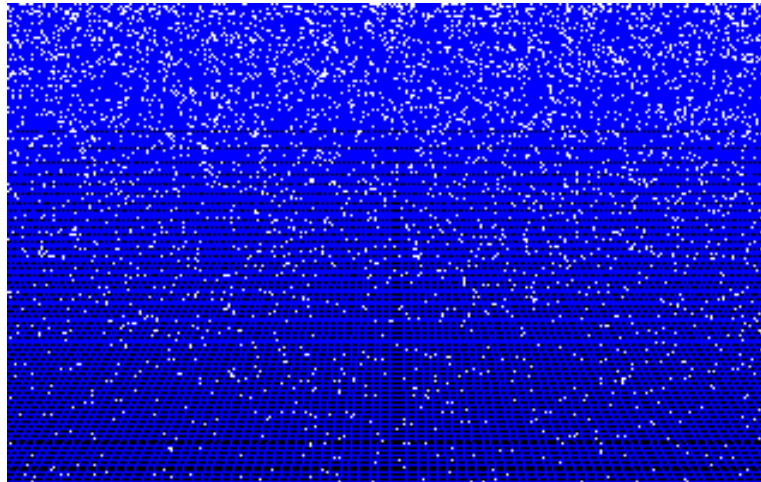


GRAVITATIE EN KOSMOLOGIE

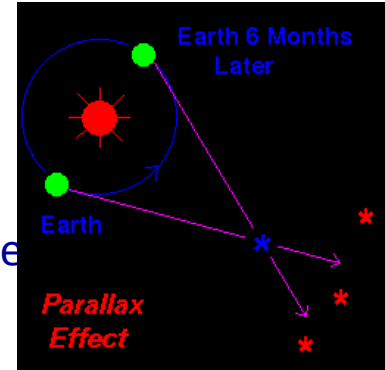
FEW cursus



Jo van den Brand & Jeroen Meidam

Les 1: 3 september 2012

METEN VAN AFSTAND

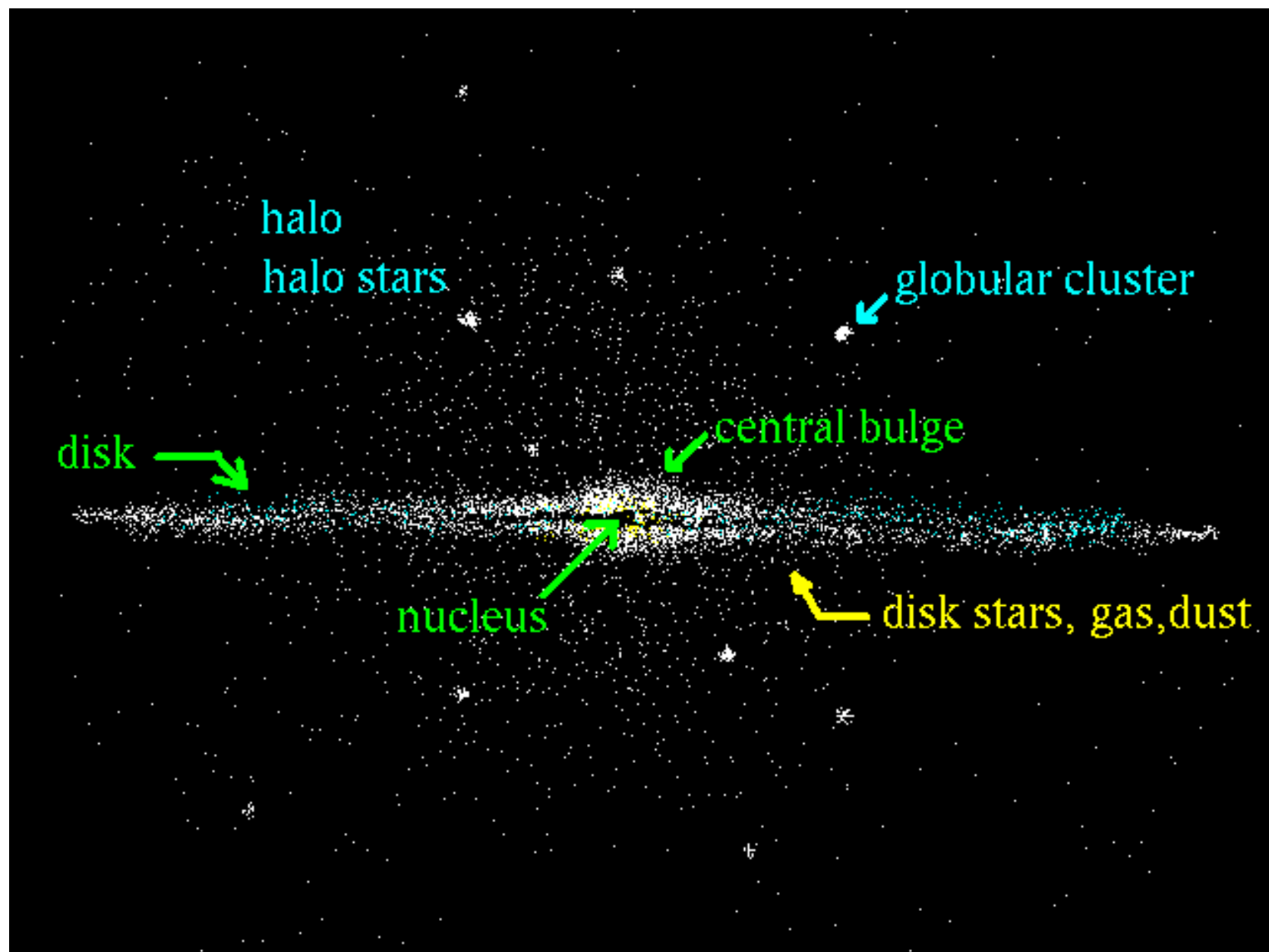


- Parallax
 - Meet positie van object ten opzichte van achtergrond
 - De parallaxhoek q , de afstand van het object D en de diameter van de baan d geven $d = Dq$ (q in rad!)
- Standaard meetlat
 - Expanderende fotosfeer methode (EPS of Baade-Wesselink): tot 10 – 100 Mpc
 - Type II supernova explosies: expansiesnelheid van de nevel
 - Gravitatielens: tot 1 Gpc
- Standaardkaars
 - De absolute luminositeit L_{absoluut} van een object, de afstand D en de schijnbare luminositeit $L_{\text{schijnbaar}}$ hangen samen via
$$L_{\text{schijnbaar}} = L_{\text{absoluut}} / D^2$$
 - Cepheid en RR Lyrae variabelen
 - Pulserende sterren
 - Period is evenredig met absolute luminositeit (tot 20 Mpc)
 - Type Ia supernovae
 - Exploderende witte dwerg ster (zeer helder), tot 1 Gpc, $z \sim 1$
 - Sunyaev-Zel'dovich effect

GROOTTE VAN HET UNIVERSUM



- Afstand tot de sterren
 - Bessel (1838) meet parallax 61 Cygni: $0,3''$
 - Afstand is dus $D = d/q$ met $d = 149,7$ million km
 - $0,3'' = 0,3/3600 = 8,3 \times 10^{-5} \text{ }^\circ \rightarrow 8,3 \times 10^{-5} \text{ }^\circ \times \pi/180 = 1,45 \times 10^{-6} \text{ rad}$
 - $D = 149,7 \times 10^6 \text{ km} / 1,45 \times 10^{-6} \approx 10^{14} \text{ km}$
 - $1 \text{ LJ} = 300.000 \text{ km/s} \times 86400 \text{ s/d} \times 365 \text{ d/jr} = 9,5 \times 10^{12} \text{ km}$
- Parsec (lieveling van sterrenkundigen)
 - 1 pc is de afstand waarmee de straal van de baan van de aarde rond de zon een hoek van $1''$ opspant (3,26 LJ)
- Grootte van de melkweg (melkweg = universum?)
 - Kapteyn (~1920) meet afstanden tot sterren in melkweg
 - Ongeveer 5 kpc met zon in centrum
 - Stof: MW is 30 kpc met zon 8,5 kpc off center



LEEFTIJD VAN DE AARDE

- Voor ~1670: weinig aandacht: aarde is jong
- Nicolaus Steno (1669): oude rotsen beneden, jonge rotsen boven.
Rotslagen $\Rightarrow$ leeftijd geschiedenis
- Rond 1800 kwam realisatie dat aarde misschien erg oud is
- Wallace en Darwin (1858): Evolutie van species $\Rightarrow$ aarde moet erg oud zijn (honderden miljoenen jaren)
- Probleem: in de 19e eeuw dacht men dat de zon maximaal ongeveer 100 miljoen jaar oud zou kunnen zijn
- Oplossing: kernfusie (Eddington-Bethe-Weizsäcker 1930)
- Nu: radioactieve datering van rotsen $\Rightarrow$ aarde en zonnestelsel zijn 4.6 miljard jaar oud
- Universum is ongeveer 14 miljard jaar oud

WAT DACHT U VAN DE VOLGENDE VRAGEN?

- Wat gebeurde er voordat het universum bestond?
- Wat is er buiten het universum?
- Hoe ziet het universum er nu uit?
- Hoe is het tot die toestand gekomen?
- **Voorstel:** het fysische universum kan begrepen worden in termen van natuurwetten (nu even Newton)
- **Fysisch:** alles dat objectief gemeten kan worden (op zijn minst in principe)
- **Fysische universum:** het universum van materiele objecten, van energie, van ruimte, van tijd



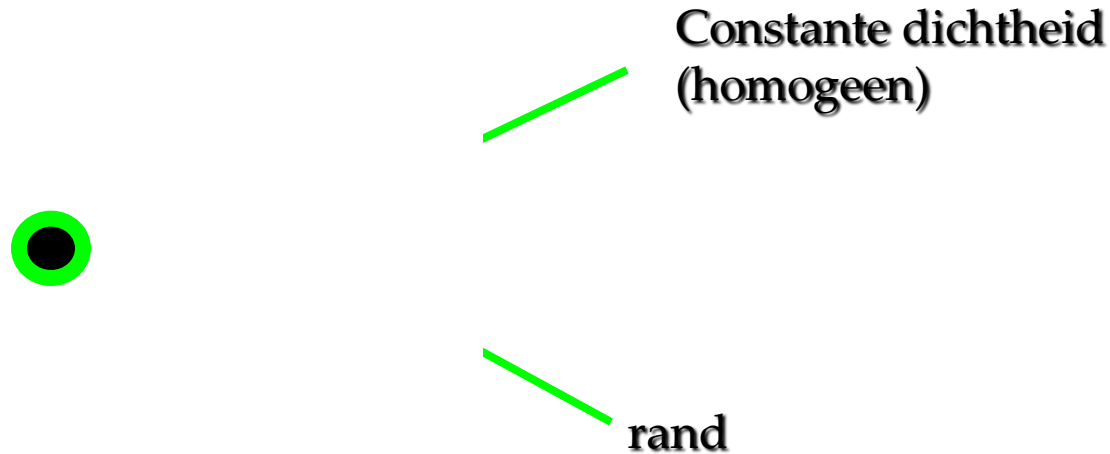
COPERNICAANSE EN ANTHROPISCHE PRINCIPES

- Mensheid, aarde, zon, melkweg, *etc.* zijn niet speciaal, hebben geen speciale plaats in het universum. Dit sluit a priori niet uit dat er speciale objecten of plaatsen kunnen bestaan
- Het **zwakke anthropische principe** stelt dat het universum ons bestaan mogelijk dient te maken
- Het **sterke** anthropische principe stelt dat het universum is zoals het is, omdat het als doel heeft om leven te creeeren
- Voorbeeld:
 - Bestaan van leven hangt af van het bestaan van koolstof
 - Als de kernkracht iets zwakker was geweest, hadden we geen koolstof
 - **Waarom is de kernkracht zo sterk als die is?**

Anthropisch principe $\Rightarrow$ *Als die anders was geweest, hadden we deze vraag niet gesteld*



EEN SPEELGOED UNIVERSUM



Wat gaat er volgens Newton gebeuren?

- Ons speelgoed universum stort in door gravitatie

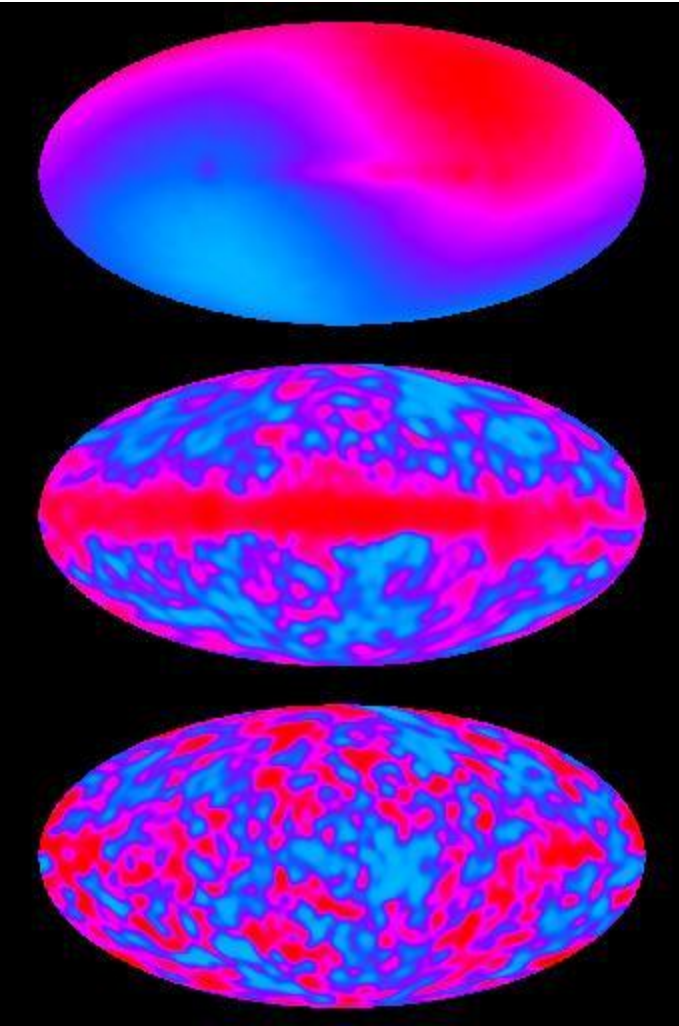
NEWTONS UNIVERSUM

- Om ineenstorting te voorkomen
 - homogeen
 - isotroop
 - oneindige afmeting
 - geen centrum
- Oneindig in de tijd
 - heeft altijd bestaan
 - zal altijd bestaan

⇒ perfect kosmologisch principe

- homogeen: universum overal hetzelfde ⇒ geen speciale plaats (geen centrum)
- isotroop: universum hetzelfde in alle richtingen
⇒ geen speciale richting (as)
- statisch: universum ziet er op elk tijdstip hetzelfde uit
⇒ er is geen speciale periode

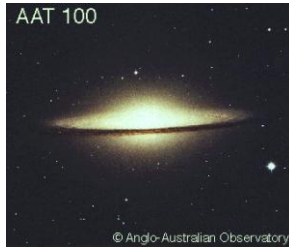
IS HET KOSMOLOGISCH PRINCIPE GELDIG IN ONS UNIVERSUM?



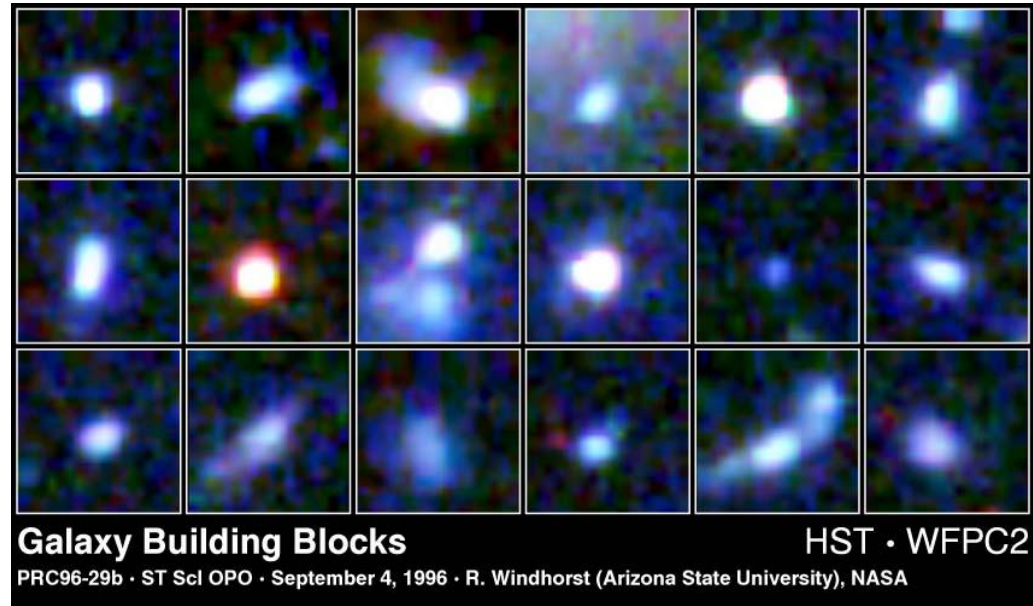
De kosmische microgolf achtergrondstraling
(CMB) = nagloeien van de oerknal.
Glad tot 1 deel in 10^5

ja, het universum lijkt homogeen en
isotropisch te zijn

IS HET KOSMOLOGISCH PRINCIPE GELDIG IN ONS UNIVERSUM?



Sterrenstelsels nu



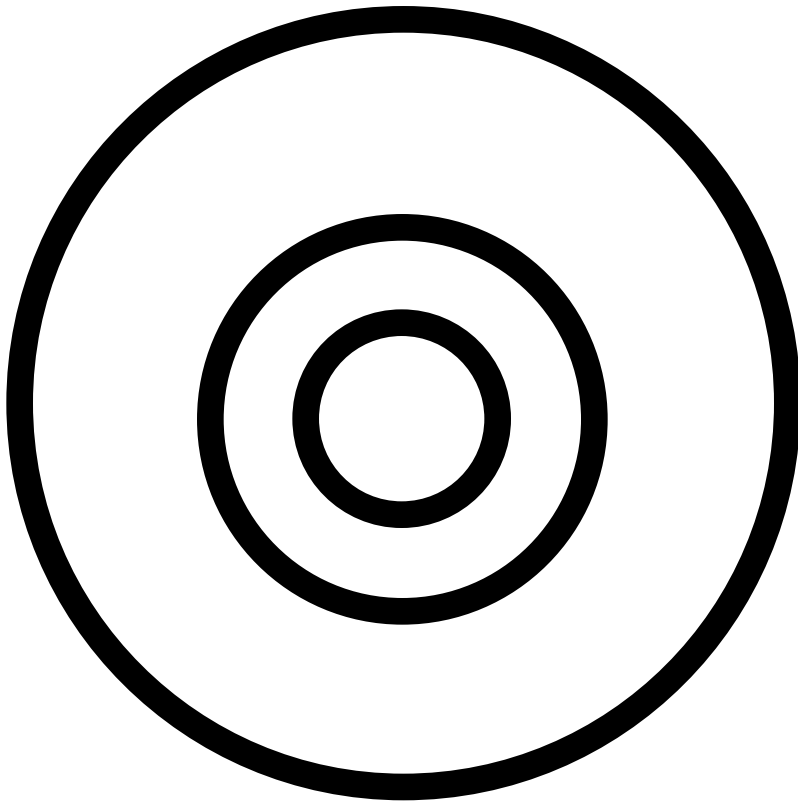
Sterrenstelsels 10 miljard jaar geleden

⇒ nee, het universum lijkt in de tijd te veranderen



PROBLEMEN MET EEN ONEINDIG UNIVERSUM

- Olbers paradox: waarom is de nacht donker?



Schil met straal $r_3 = 4r_1$:

Oppervlak: $S_3 = 4\pi (4r_1)^2$

Volume: $V_3 = 4\pi (4r_1)^2 \Delta x$

sterren: $N_3 = 4\pi \xi (4\rho_1)^2 \Delta x$

Luminositeit per ster: $\lambda_*/16$

Luminositeit van schil:

$$\begin{aligned} L_3 &= 4\pi \xi (4\rho_1)^2 \Delta x \lambda_*/16 \\ &= 4\pi \xi \rho_1^2 \Delta x \lambda_* = L_1 \end{aligned}$$

Elke schil levert bijdrage

$$L_1 = 4\pi \xi r_1^2 \Delta x \lambda_*$$

Oneindig aantal schillen
 $\Rightarrow$ oneindige helderheid

OPLOSSINGEN VOOR OLBERS PARADOX ?

- Universum is eindig
- Universum heeft een eindige leeftijd
- Verdeling van sterren in de ruimte is niet uniform
- De golflengte van de straling neemt toe in de tijd

Merk op: het Big Bang model voldoet aan al deze condities!

WAT IS EEN GEBEURTENIS (EVENT) ?

- Wanneer gebeurt het $\Rightarrow$ tijd t
- Waar gebeurt het $\Rightarrow$ positie (x,y,z)
- Welk referentiesysteem

$\Rightarrow$ coördinaten (t,x,y,z) gemeten ten opzichte van een bepaalde waarnemer op $(0,0,0,0)$

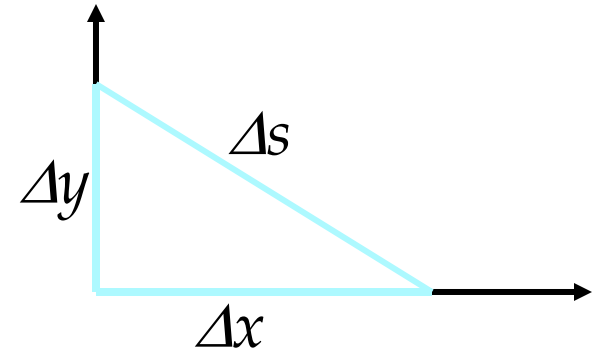
$\Rightarrow$ referentie systeem



METEN VAN AFSTANDEN

- Twee gebeurtenissen: (t_1, x_1, y_1, z_1) en (t_2, x_2, y_2, z_2)
- Verschil in tijd: $\Delta t = t_2 - t_1$
- Verschil in een coördinaat: $\Delta x = x_2 - x_1$
- Verschil in twee coördinaten:

$$\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$$



- Verschil in drie coördinaten:

$$\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2$$



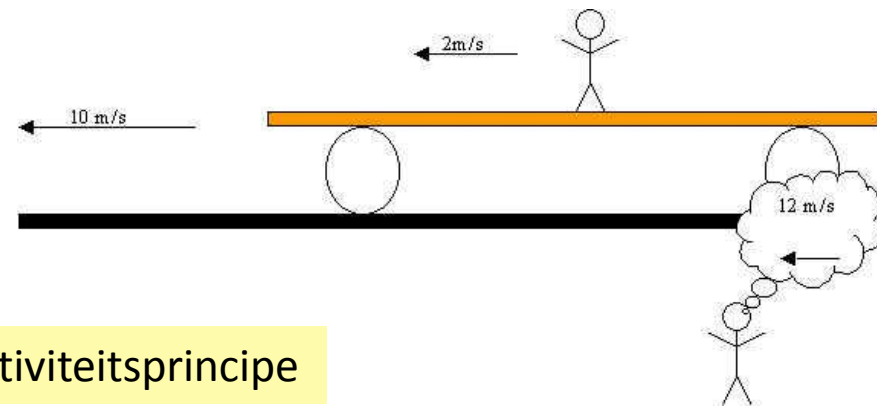
INERTIAAL REFERENTIE SYSTEEM

- Een inertiaal referentie systeem is een referentie systeem in rust of in constante beweging (d.w.z. constante snelheid, constante richting)
- Niet-inertiaalsysteem $\Rightarrow$ fictieve krachten
 - Centrifugale kracht
 - Coriolis kracht



EEN PAAR DEFINITIES ...

- Inertiale waarnemer: een waarnemer wiens rustsysteem inertiaal is
- Invariantie: een grootheid wordt **invariant** genoemd, als alle inertiale waarnemers hetzelfde resultaat krijgen als ze deze grootheid meten
- Relativiteit: een grootheid wordt relatief genoemd als verschillende inertiale waarnemers verschillende resultaten voor hun metingen krijgen
- Voorbeeld:
 - **invariant**: tijd, massa, versnelling, kracht
 - **relatief**: snelheid, positie
 - Absolute rust bestaat niet



Galileo's relativiteitsprincipe



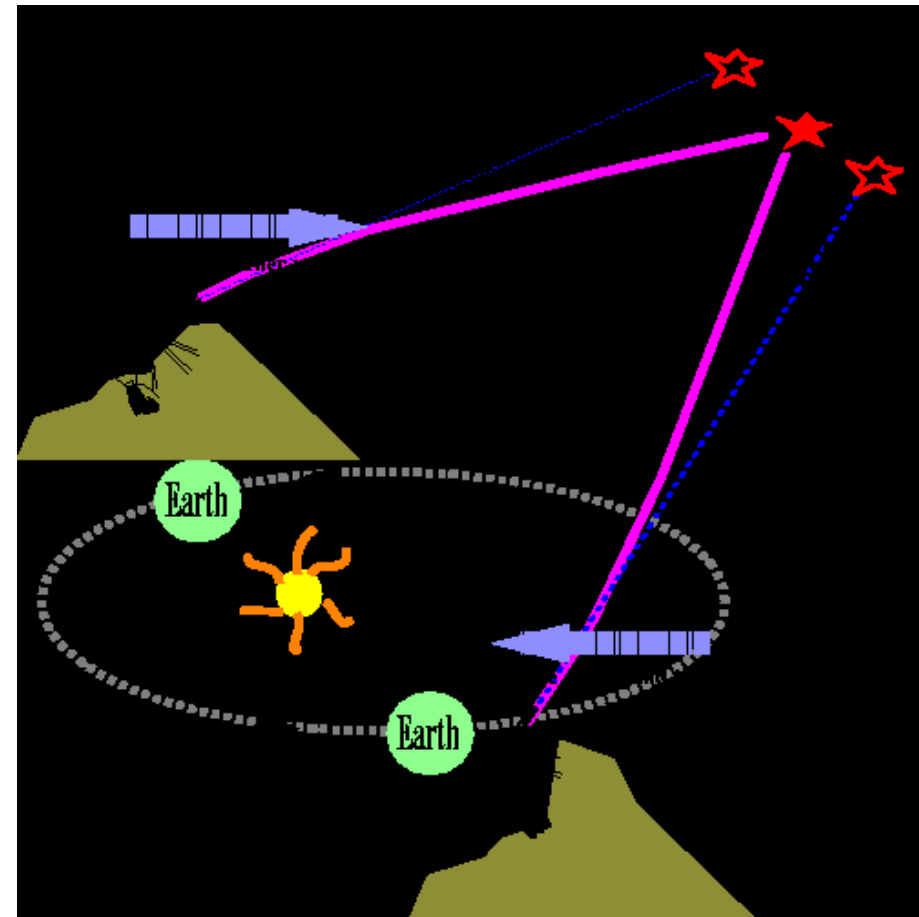
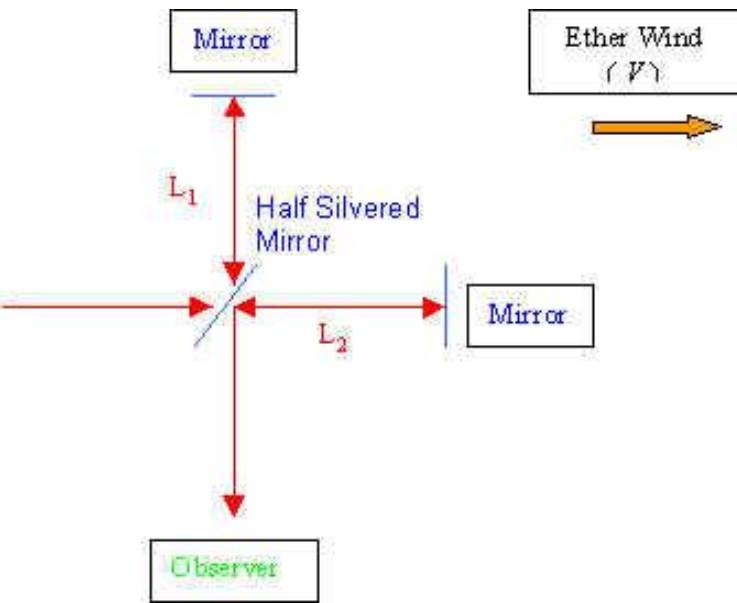
ELEKTROMAGNETISME

- James Clerk Maxwell (1860) ontwikkelt een theorie voor elektriciteit en magnetisme: elektromagnetisme
- Voorspelt bestaan van elektromagnetische golven
 - Gaan door de ruimte met de lichtsnelheid
 - Voorbeelden: licht en radiogolven
- Problemen:
 - Lichtsnelheid c is hetzelfde voor alle inertiaalsystemen, dus c is invariant en niet relatief
 - Welk medium “draagt” deze EM golven?



DE ETHER IS TERUG!! — OF TOCH NIET?

- Idee: elektromagnetische golven reizen door de **ether** (net als geluidsgolven door lucht)
⇒ rustsysteem van de ether is een voorkeursreferentiesysteem
- Kunnen we het bestaan van de ether testen?
- Er is geen ether



TWEE WOLKJES AAN DE HORIZON VAN 19E EEUWSTE NATUURKUNDE

- Michelson-Morley resultaat (EM vs Newton)
- Thermische straling van warme lichamen (zogenaamde black body radiation)

Twee orkanen als resultaat

Relativiteitstheorie
Quantummechanica

