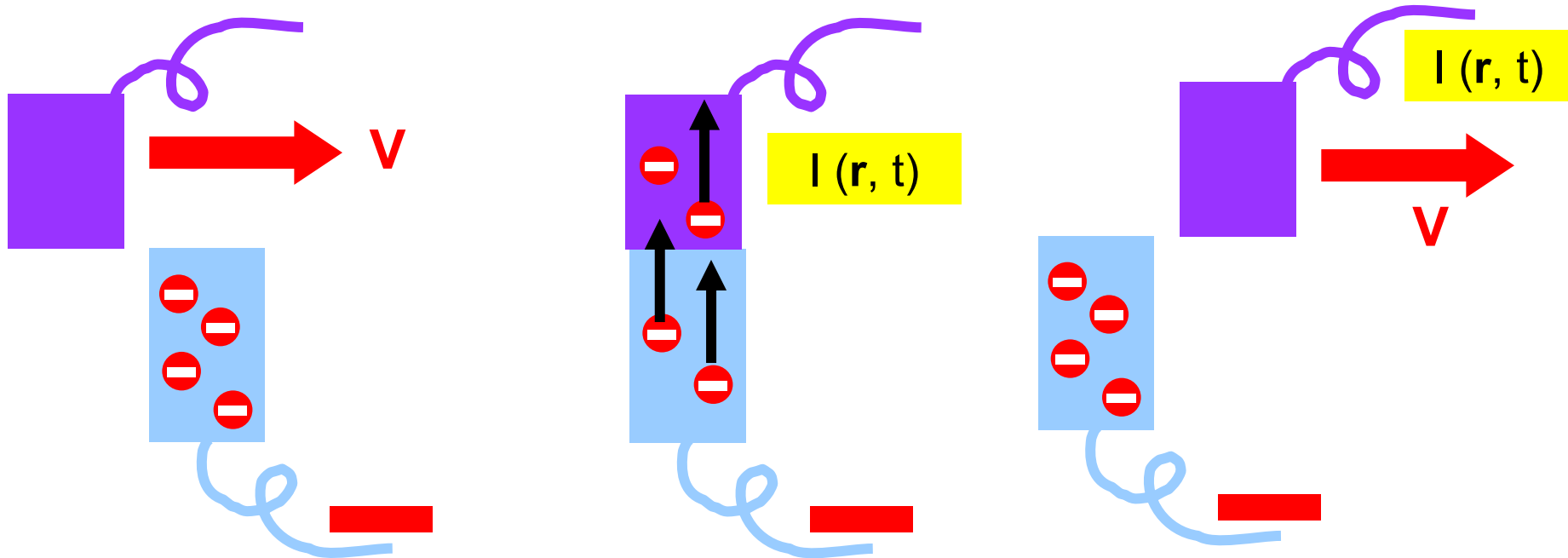
Az áramkör kiterjedt objektum.  
**NEM LÉTEZIK** olyasmi, mint az  
áramkörben adott  $t$  pillanatban folyó  
 $I(t)$  áram!

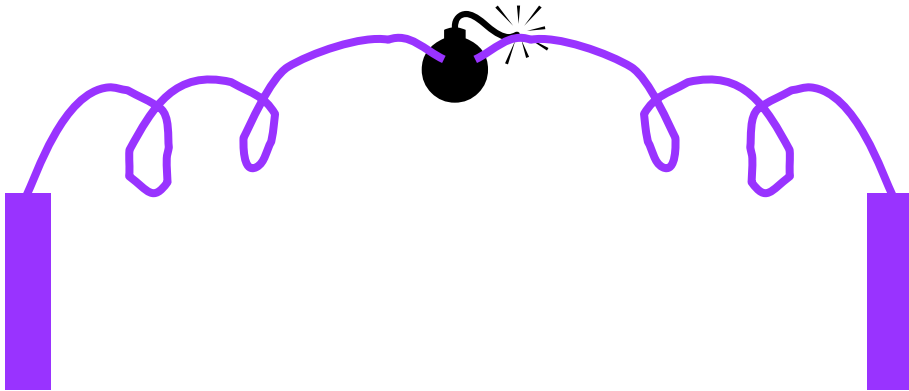


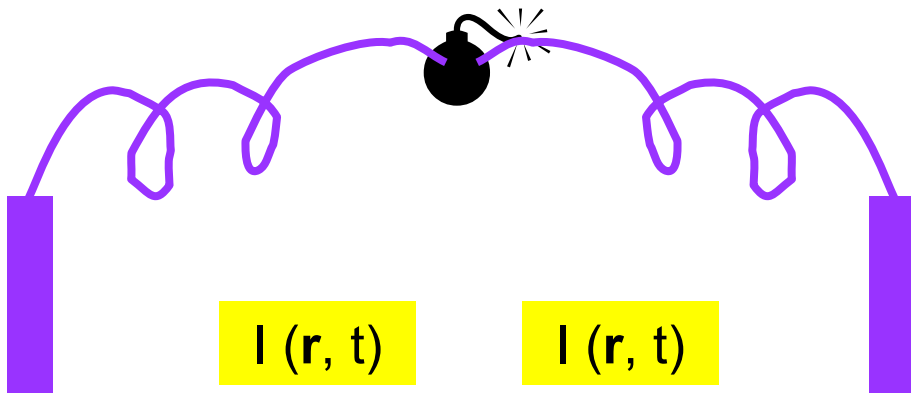
Megoldás: a két érintkezőpár érintkezése két TÁVOLI esemény,  
az egyidejűségük nem abszolút, rendszerfüggő!

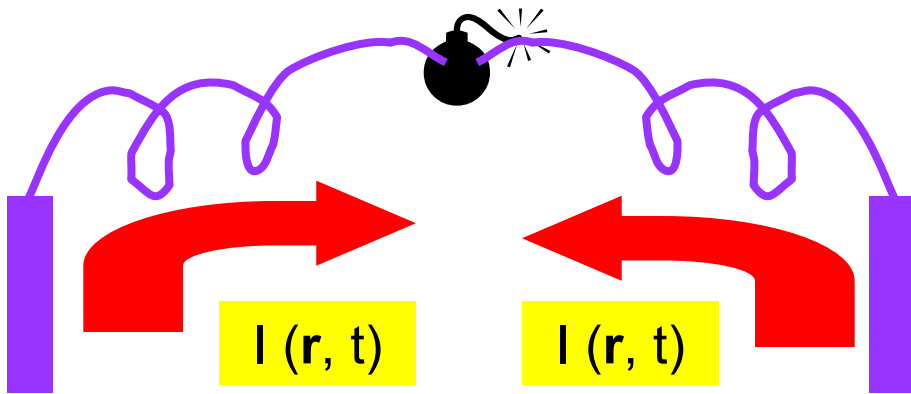
Az áramkör kiterjedt objektum.  
**NEM LÉTEZIK** olyasmi, mint az  
áramkörben adott  $t$  pillanatban folyó  
 $I(t)$  áram!

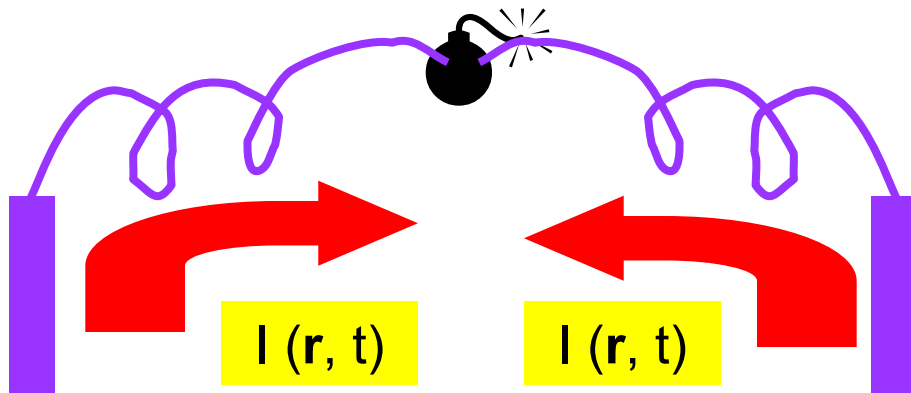
Nem az egész áramkörben indul  
meg az áram, hanem az  
érintkezőknél egy **áramlökés**  
keletkezik.





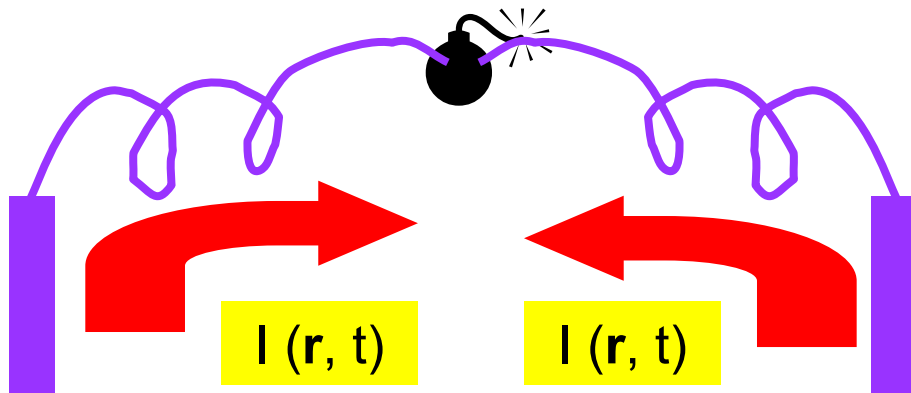






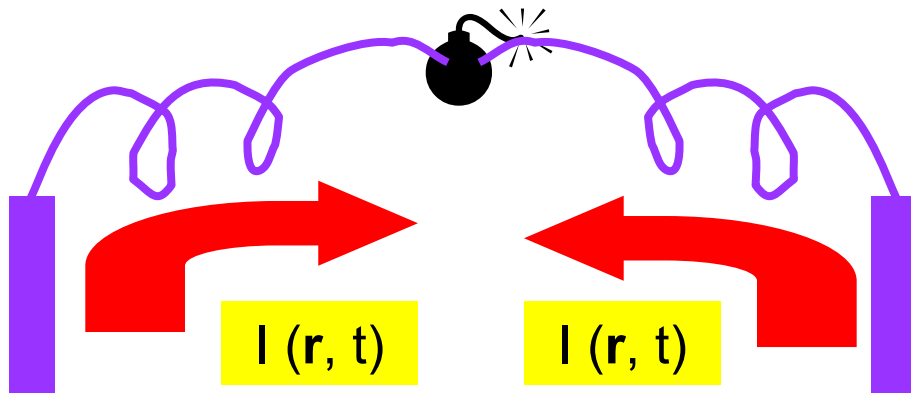
A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és ereőségén múlik.





A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és ereőségén múlik.

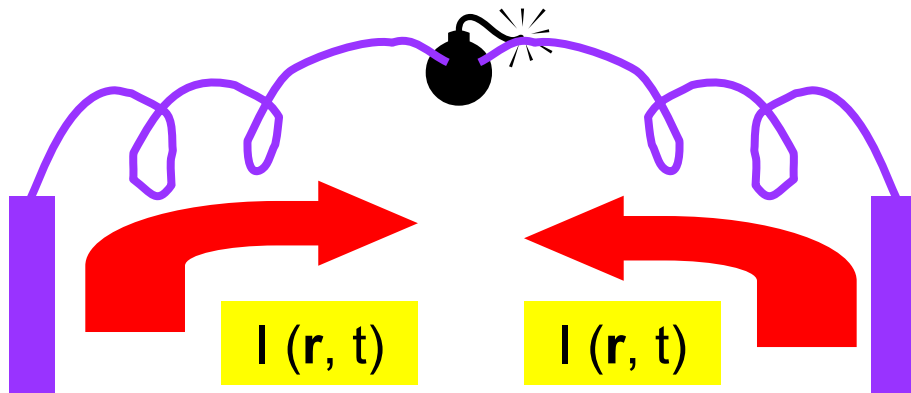
Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.



A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Az számít, hogy egyszerre érjen célba.



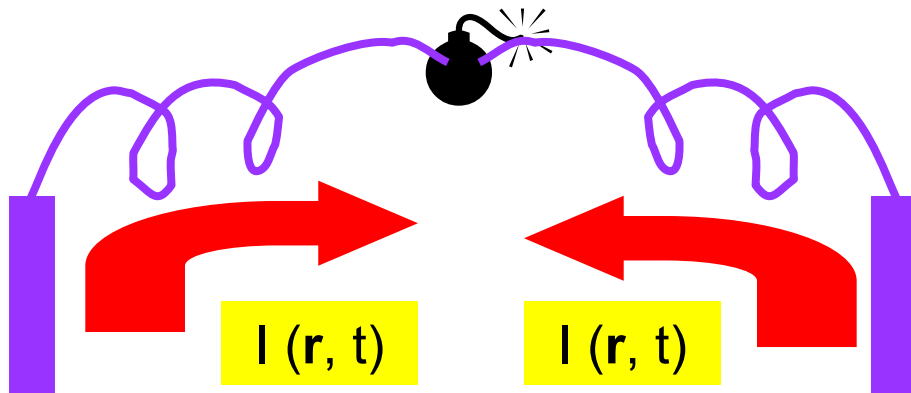
A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

Az számít, hogy egyszerre érjen célba.





A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és ereőségén múlik.

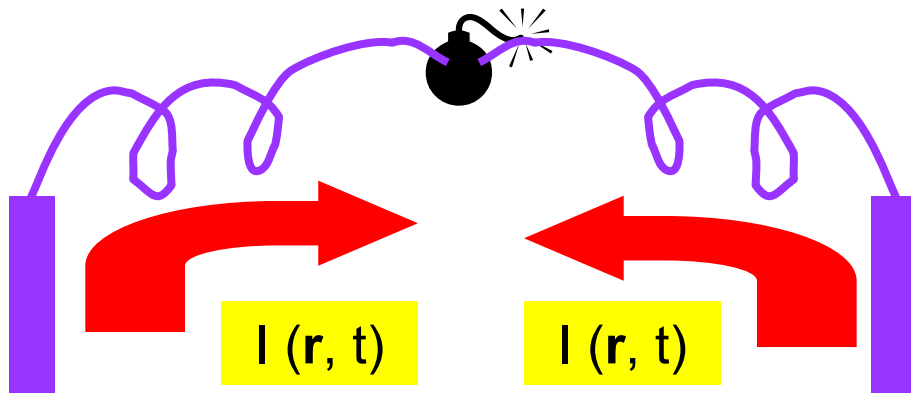
Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökés.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

Ezt már egyformán látják!





A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

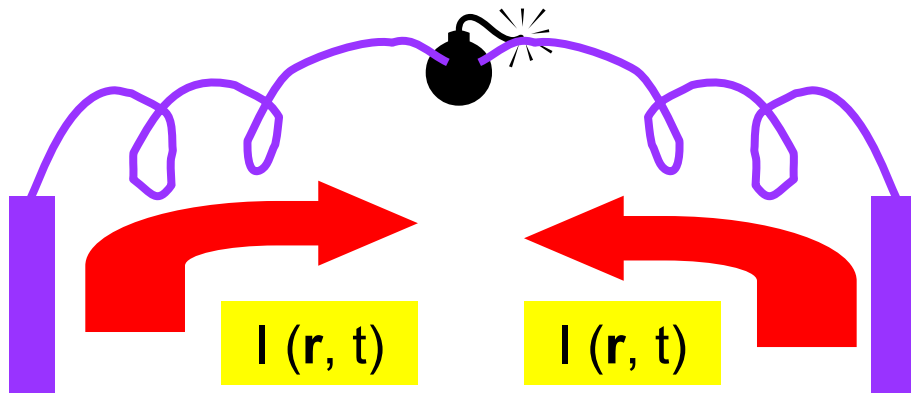
Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

Ezt már egyformán látják!

Kérdés: miért beszélhetünk egyáltalán „**az áramkörben folyó áramról**” a térbeli részletek nélkül?



A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

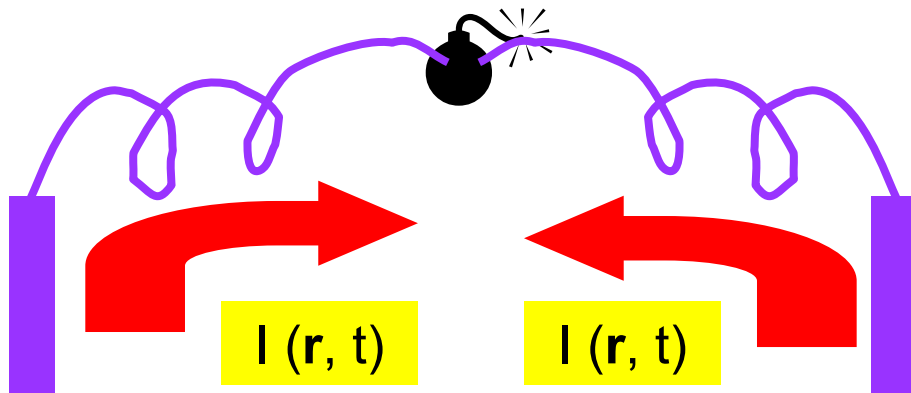
Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

Ezt már egyformán látják!

Kérdés: miért beszélhetünk egyáltalán „**az áramkörben folyó áramról**” a térbeli részletek nélkül?

Mert a gyakorlatban előforduló áramkörök **kicsik**





A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

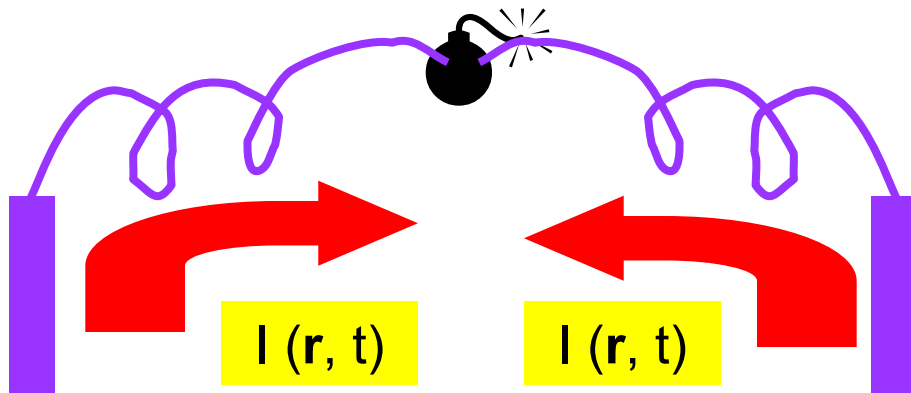
Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

Ezt már egyformán látják!

Kérdés: miért beszélhetünk egyáltalán „**az áramkörben folyó áramról**” a térbeli részletek nélkül?

Mert a gyakorlatban előforduló áramkörök **kicsik** a megfelelő frekvenciájú sugárzás hullámhosszához képest.





A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

Ezt már egyformán látják!

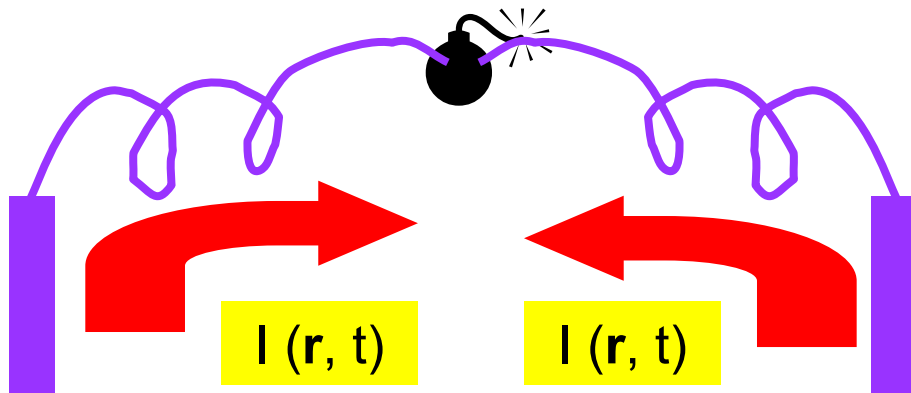
Kérdés: miért beszélhetünk egyáltalán „**az áramkörben folyó áramról**” a térbeli részletek nélkül?

$$L \ll \lambda = c / \nu$$

Mert a gyakorlatban előforduló áramkörök **kicsik** a megfelelő frekvenciájú sugárzás hullámhosszához képest.







A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

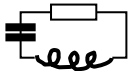
Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

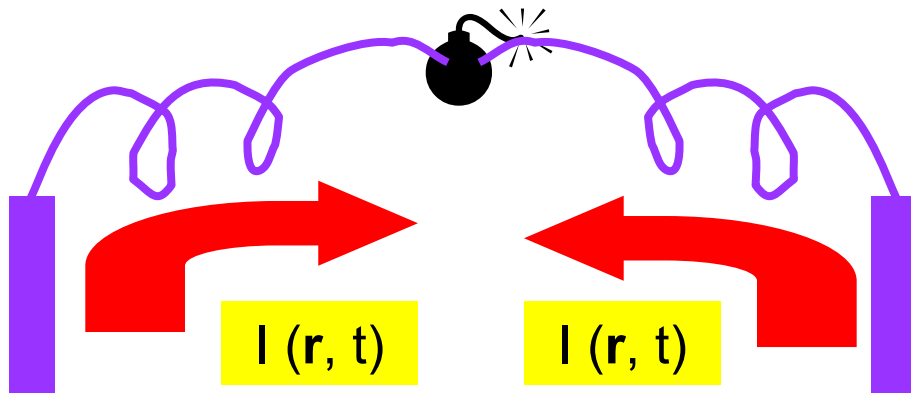
Ezt már egyformán látják!

Kérdés: miért beszélhetünk egyáltalán „**az áramkörben folyó áramról**” a térbeli részletek nélkül?

$$L \ll \lambda = c / \nu$$

Mert a gyakorlatban előforduló áramkörök **kicsik** a megfelelő frekvenciájú sugárzás hullámhosszához képest.





A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és erősségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

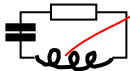
Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

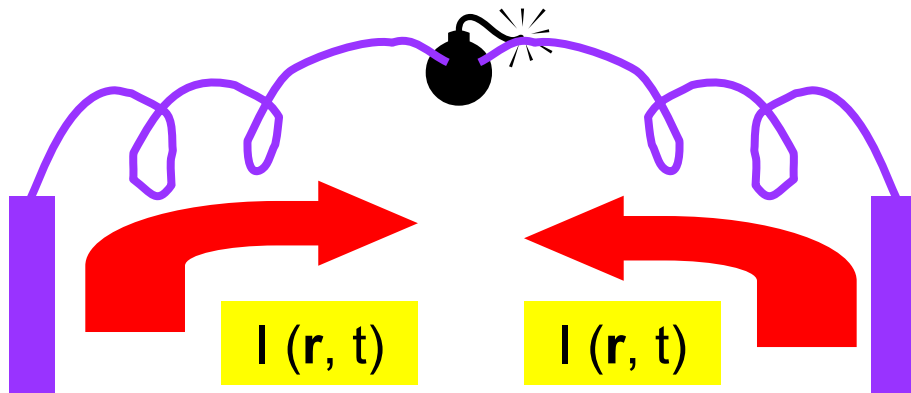
Ezt már egyformán látják!

Kérdés: miért beszélhetünk egyáltalán „**az áramkörben folyó áramról**” a térbeli részletek nélkül?

$$L \ll \lambda = c / v$$

Mert a gyakorlatban előforduló áramkörök **kicsik** a megfelelő frekvenciájú sugárzás hullámhosszához képest.





A bomba robbanása valóban objektív esemény, de az áramkör részletein, az áramlökések terjedésén és ereőségén múlik.

Viszont **lényegtelen** az, hogy a két érintkezőben egyszerre indult-e az áramlökések.

Ezt másképp látja a két megfigyelő.

Az számít, hogy egyszerre érjen célba.

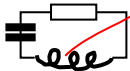
Ezt már egyformán látják!

Kérdés: miért beszélhetünk egyáltalán „**az áramkörben folyó áramról**” a térbeli részletek nélkül?

$$L \ll \lambda = c / v$$

Mert a gyakorlatban előforduló áramkörök **kicsik** a megfelelő frekvenciájú sugárzás hullámhosszához képest.

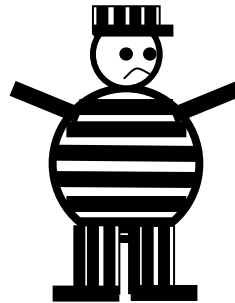
Nagyfrekvenciás áramkörökben ez már nem teljesül!



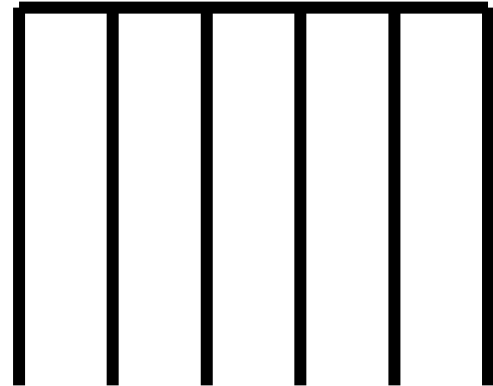
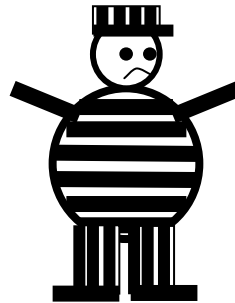
# A kövér rab paradoxona



# A kövér rab paradoxona

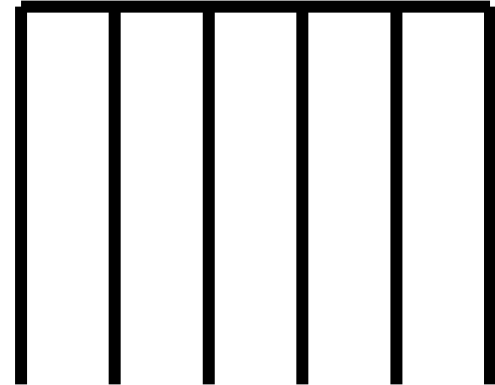
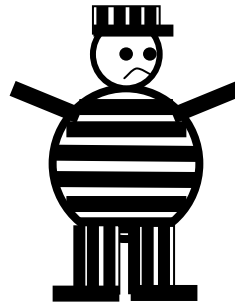


# A kövér rab paradoxona



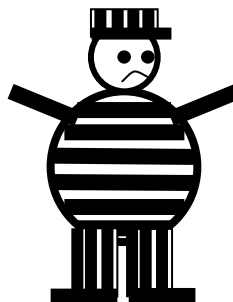
# A kövér rab paradoxona

javaslat: **fuss** a ráccsal  
párhuzamosan!



# A kövér rab paradoxona

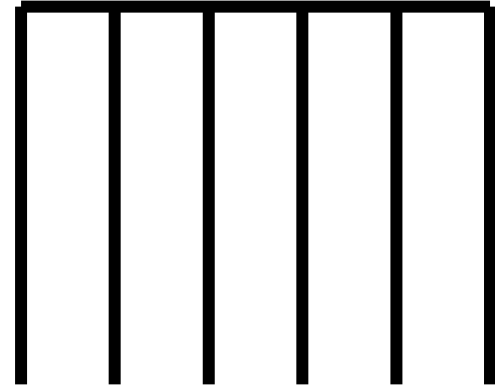
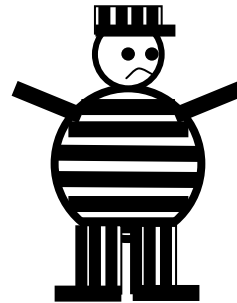
javaslat: **fuss** a ráccsal  
párhuzamosan!





# A kövér rab paradoxona

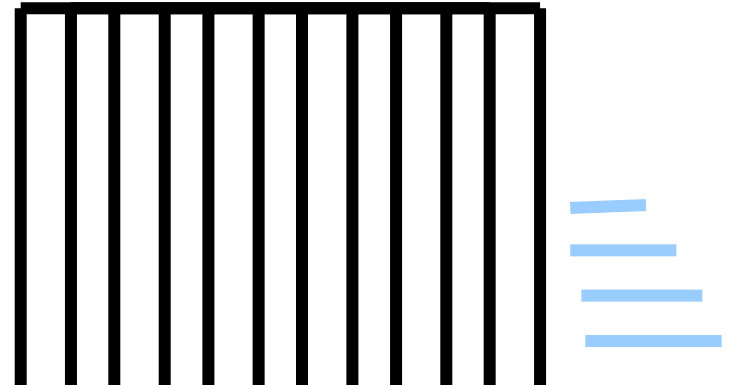
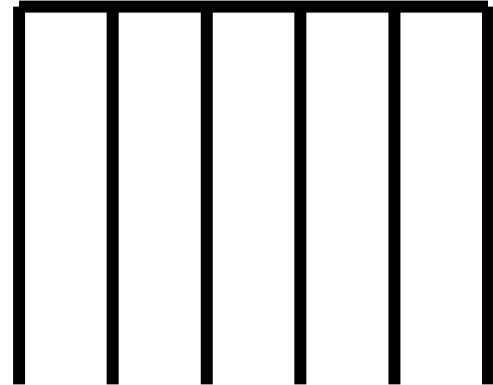
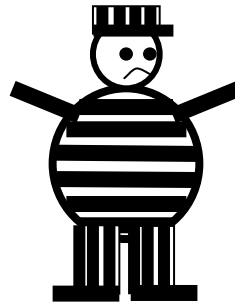
javaslat: **fuss** a ráccsal  
párhuzamosan!



Ezt látja az őr a rács mellett

# A kövér rab paradoxona

javaslat: **fuss** a ráccsal párhuzamosan!

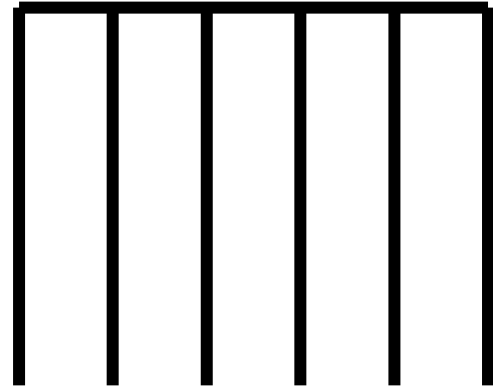
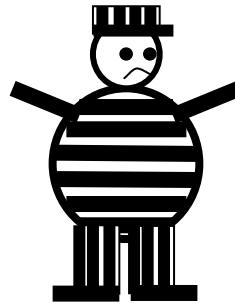


Ezt látja az őr a rács mellett

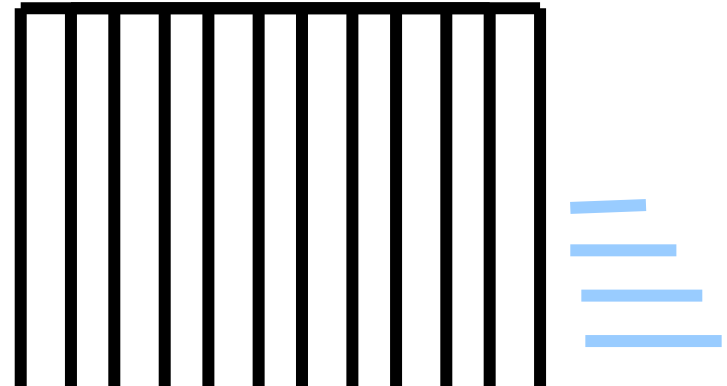


# A kövér rab paradoxona

Javaslat: **fuss** a ráccsal párhuzamosan!



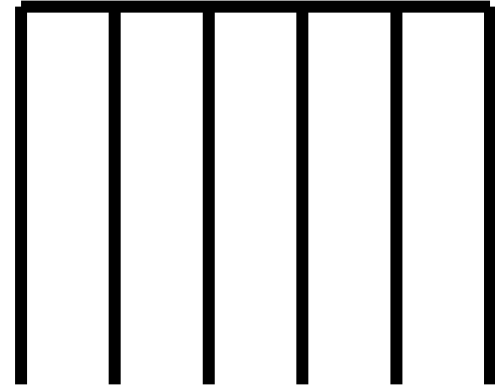
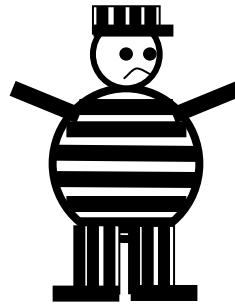
Ezt látja az őr a rács mellett



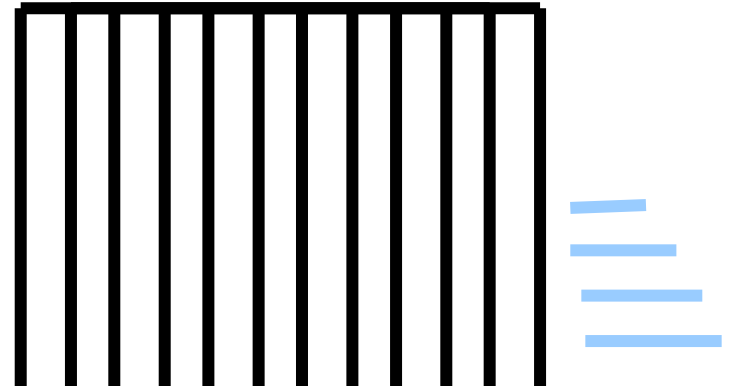
De ezt látja a futó rab...

# A kövér rab paradoxona

Javaslat: **fuss** a ráccsal párhuzamosan!



Ezt látja az őr a rács mellett

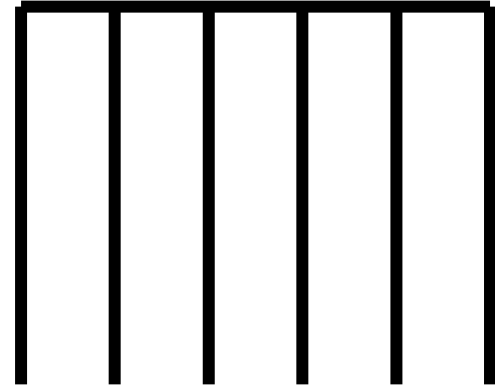
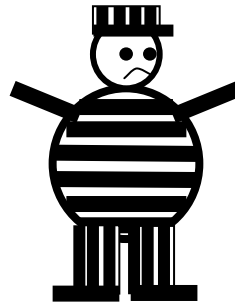


De ezt látja a futó rab...

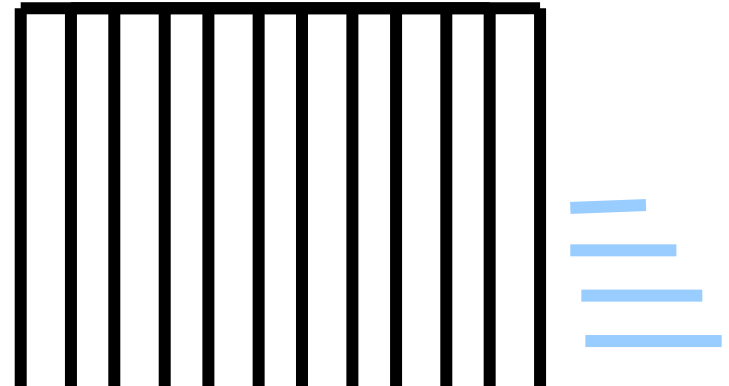
**Paradoxon:** meg tud szökni a rab, vagy nem?

# A kövér rab paradoxona

Javaslat: **fuss** a ráccsal párhuzamosan!



Ezt látja az őr a rács mellett



De ezt látja a futó rab...

**Paradoxon:** meg tud szökni a rab, vagy nem? Ki látja helyesen?



**Köszönöm a figyelmet!**

