

# Modellen, de taal van de natuurkunde

Wouter van Joolingen  
Freudenthal Instituut

WND 12 december 2014

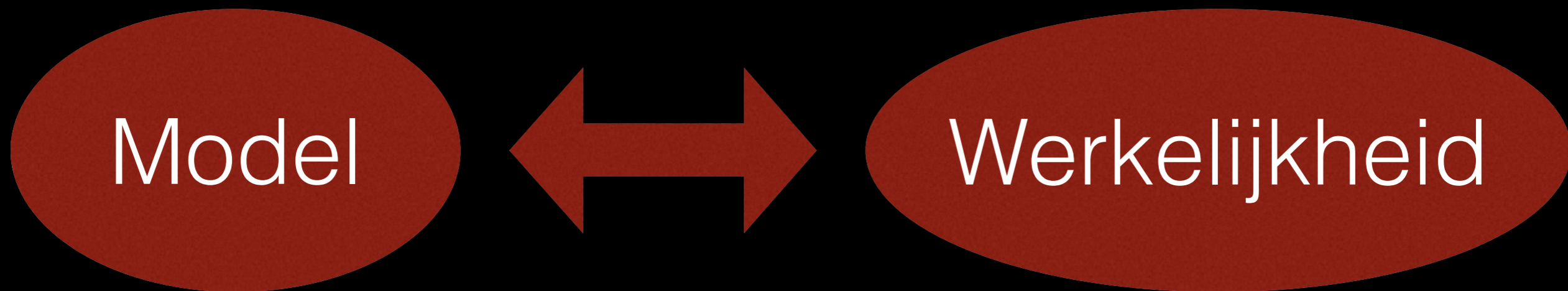


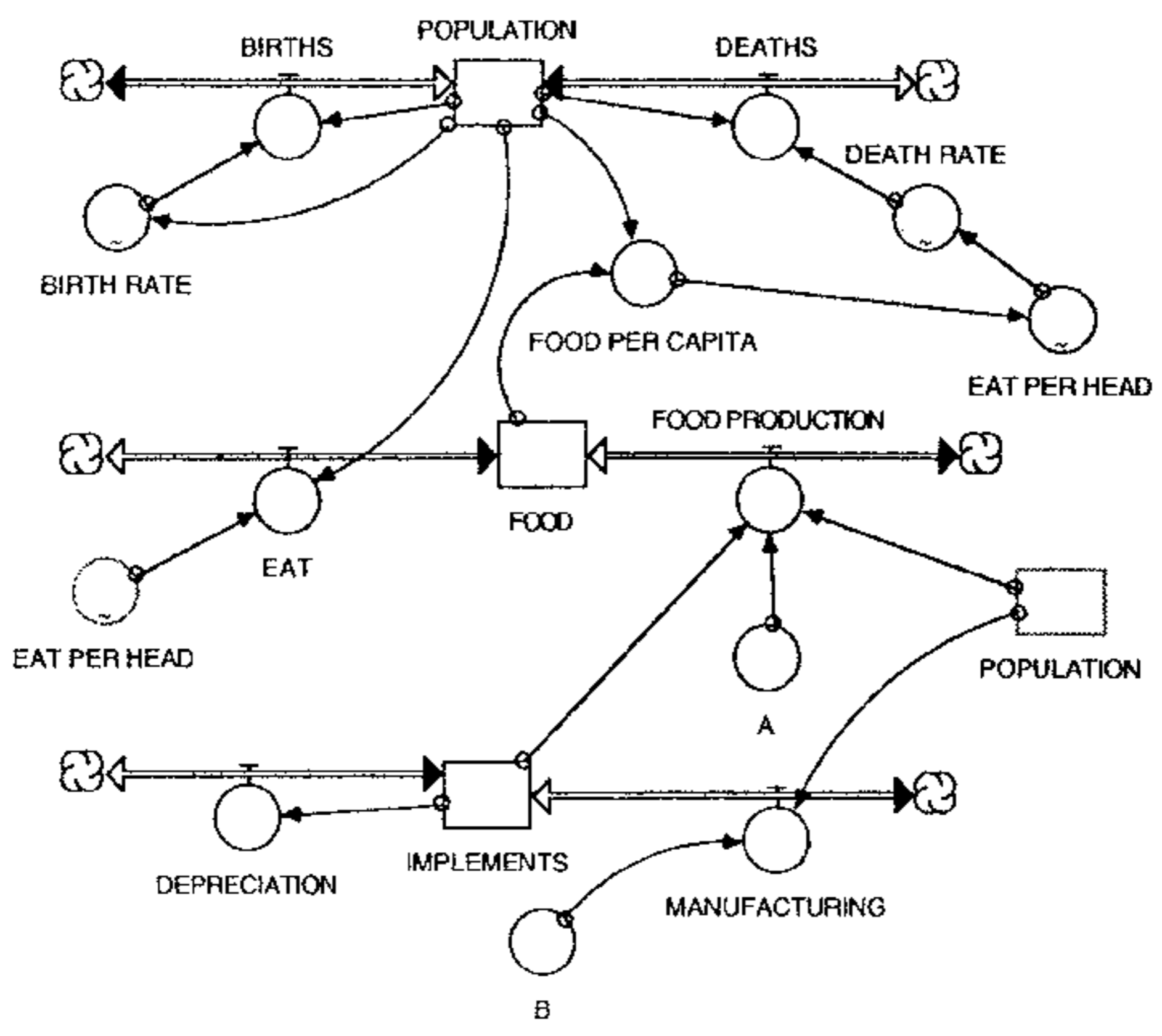
Universiteit Utrecht

Modellen op school

Ook kan de kandidaat een model hanteren en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen.

De kandidaat kan voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus gebruiken om toe te lichten hoe het begrip model in de natuurkunde wordt gehanteerd en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen en het inzicht toepassen dat een model een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid is en dit relateren aan de beperkte toepasbaarheid van het model





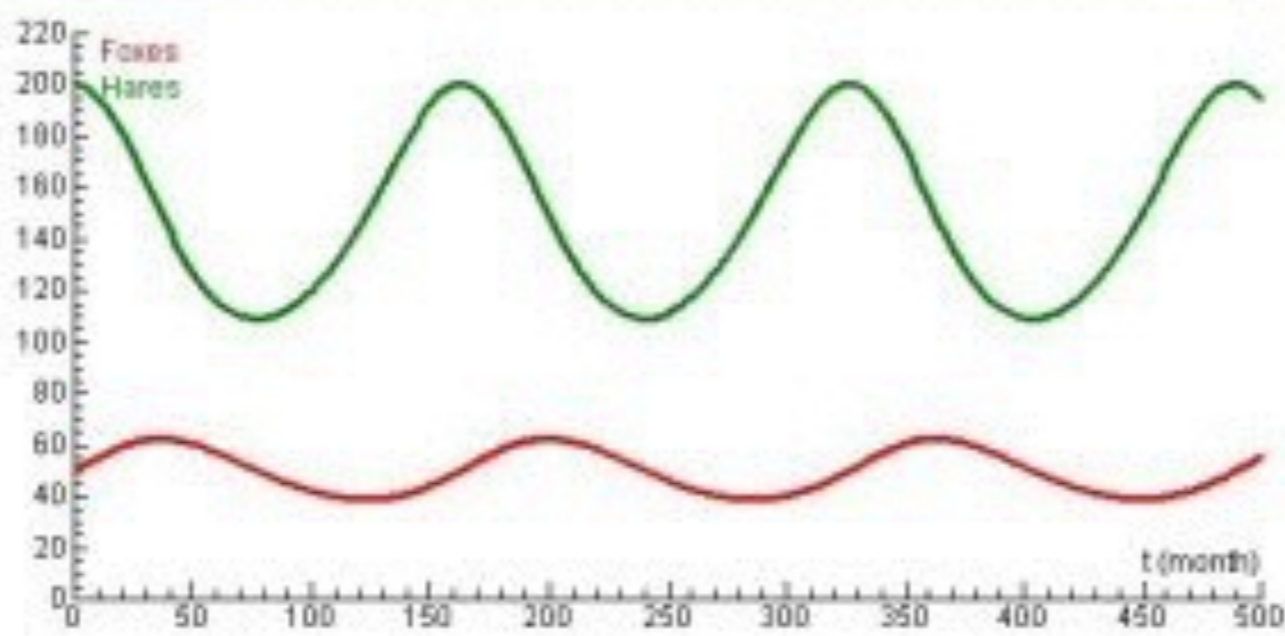
Arctic hare



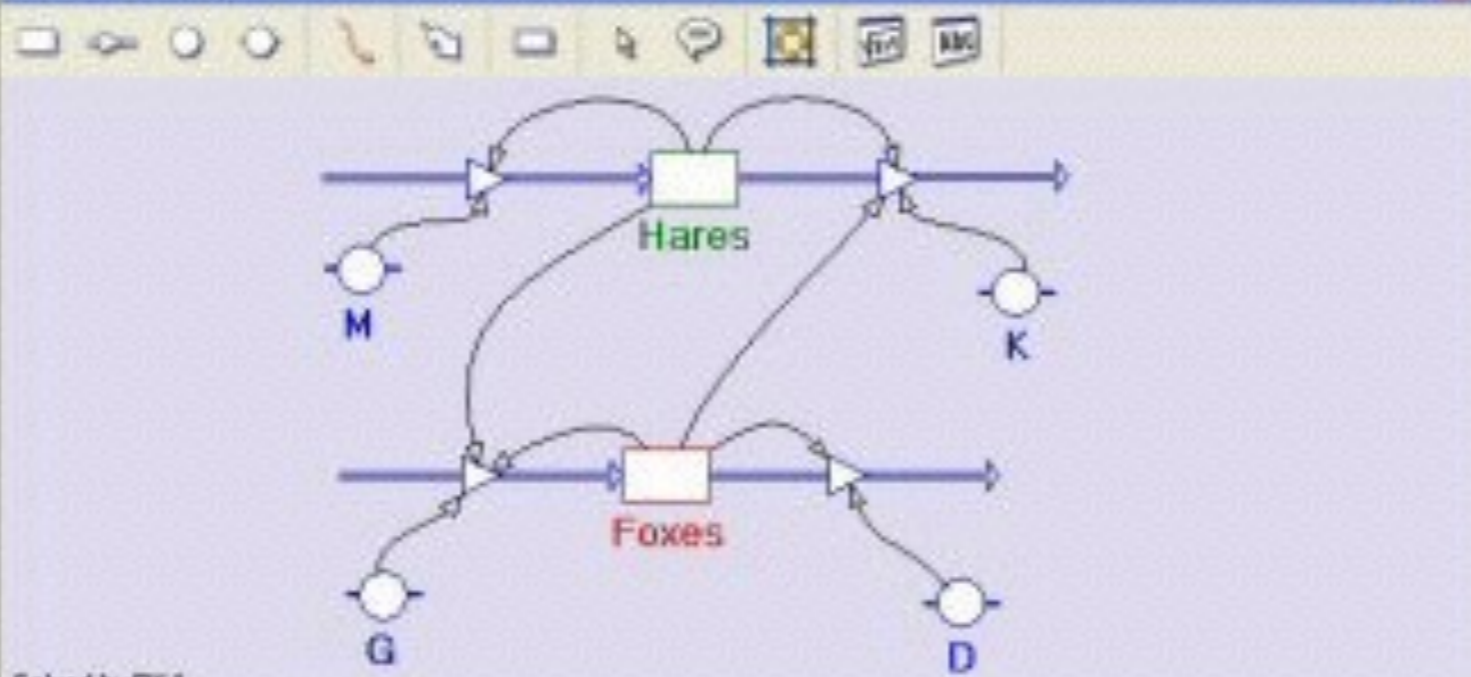
Arctic fox



Foxes-Hares model



Model window



Solved by RK4

Início

Variável Independente

Modelo

Parâmetros

Condições Iniciais

Tabela

Gráfico

Objectos

Notas



Copiar imagem



Interpretar Modelo

$x^n$

Potência

$\sqrt{x}$

Raiz Quadrada

$\Delta x$

Delta

$\frac{dx}{dt} =$

Taxa de Variação

$x_i$

Índice

last(x)

Último

“ ”

Comentário

$\left\{ \begin{matrix} \circ, \circ, \circ \\ \circ \end{matrix} \right.$

Condição

NaN Not a Number

$\pi$  PI

e e

Valores

?

Ajuda

Ajuda

### Modelo Matemático

$$\frac{dA}{dt} = -v1$$

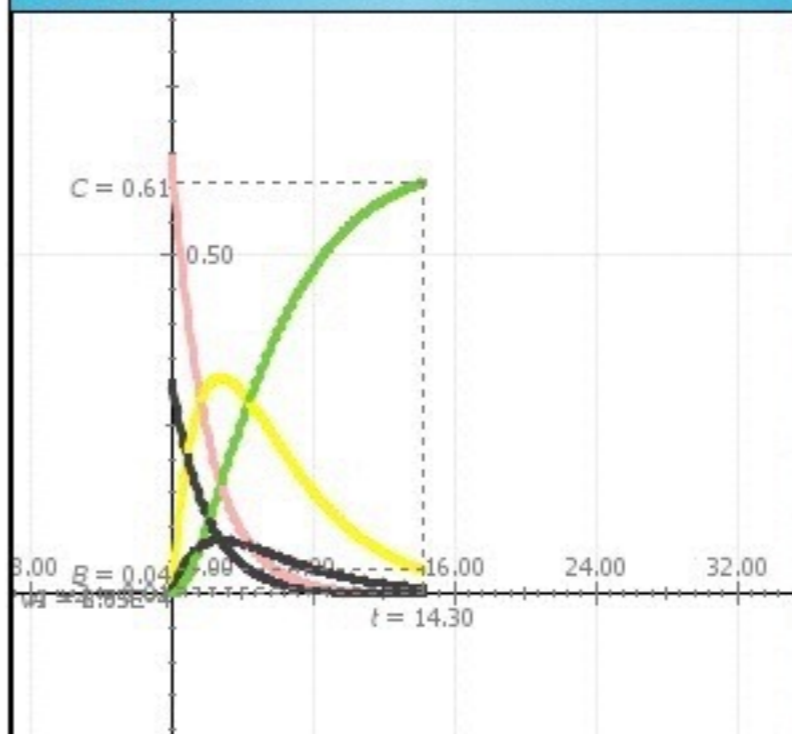
$$\frac{dB}{dt} = v1 - v2$$

$$\frac{dC}{dt} = v2$$

$$v1 = k1 \times A$$

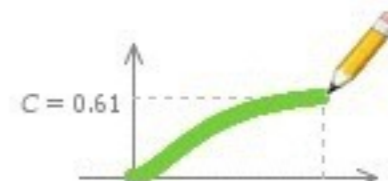
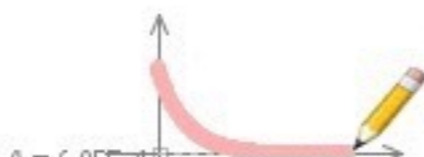
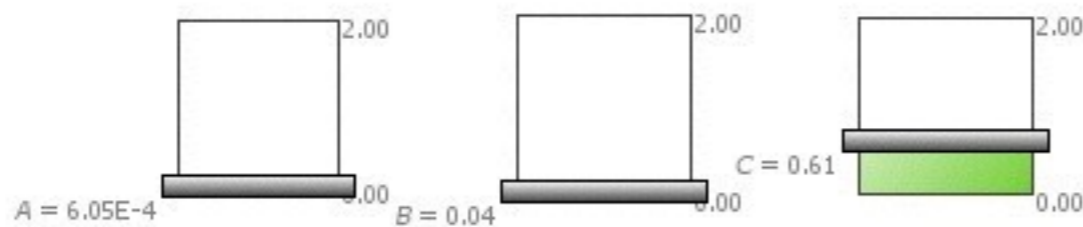
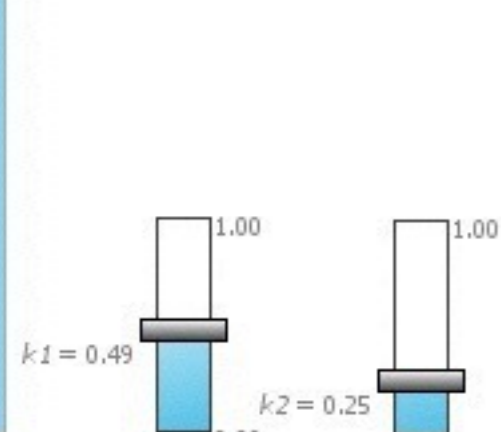
$$v2 = k2 \times B$$

### Gráfico



### Tabela

t	A	B	C
13.10	0.00	0.05	0.60
13.20	0.00	0.05	0.60
13.30	9.86E-4	0.05	0.60
13.40	9.39E-4	0.04	0.60
13.50	8.94E-4	0.04	0.60
13.60	8.52E-4	0.04	0.60
13.70	8.11E-4	0.04	0.60
13.80	7.73E-4	0.04	0.60
13.90	7.36E-4	0.04	0.60
14.00	7.01E-4	0.04	0.61
14.10	6.67E-4	0.04	0.61
14.20	6.36E-4	0.04	0.61
14.30	6.05E-4	0.04	0.61
14.40	5.77E-4	0.04	0.61





Waarom bij Natuurkunde?

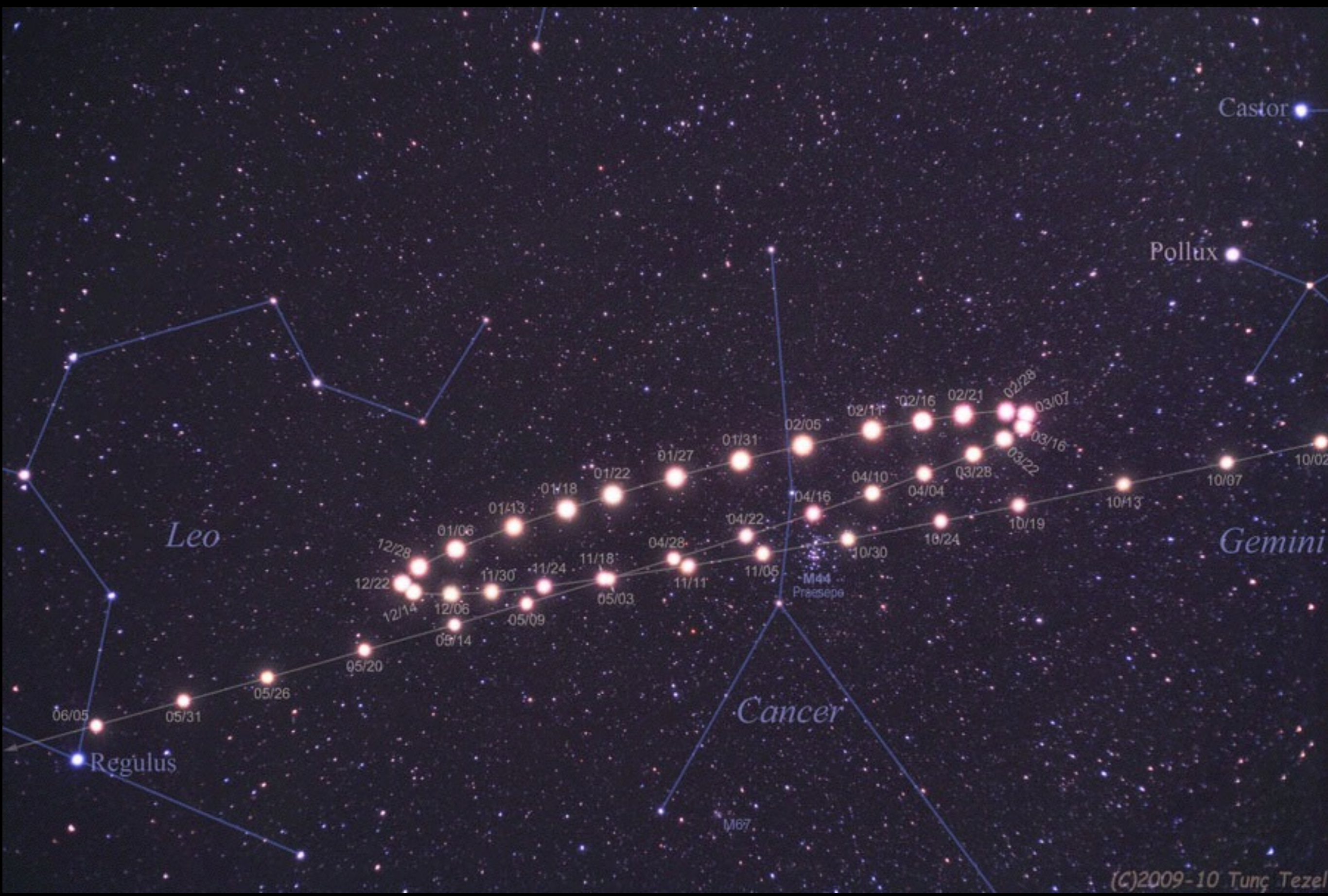
En waarom als apart onderdeel?

Wat zijn modellen  
eigenlijk?

# De geschiedenis van een model

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum .





Castor

Pollux

Leo

Gemini

Cancer

Regulus

M44  
Praesepe

M67

(C)2009-10 Tunç Tezel

06/05

05/31

05/26

05/20

12/22

12/28

01/06

01/13

01/18

01/22

01/27

01/31

02/05

02/11

02/16

02/21

02/28

03/07

03/16

03/22

03/28

04/04

04/10

04/16

04/22

04/28

05/03

05/09

11/30

12/14

12/06

09/14

11/24

11/18

11/11

11/05

10/30

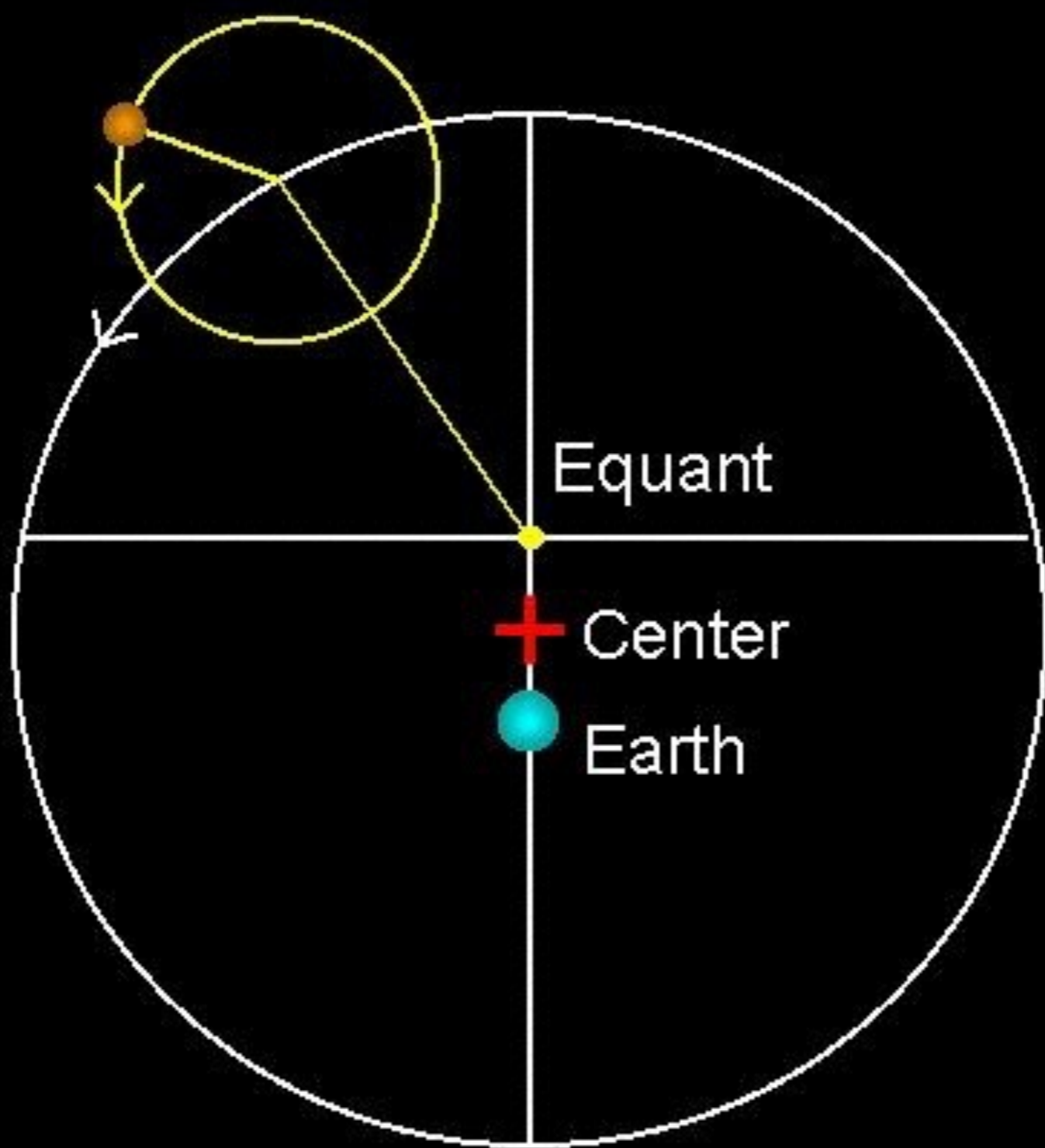
10/24

10/19

10/13

10/07

10/02



I. Stellarium fixarum sphaera immobilis.

II. Saturnus anno. XXX. reuolutus.

III. Iouis. XII. annorum reuolutio.

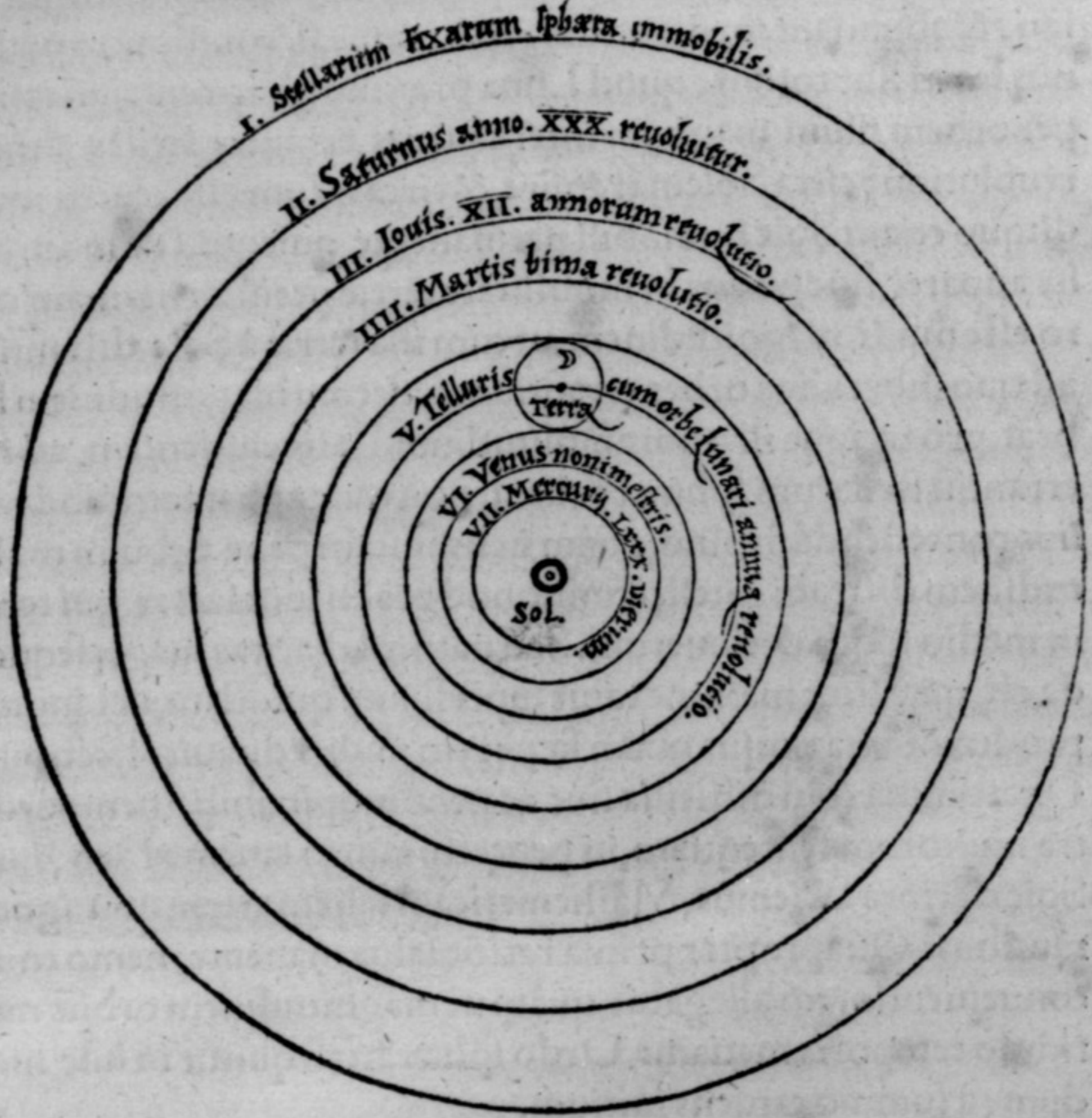
III. Martis bima reuolutio.

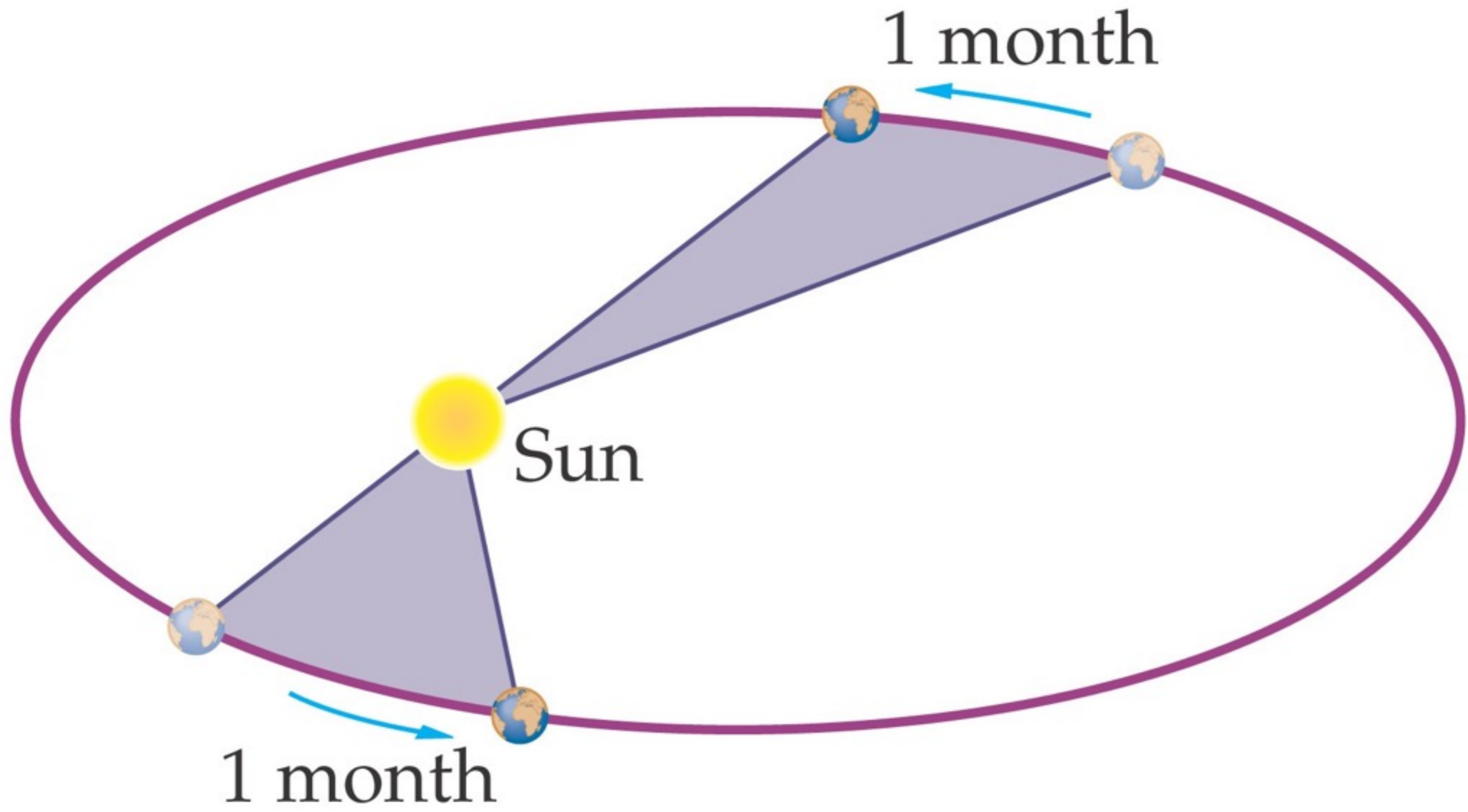
V. Telluris cum orbe lunari annua reuolutio.

VI. Venus noni mensis.

VII. Mercurij. LXX. dierum.

SOL

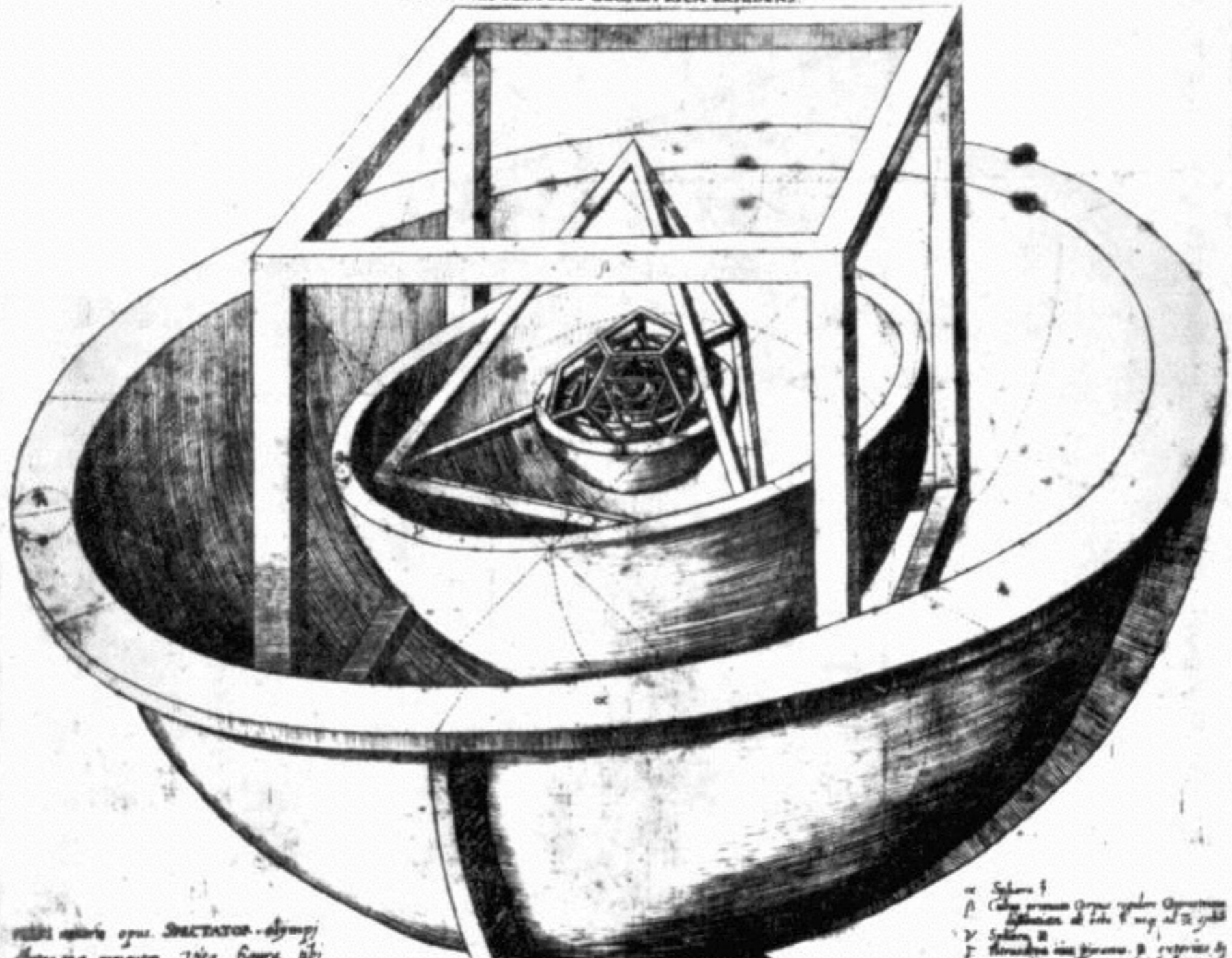




(a)



Tabvla MORBIVM PLANETARVM DIMENSIONES, ET DISTANTIAS PER QVINQVE  
REGVLARIA CORPORA GEOMETRICA EXHIBENS.



PUBLI COPERNICI OPERIS DE REVOLVTIONIBVS  
 ANTIQVAE ASTRONOMIAE VETUSTAE FIGVRA AB  
 ANTONIO PLACENTINO DISTANTIA QUANTA SIT INTER  
 SOLIS ET TERRAE CORPORA QVINQVE DOCEAT  
 QVAM TERRA MOVETUR QVOD COPERNICVS CLAM  
 VETVSTIS ANTONIO INNOCENTIO TERTIO MONSTRAT OPERIS  
 SVDICAT. EXHIBIT TANTO SE MINVRE GRATVAM  
 ANTONIO DECCIACO NON ENIM LAUDE DVCI

Christophorus Ledfrid. ff  
 Tabula 31 32

- a Sphaera 1
- A Cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.
- v Sphaera 2
- T Sphaera 3 cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.
- E Sphaera 4
- z Sphaera 5 cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.
- z Sphaera 6 cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.
- z Sphaera 7 cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.
- z Sphaera 8 cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.
- z Sphaera 9 cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.
- z Sphaera 10 cuius prima pars sphaera Copernicana  
distans ab Sole 4 unq. ad 20 grad.



PUBLI COPERNICI  
 OPERIS DE REVOLVTIONIBVS  
 ANTIQVAE ASTRONOMIAE VETUSTAE  
 FIGVRA AB ANTONIO PLACENTINO  
 DISTANTIA QUANTA SIT INTER  
 SOLIS ET TERRAE CORPORA QVINQVE  
 DOCEAT QVAM TERRA MOVETUR  
 QVOD COPERNICVS CLAM VETVSTIS  
 ANTONIO INNOCENTIO TERTIO  
 MONSTRAT OPERIS SVDICAT. EXHIBIT  
 TANTO SE MINVRE GRATVAM  
 ANTONIO DECCIACO NON ENIM  
 LAUDE DVCI

PHILOSOPHIÆ  
NATURALIS  
PRINCIPIA  
MATHEMATICA.

---

Auctore J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos  
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

---

IMPRIMATUR.  
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.  
Julii 5. 1686.

---

LONDINI,

Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud  
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



EEN JAAR BY JUPITER IS BY ONS 12 JAAREN EN 555 DAGEN

SCHYNBARE BEWEGING DER ZONEN VASTE

DE MAAN GANT ONDER

Afstand der Maan

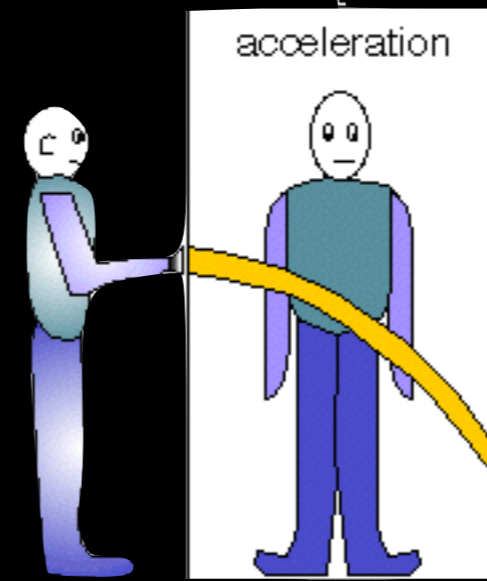
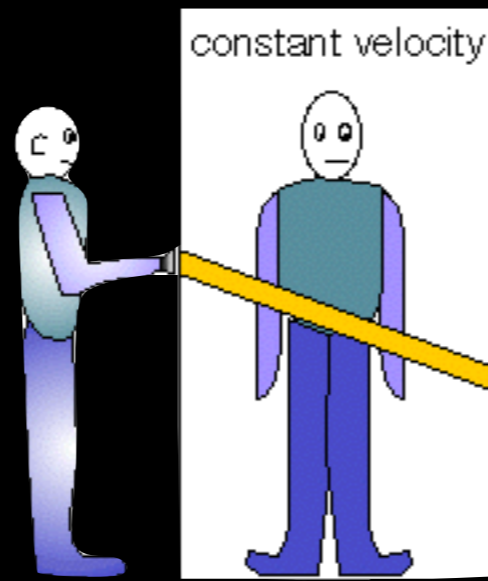
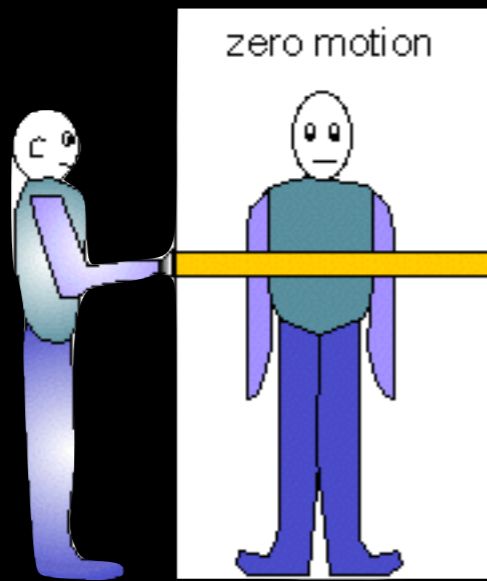
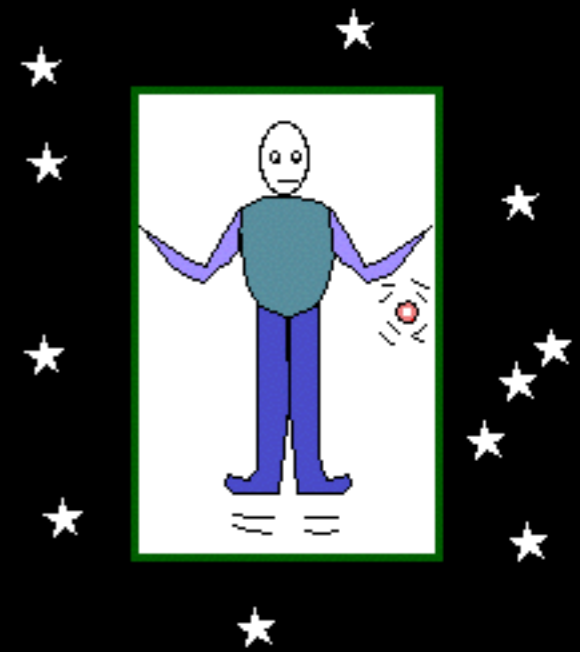
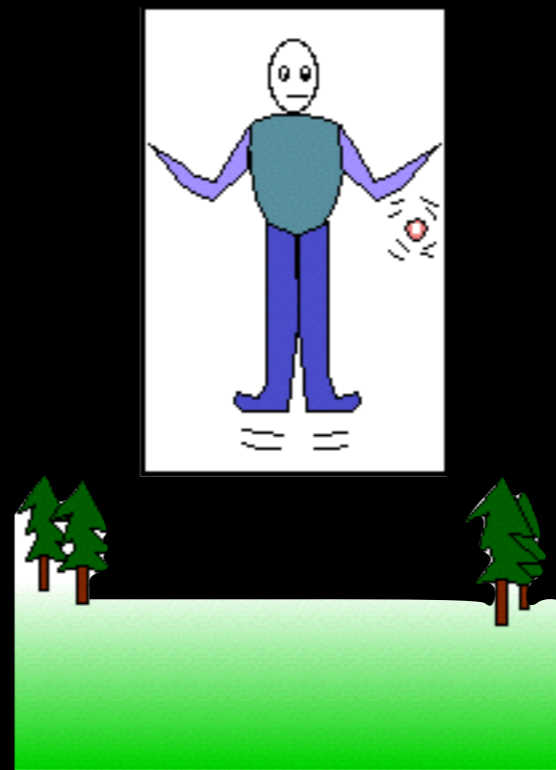
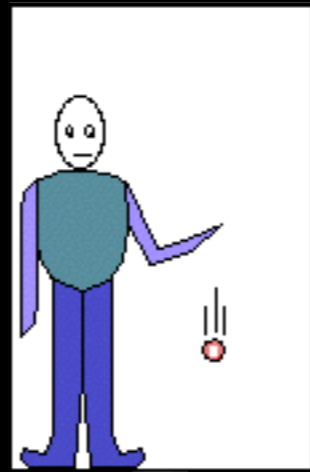
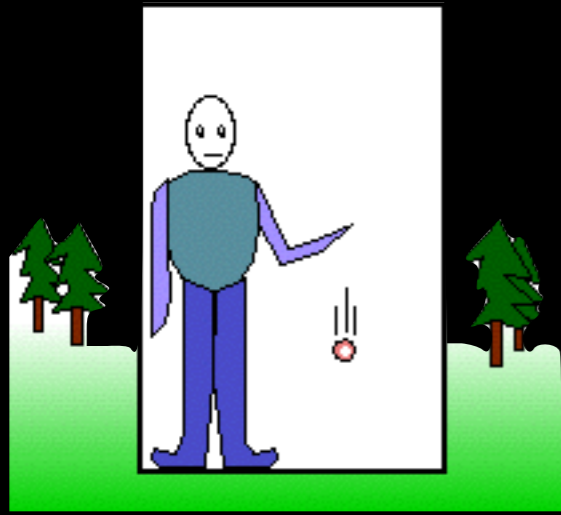
ZONS OP GANG

ZONS ONDER GANG

Afstand der Maan

OMT OP





Model	Verklaring	Voorspelling
Ptolemaeus	Planeetbeweging	
Copernicus	Planeetbeweging vereenvoudigd	Schijngestalten van Venus
Kepler	Ellipsen Baansnelheid	Nauwkeurige berekeningen
Newton	Universele zwaartekracht	Alle lichamen volgen zelfde wetten
Einstein	Equivalentie	Licht buigt Precessie Mercurius

# Modellen, de taal van de natuurkunde

Beschrijven

Verklaren

Voorspellen

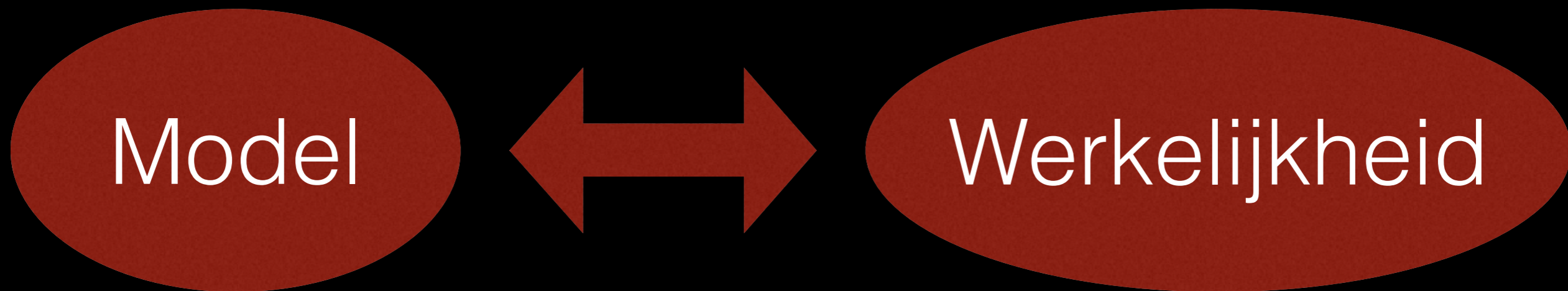
Berekenen

Toetsen



Unificatie

Vereenvoudiging



Leer de taal van de  
natuurkunde!

Mechanica

Straling en  
materie

Elektro-  
magnetisme

Relativiteit

Quantum

Modellen

# Modellen

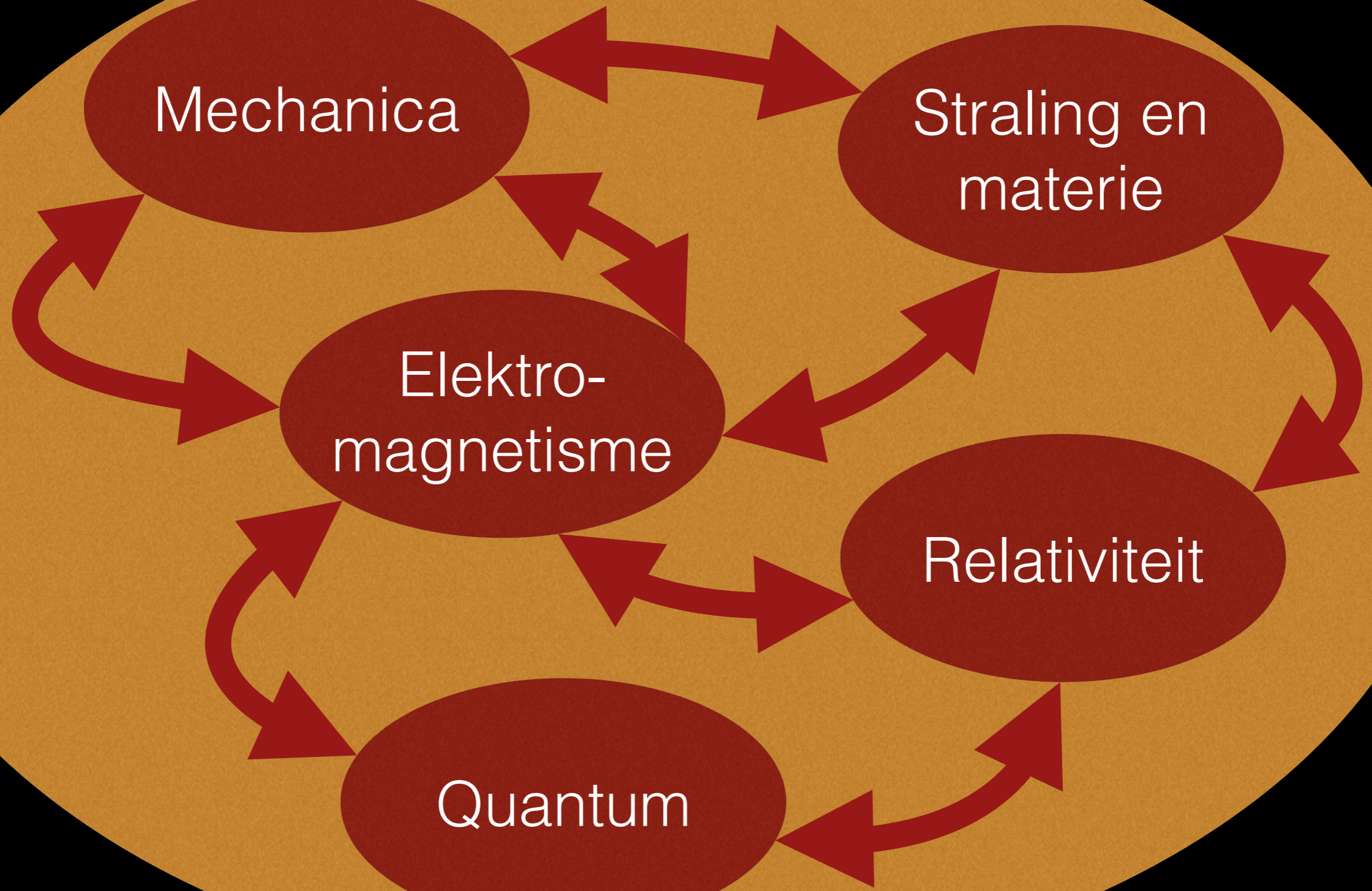
Mechanica

Straling en materie

Elektro-  
magnetisme

Relativiteit

Quantum

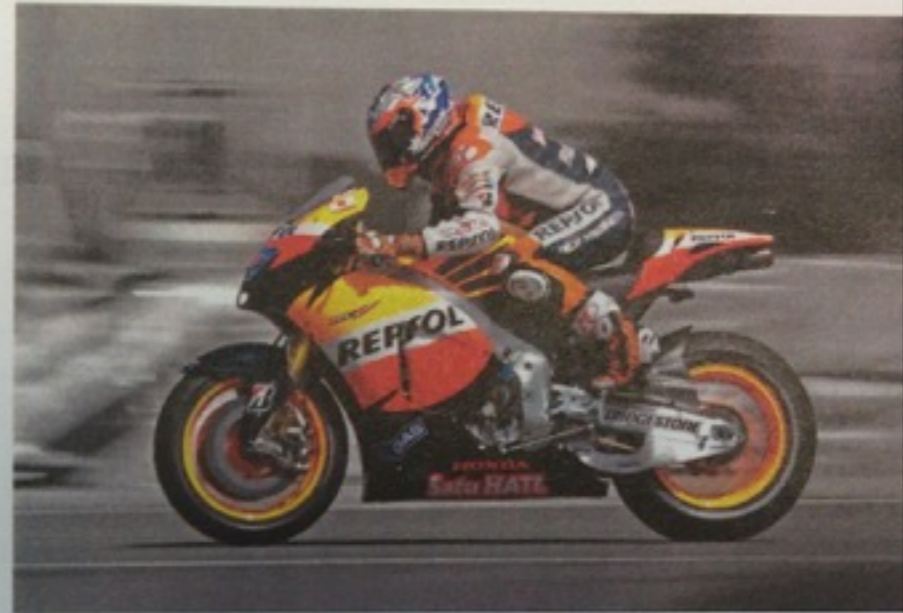


Toetsen met modellen

- 016 Voor een optrekkende motor is de afgelegde weg  $s$  gegeven door de formule  $s = t^3 + t$ . Hierin is  $s$  in meter en  $t$  de tijd in seconden.
- a Bereken in m/s de gemiddelde snelheid op  $[2, 3]$ .
  - b Bereken de gemiddelde snelheid op de intervallen  $[2; 2,1]$ ,  $[2; 2,01]$  en  $[2; 2,001]$ .
  - c In onderdeel b is de gemiddelde snelheid berekend op een steeds kleiner interval  $[2; 2 + \Delta t]$ . Achtereenvolgens was  $\Delta t$  gelijk aan 0,1, 0,01 en 0,001.

Welk vermoeden krijg je over de gemiddelde snelheid als je  $\Delta t$  nog kleiner kiest? Controleer je vermoeden voor  $\Delta t = 0,0001$ .

- d Roeland denkt dat je de snelheid op  $t = 2$  krijgt door  $\Delta t = 0$  te nemen. Licht toe waarom dit mis gaat.

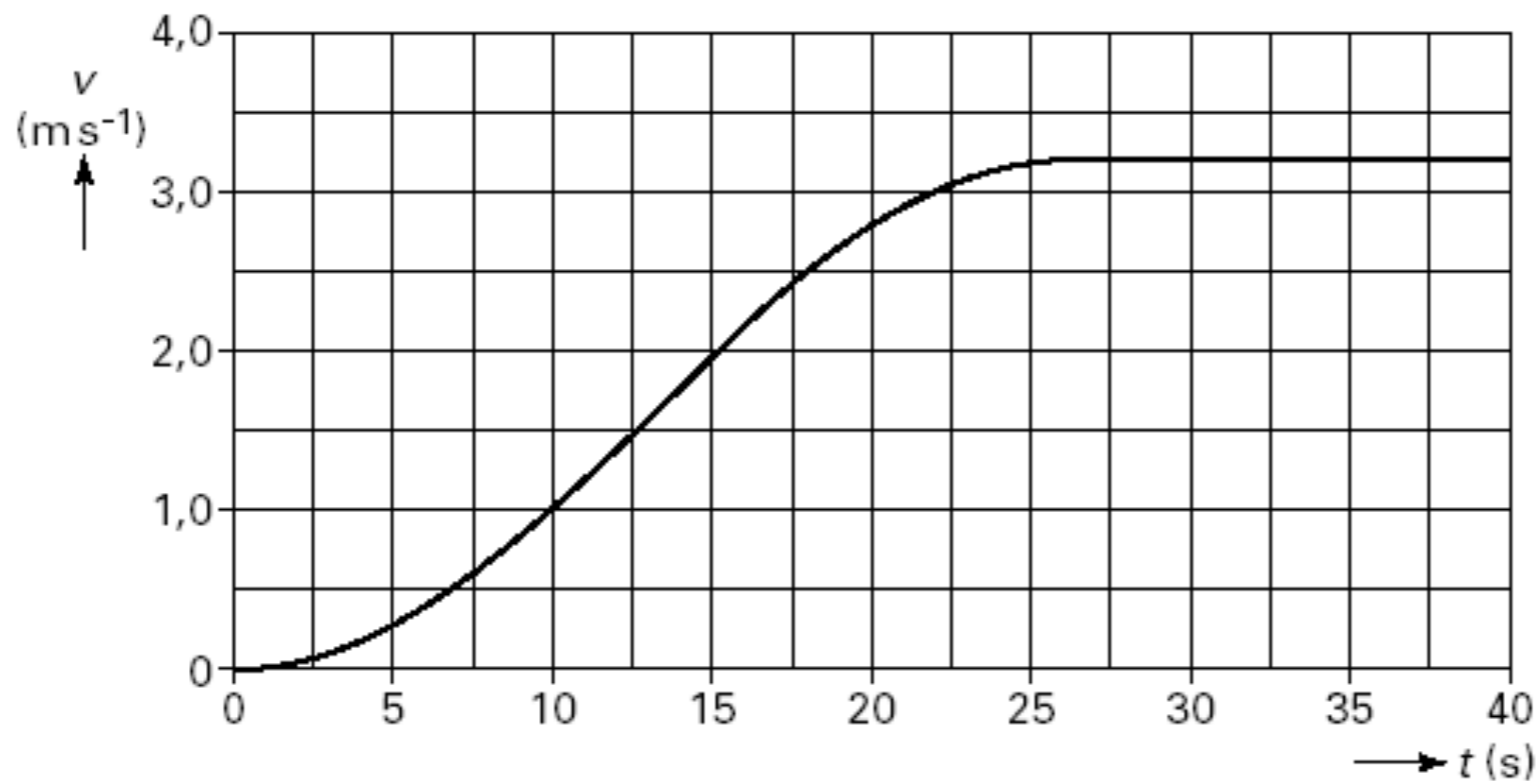


# Natuurkunde is meer dan wiskunde

Voorbeeld van een onzincontext.

# Bergtrein

In een bergachtig gebied kunnen toeristen met een bergtrein naar een mooi uitzichtpunt reizen. De trein wordt aangedreven door een elektromotor en begint aan een rit naar boven. In figuur 5 is het  $(v,t)$ -diagram van de eerste 40 seconden weergegeven.



De grafiek voldoet aan het volgende functievoorschrift:

$$\text{voor } 0 \text{ s} \leq t \leq 26 \text{ s} : \quad v(t) = 1,6 - 1,6 \cdot \cos(0,12 \cdot t)$$

$$\text{voor } 26 \text{ s} \leq t \leq \dots : \quad v(t) = 3,2$$



- Bepaal de afstand die de trein op  $t = 20$  s heeft afgelegd.

De massa van de trein met passagiers bedraagt  $13 \cdot 10^3$  kg. Uit figuur 5 blijkt dat op  $t = 15$  s de trein nog aan het versnellen is. Figuur 5 is nogmaals afgedrukt op de uitwerkbijlage.

- Bepaal de grootte van de resulterende kracht op de trein op  $t = 15$  s.

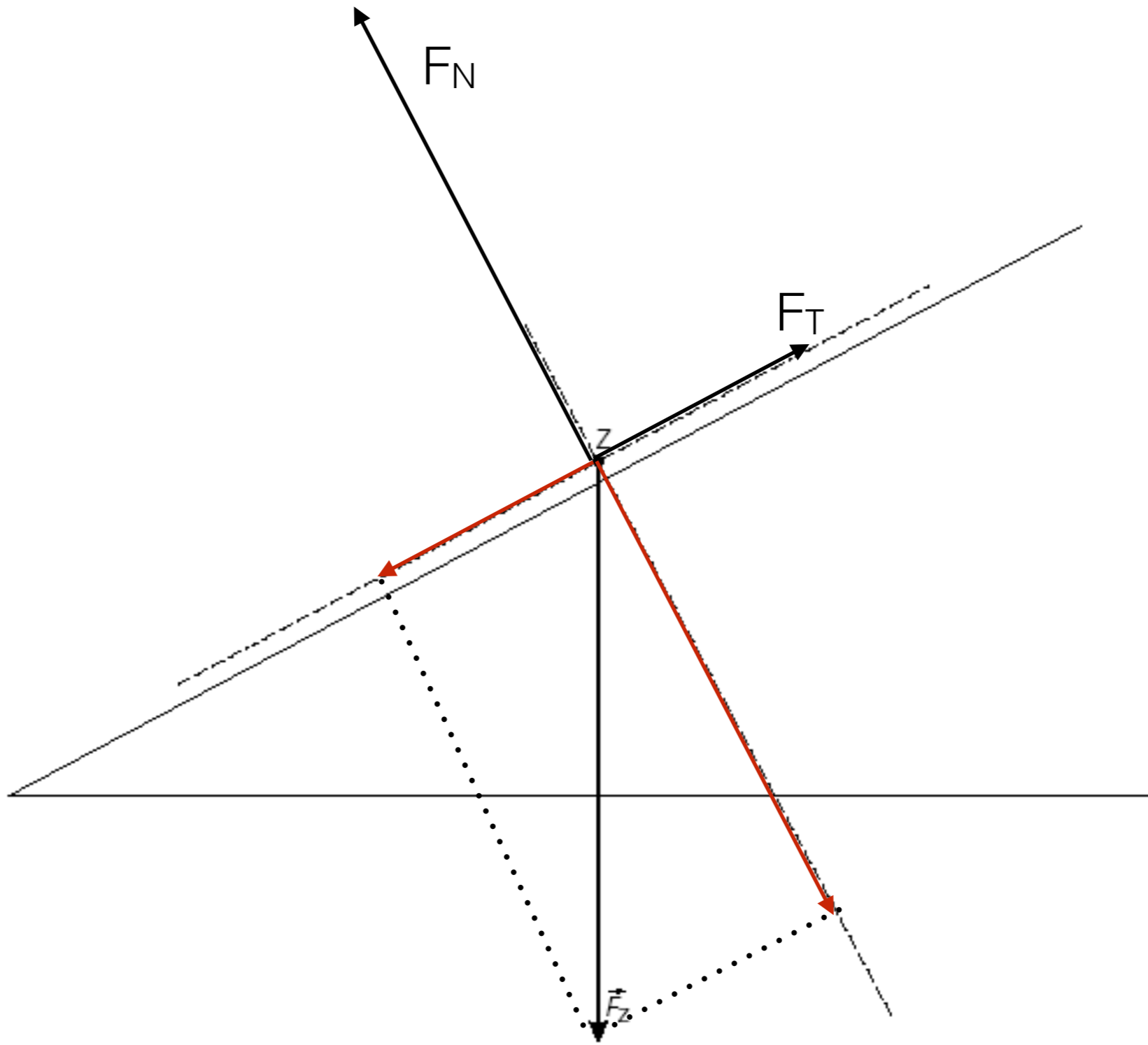
Op de uitwerkbijlage is de helling getekend met daarop aangegeven het zwaartepunt van de trein.

De zwaartekracht  $F_Z$  op de trein is met een pijl weergegeven.

Uit figuur 5 blijkt dat de snelheid van de trein na enige tijd constant wordt.

De hellingshoek van het hele traject is  $28^\circ$ . De wrijvingskracht op de trein is 6,0 kN.

- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de overige krachten die bij deze constante snelheid op de trein werken in de juiste verhouding tot de zwaartekracht. Bereken daartoe eerst de krachtenschaal. Laat alle krachten aangrijpen in het zwaartepunt Z.



Wat toetst deze vraag?

En is dit wel een natuurkunde opgave?

Hoe laat je een vraag over dit onderwerp  
meer modellerend en onderzoekend zijn?

# Bergtrein

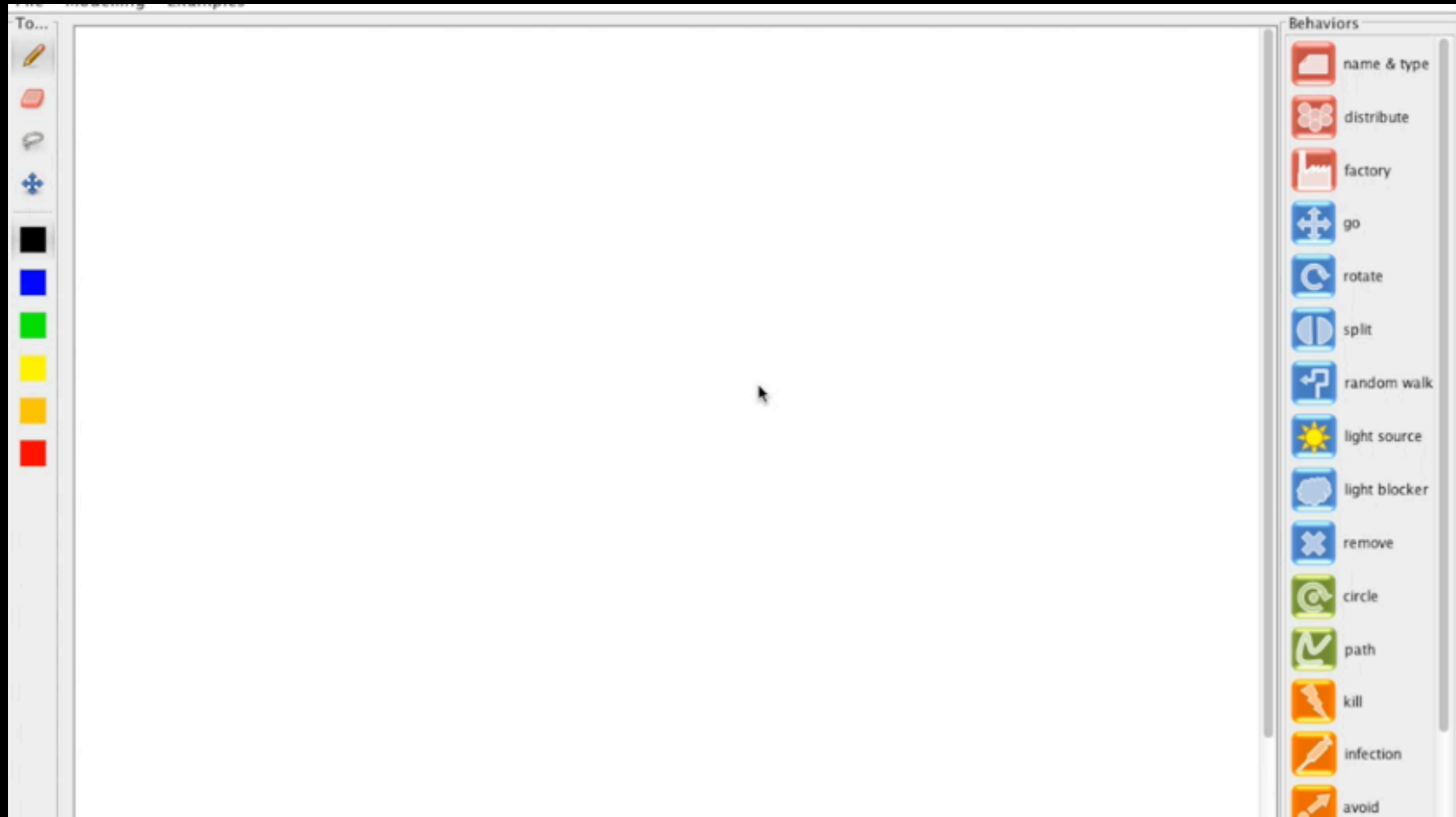
In een bergachtig gebied kunnen toeristen met een bergtrein naar een mooi uitzichtpunt reizen. De trein wordt aangedreven door een elektromotor en begint aan een rit naar boven.

We willen de beweging van de trein beschrijven, met name hoe hij optrekt. Op een bepaald moment bereikt de trein een constante snelheid.

- Welke grootheden spelen een rol bij de beweging van de trein?
- Welke dingen kun je aannemen over die beweging? Denk hierbij vooral aan de toestand bij de start en het moment dat de trein een constante snelheid behaalt.
- Schets wat volgens jou een redelijk verloop van de *versnelling*, de *snelheid*, en de *plaats* van de trein over de tijd. Leg uit dat die schetsen overeenstemmen met je aannames.
- Laat zien dat de grafieken consistent zijn met elkaar.
- Maak een model dat de beweging van de bergtrein beschrijft en gebruik dat model om het benodigde vermogen van de elektromotor van de trein te berekenen.

Modeltekenen

# Modeltekenen?



# Basisproces

- Denk en analyseer het fenomeen
- Maak een schets
- Geef gedrag aan onderdelen
- Simuleer het model
- Evalueer en reviseer het model
- Reflecteer op het model en het proces



# Een fenomeen

SHOCKWAVE TRAFFIC JAMS  
RECREATED FOR FIRST TIME

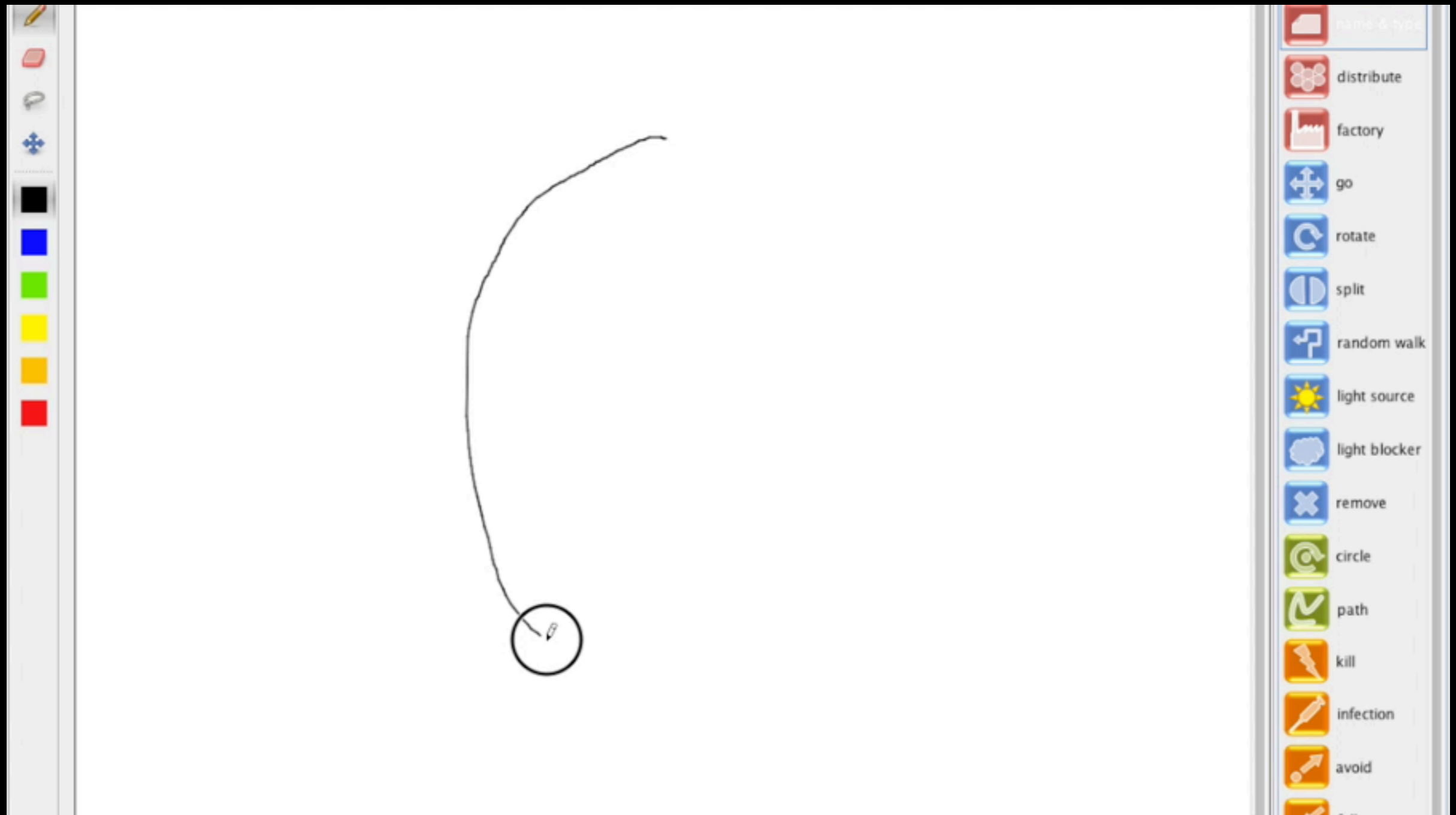
Footage courtesy of  
University of Nagoya,  
Nagoya, Japan

# Vragen

- Kun je dit verklaren en begrijpen met een model?
- Wat zijn de essentiële elementen in het model
- Zijn er kritische waarden in het model waarbij het verschijnsel optreedt?



# Mijn oplossing



# Discussie

- Hoe verklaart het model nu het fenomeen?
- Wat begrijpen we nu echt?
- Wat zijn de beperkingen van het model?
- Hoe kunnen we het model toetsen?
- Hoe verhoudt het model zich tot de werkelijkheid?

# Ander voorbeeld



Taal van de natuurwetenschap

Representatie van de werkelijkheid

# Modellen

Redeneergereedschap

Unificatie

Vereenvoudiging

@woutervj

[w.r.vanjoolingen@uu.nl](mailto:w.r.vanjoolingen@uu.nl)

Dank U!

[www.vanjoolingen.nl](http://www.vanjoolingen.nl)

[www.modeldrawing.eu](http://www.modeldrawing.eu)