

Klassische Physik 1

Johannes Blümer

WS 2014/15

V15 09.12.2014

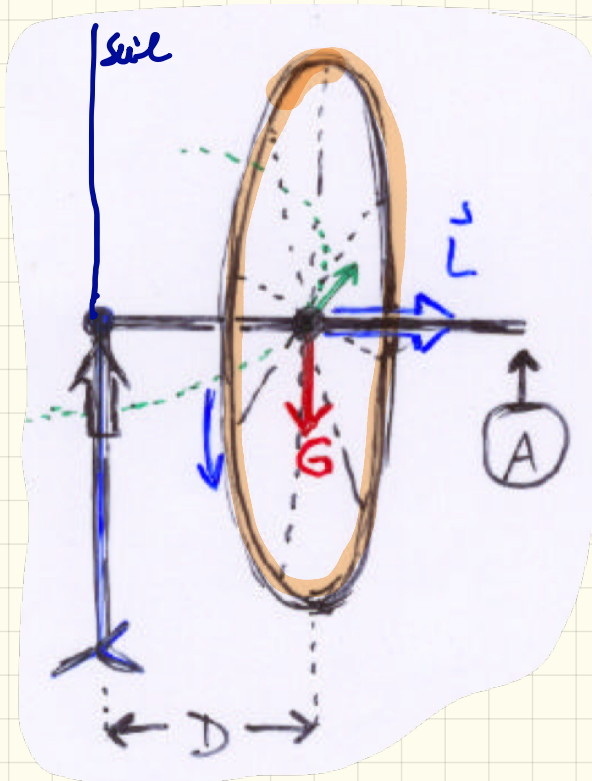
KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Bewegung starrer Körper

	Translation	Rotation
Lage, Position	Ortsvektor $\vec{r}$	Drehachse, Drehwinkel
Geschwindigkeit	$\vec{v} = d\vec{r}/dt = \dot{\vec{r}}$	$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \dot{\vec{\varphi}}$
Beschleunigung	$a = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{r}}$	$\vec{\dot{\omega}} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2} = \ddot{\vec{\varphi}}$
Masse	m	Trägheitsmoment $J = \int r^2 dm$
kin. Energie	$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$	$E_{rot} = \frac{1}{2} J \omega^2$
Impuls	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	Drehimpuls $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$
Kraft	$\vec{F}$	Drehmoment $\vec{M}$
Bewegungsgl.	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$	$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \times \vec{F}$
Arbeit	$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$	$W = \int \vec{M} d\vec{\varphi}$

'Kreisel'



Kreiselbewegungen = Drehbewegungen mit veränderlicher Drehachse

$$\vec{G} = m\vec{g} \text{ "nach unten"}$$

▶ stehendes Rad : „kippt um“

▶ drehendes Rad:

$\vec{L}$ groß

$\vec{G}$ führt zu Drehmoment $\vec{M}$ in Zeichenebene

$d\vec{L} = \vec{M} dt$ mit $\vec{M} \perp \vec{L}$
 ↪ Drehung von $\vec{L}$: „Präzession“

$$dL = M dt = mgD dt = L \frac{d\varphi}{dt} \rightarrow \frac{d\varphi}{dt} = \frac{mgD}{L} = \omega_p \text{ Kreisfreq. der Präzession}$$

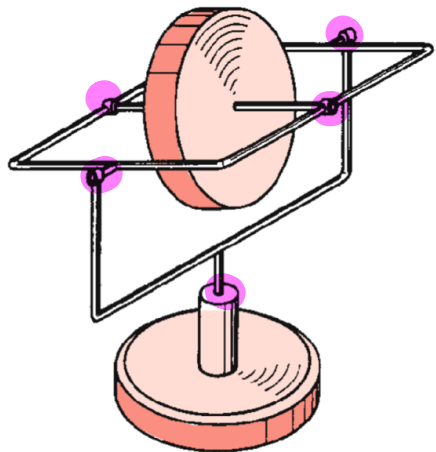


Abb. 5.41. Kardanisch aufgehängter Kreisel

[Drehtröder]

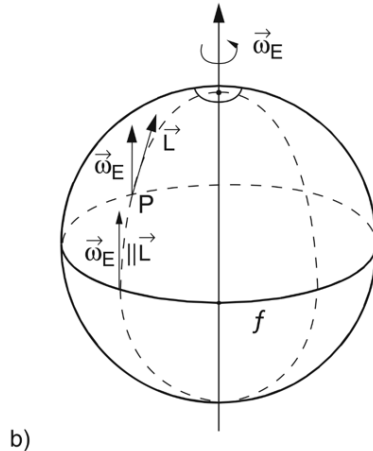
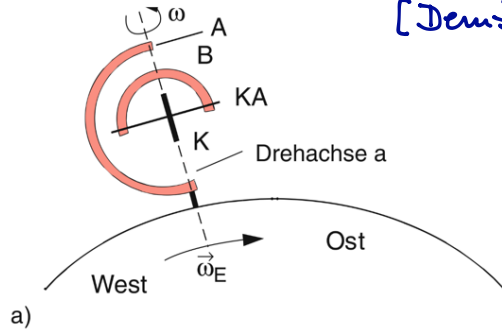


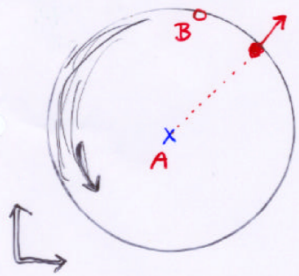
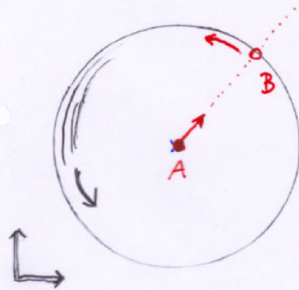
Abb. 5.42a,b. Kreiselkompass: (a) Aufhängung, (b) Richtung von $\vec{L}$ und $\vec{\omega}_E$ am Äquator (Ä) und in höheren Breiten

Zu seinem Verständnis betrachten wir in Abb. 5.42 einen Kreisel, dessen Achse in einem Bügel B gelagert ist, der sich um eine vertikale Achse a durch den Aufhängepunkt A drehen kann. Die Kreiselachse KA selbst kann sich also nur in einer horizontalen Ebene drehen (gefesselter Kreisel). Der Schwerpunkt liegt unter dem Punkt A . Im Gegensatz zu einem freien kräftefreien Kreisel, der seine mit der Drehimpulsrichtung zusammenfallende Figurenachse zeitlich konstant halten würde, ist bei unserem gefesselten Kreisel die Aufhängeachse a starr mit der Erde verbunden, sie nimmt also an der Erdrotation teil und dreht sich mit deren Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}_E$. Dadurch wirkt ein Drehmoment $\vec{D}$ senkrecht zur Zeichenebene auf den Kreisel, der sich so lange um die Achse a dreht, bis die Kreiselachse parallel zu $\vec{\omega}_E$ steht, also in Nord-Süd-

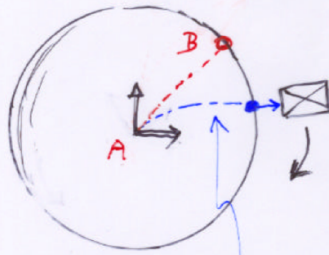
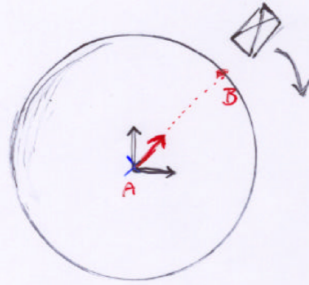
Richtung zeigt. Dann sind Drehimpulsvektor $\vec{L}$ und die Richtung der Zwangsdrehung $\vec{\omega}_E$ parallel (Abb. 5.42b), und damit wird das Drehmoment für die mögliche Drehung der Kreiselachse Null. Man kann sich dieses Verhalten am kardanischen Kreisel klar machen, indem man die Erdrotation durch eine Drehung des äußeren Ringes in Abb. 5.41 simuliert. Die Kreiselachse stellt sich dann senkrecht ein.

Am Äquator sind $\vec{\omega}_E$ und $\vec{L}$ parallel, in einem Punkt P auf einem anderen Breitenkreis ist dies nicht mehr möglich, da $\vec{L}$ ja nur in einer horizontalen Ebene liegen kann. Jedoch stellt sich auch hier der Kreisel so ein, dass die Komponente von $\vec{L}$ in Richtung $\vec{\omega}_E$ maximal wird. Dann zeigt $\vec{L}$ in Richtung des Längsmeridians, also wieder nach Norden. Nur an den beiden Polen versagt der Kreisel, da hier $\vec{L}$ immer senkrecht zu $\vec{\omega}_E$ steht [5.4].

Corioliskraft



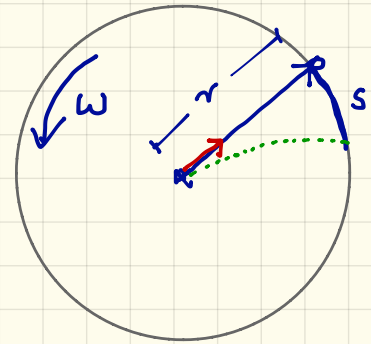
Inertialsystem



Ablenkung von gerader
Bahn durch Corioliskraft

Bezugssystem der
rotierenden Scheibe

☒ "Außenwelt rotiert"



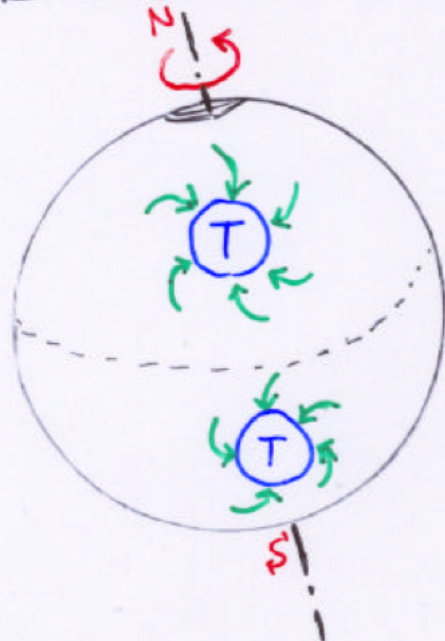
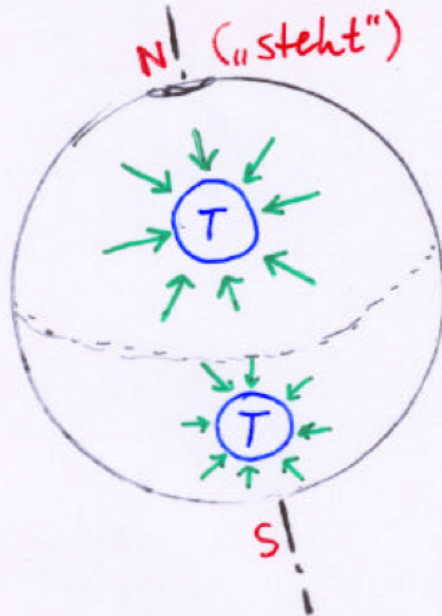
t Zeit bis zum Erreichen
des Radius r

in t hat sich der anfängl.
angewesene Punkt um
s weiter bewegt
 $s = r\omega t = r\omega t^2$

↳ Verursacht durch "Coriolis"-
Beschl. a_c : $s = \frac{1}{2} a_c t^2$

↳ $a_c = 2v\omega$; $F_c = 2m v\omega$
Corioliskraft

Corioliskraft wichtig für Wetter !



Gravitation Planeten ... | Kepler Brahe Newton

Archimedes

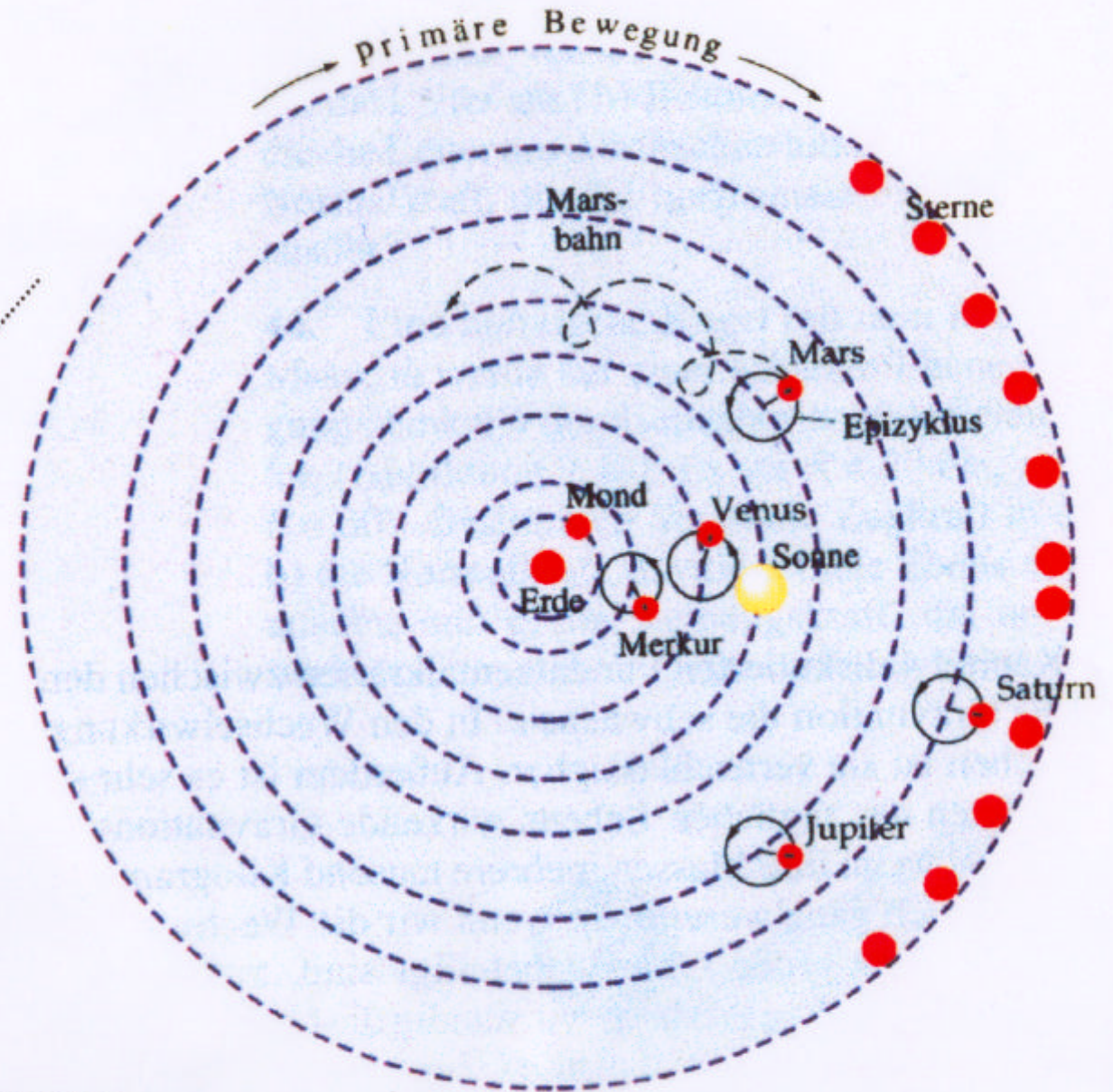
287-212 v.Chr

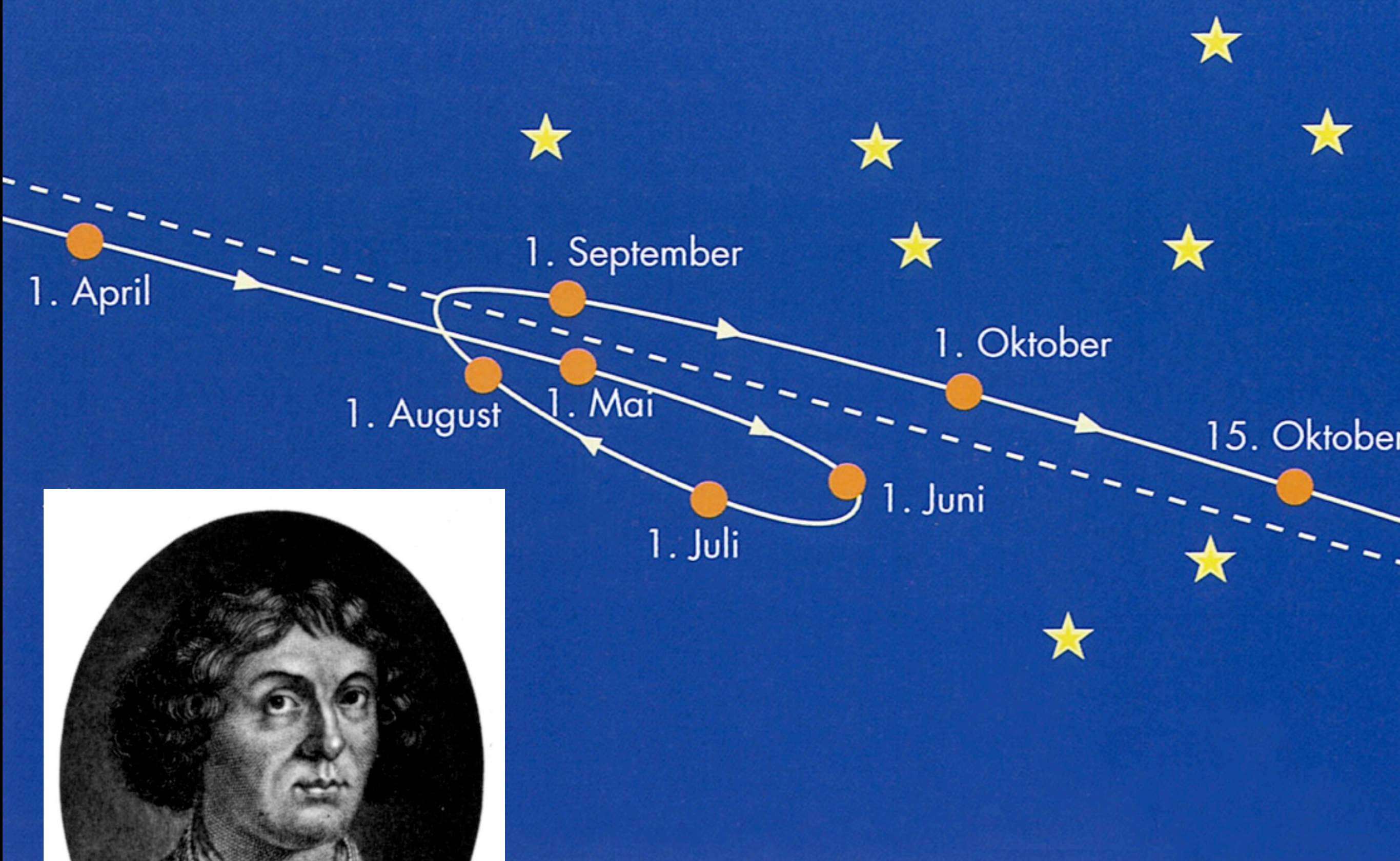
Problem großer
Zahlen im
römischen
System...!



Ptolemäus

140 n.Chr.





Kopernikus

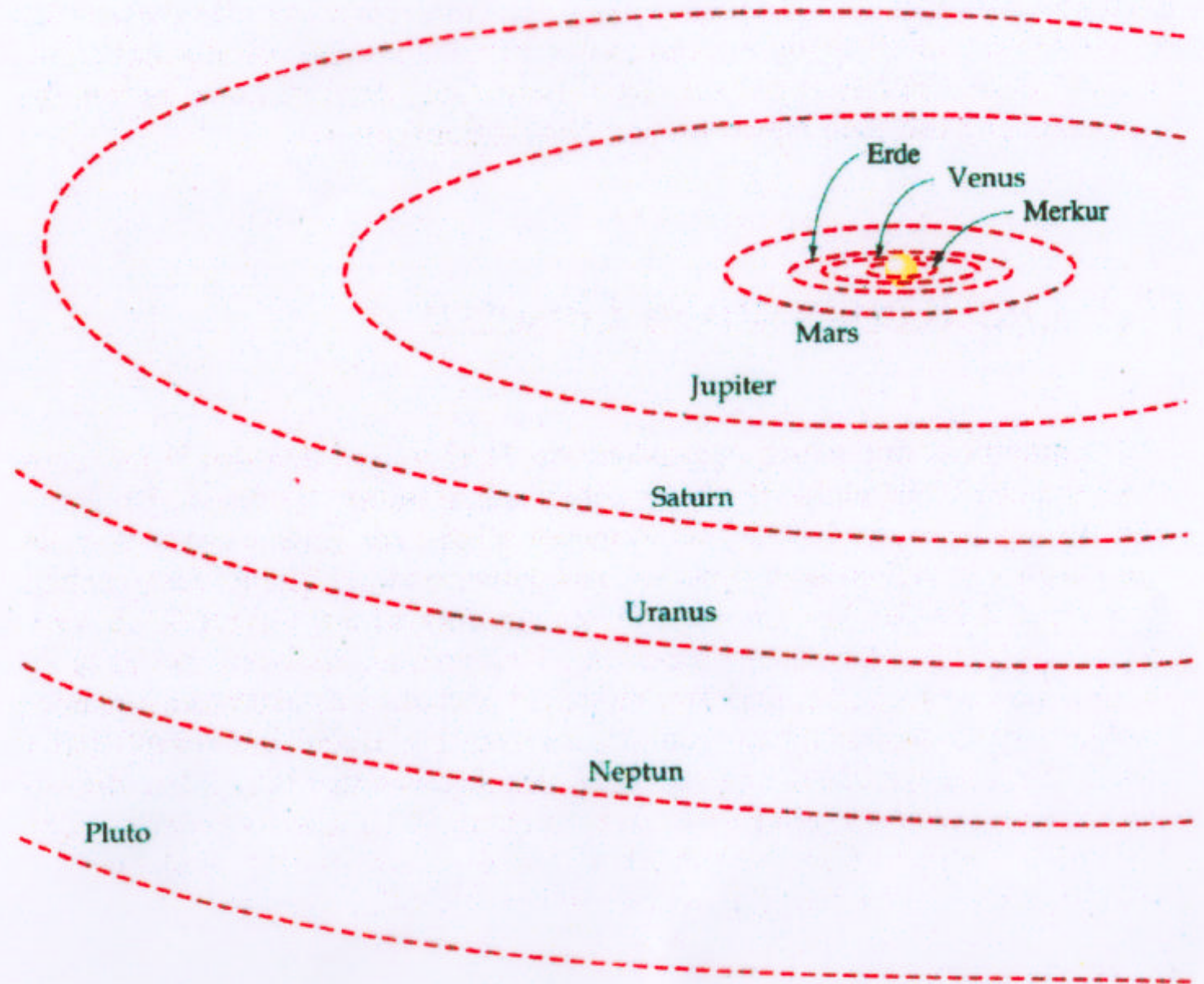


Kopernikus

1473-1543

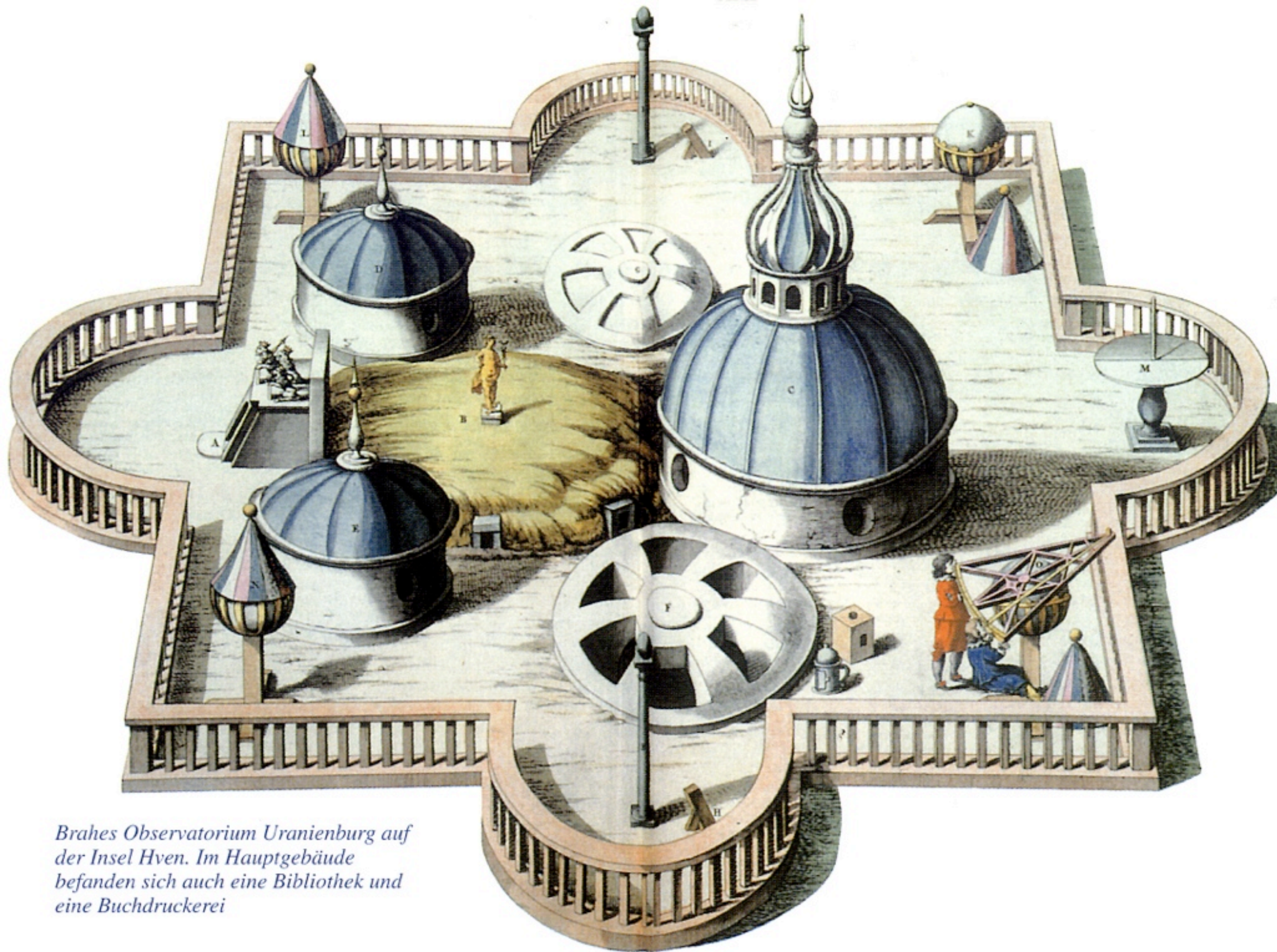
Kepler

1571-1630

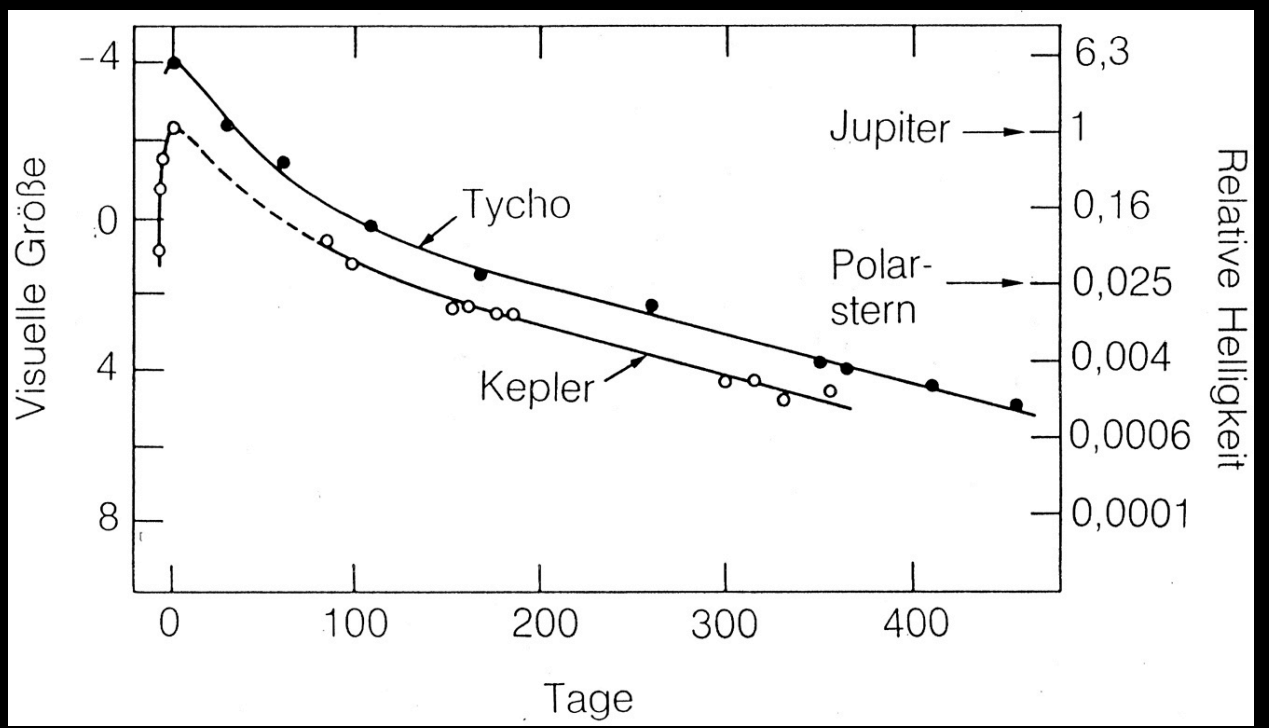
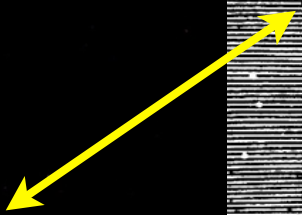
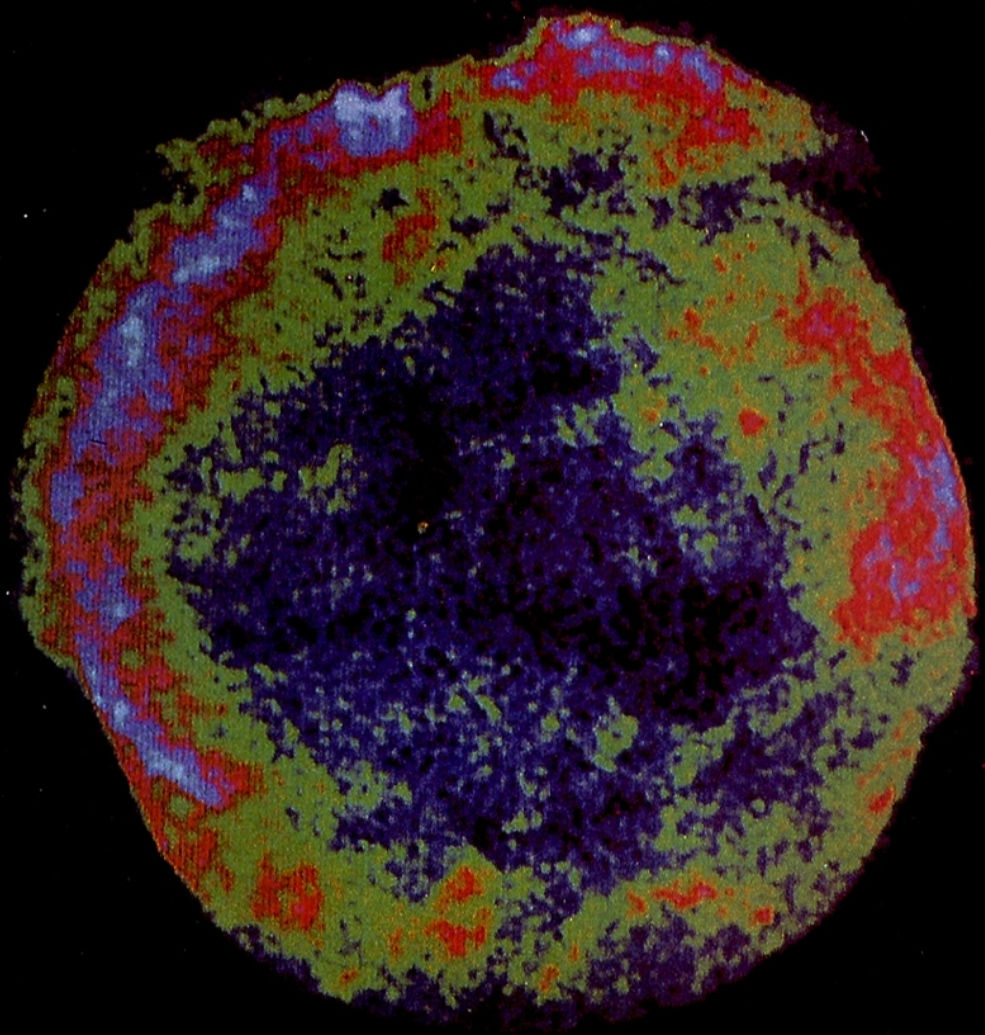




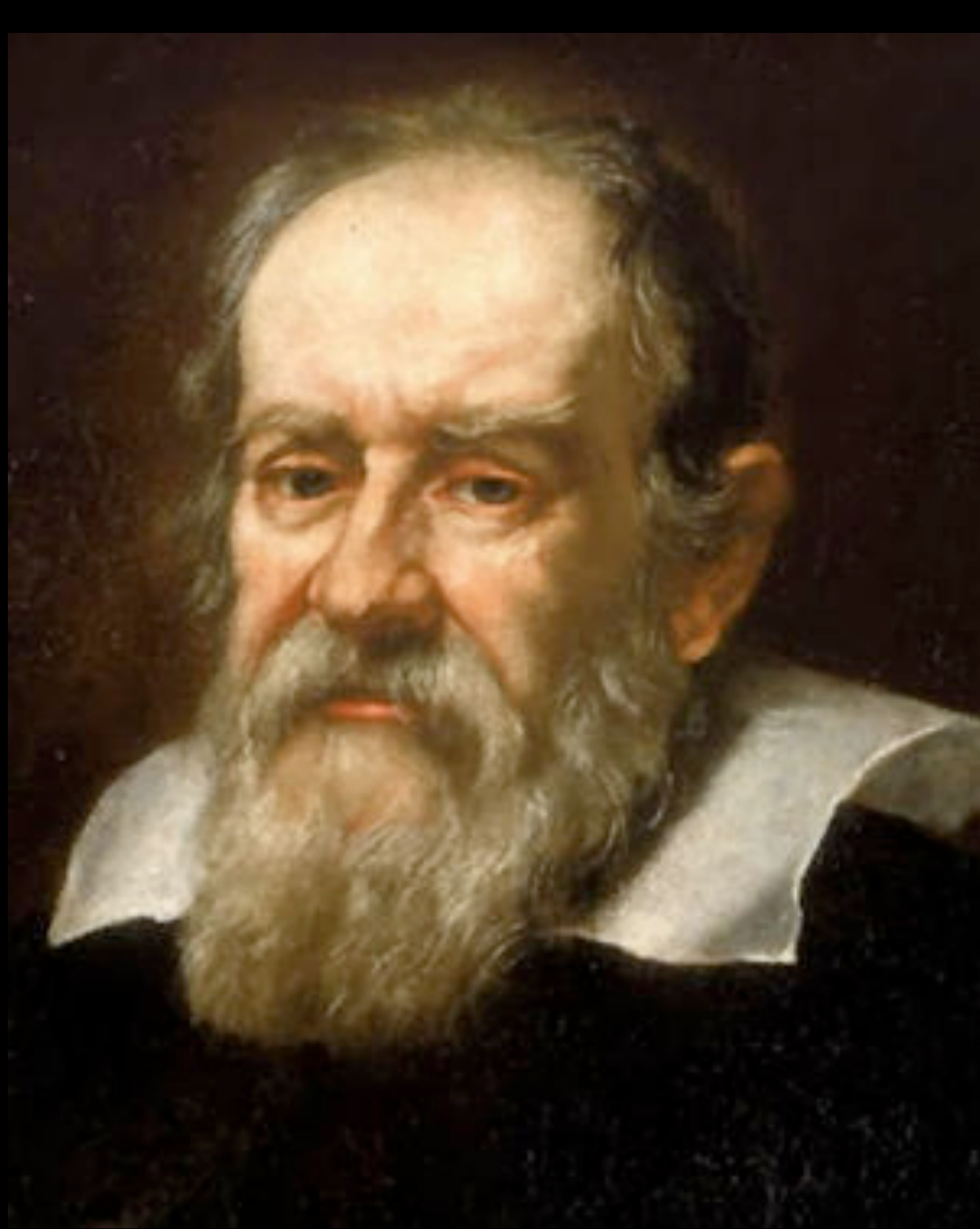
Brahe



*Brahes Observatorium Uranienburg auf
der Insel Hven. Im Hauptgebäude
befanden sich auch eine Bibliothek und
eine Buchdruckerei*

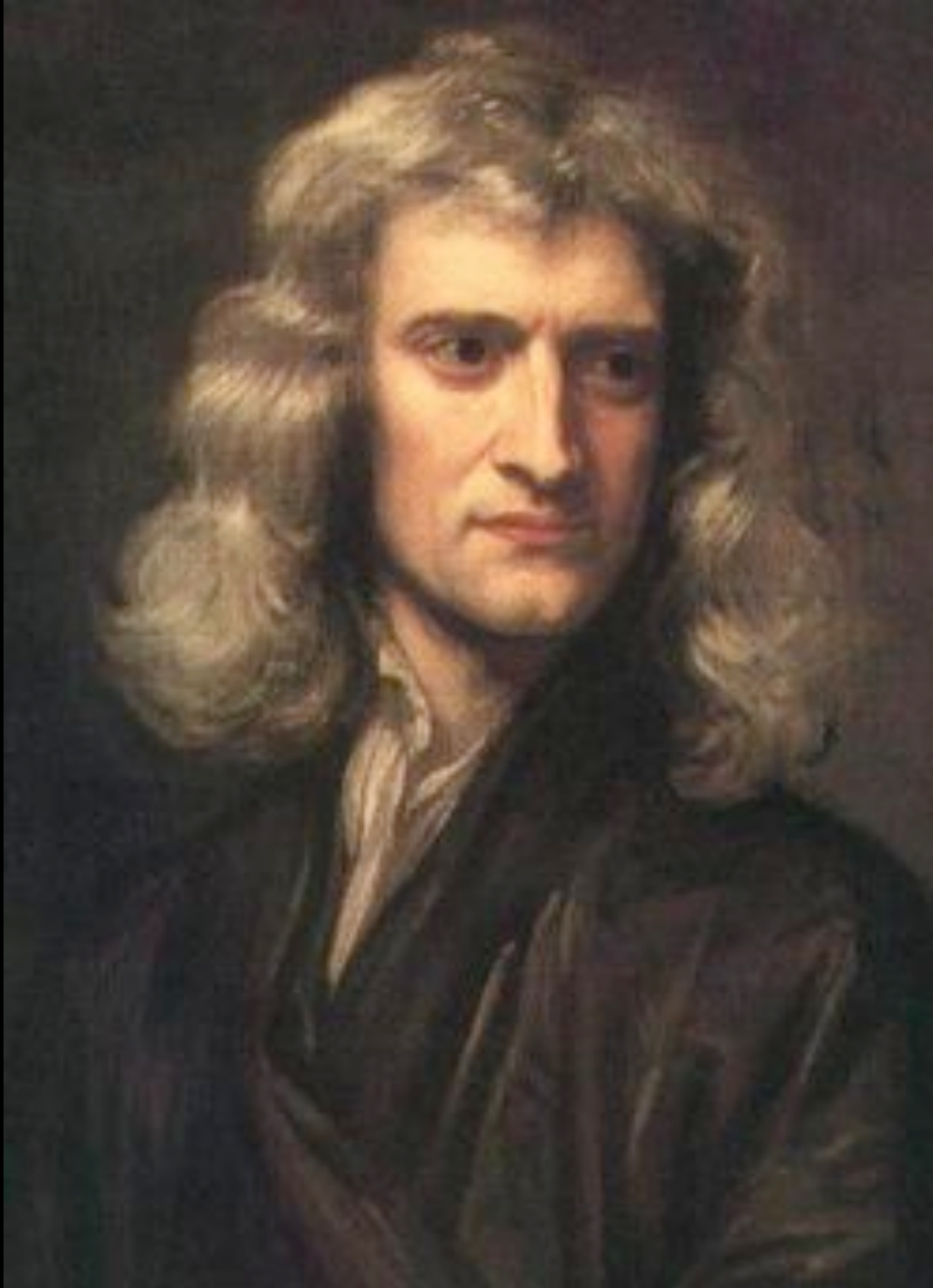


Supernovae...

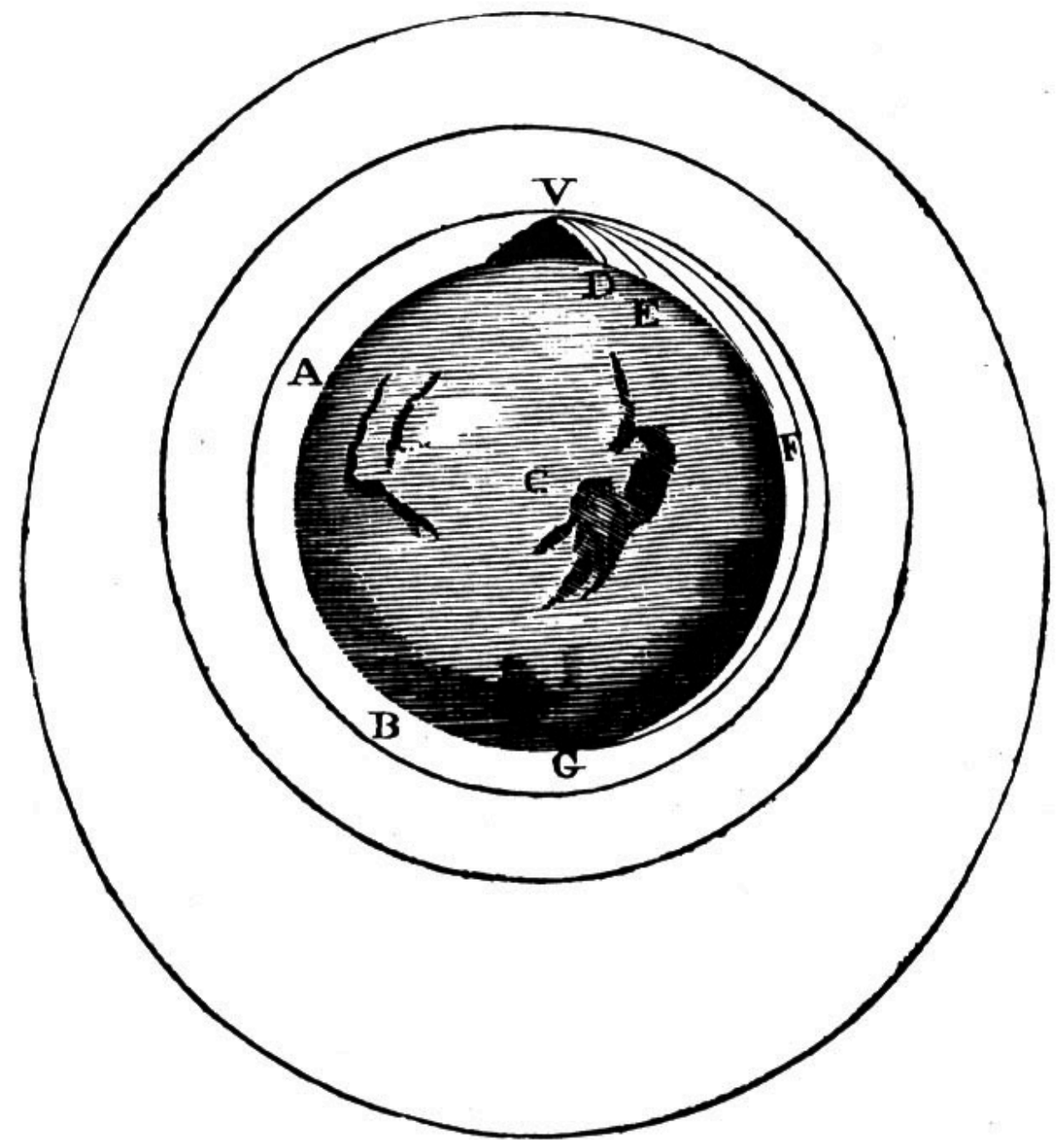


Galileo

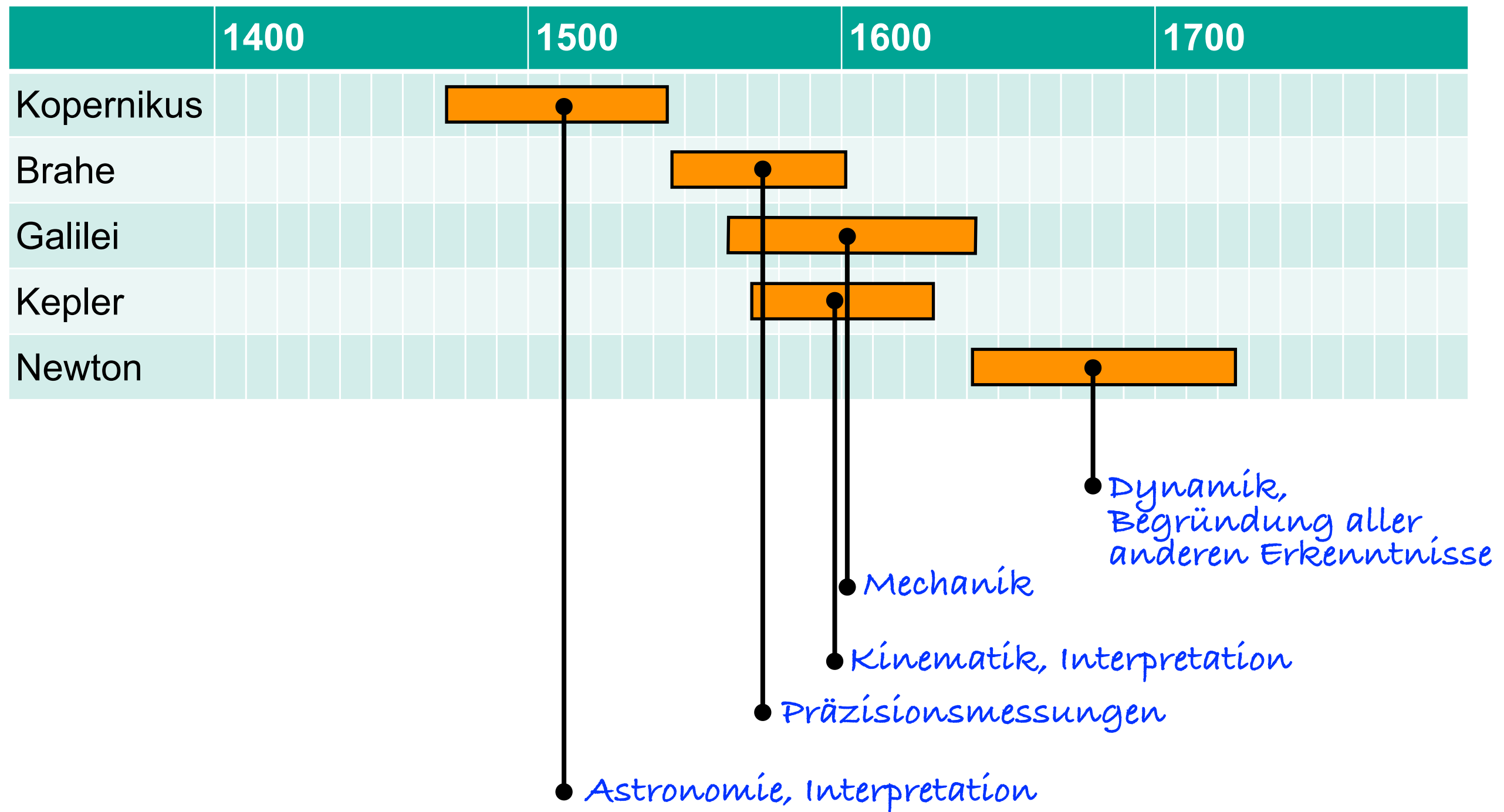




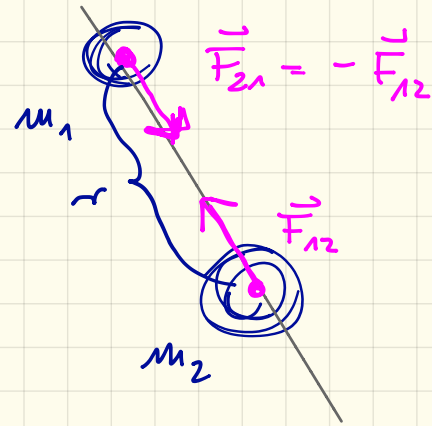
Newton



3.25 Zeichnung aus dem 3. *Buch* von Newtons *Principia*. (Die ursprüngliche Ausgabe erschien 1687, die Zeichnung stammt aus einer von A. Motte bearbeiteten Fassung von 1728.) Dargestellt ist der Zusammenhang zwischen Wurfbewegung und Satellitenbewegung.



Newton: Jeder Körper übt eine anziehende Kraft auf jeden anderen Körper aus



$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

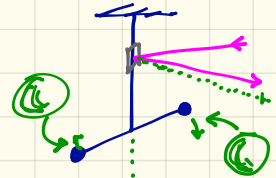
$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

└ Cavendish 1798 *schwierig*

2 Körper von je 1 kg in 10 cm Abstand üben eine Kraft von $6,67 \times 10^{-9} \text{ N}$ aus

Messung mit
Torsionswaage



G heute noch schwierig zu messen

Gravitation[s-kraft] ist nicht materialabhängig

Träge Masse = Schwere Masse auf $< 10^{-12}$

"spukhafte" Fernwirkung vermeiden $\rightarrow$ gravitationsfeld

m stets $\geq 0 \rightarrow$ gravitation ist immer anziehend

Kepler's Gesetze:

K1: Planetenbahnen sind Ellipsen; die Sonne steht in einem der Brennpunkte ✓

K2: Die Verbindungslinie Sonne - Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen $\hat{=}$ Drehimpulserhaltung

K3: $(\text{Umlaufzeit})^2 \propto (\text{mittl. Aufz. zur Sonne})^3$, $T^2 \propto r^3$
folgt aus Zentralkraft $\propto 1/r^2$

Ellipse = Menge der Punkte, für die die Summe der Entfernungen zu den Brennpunkten konstant ist.

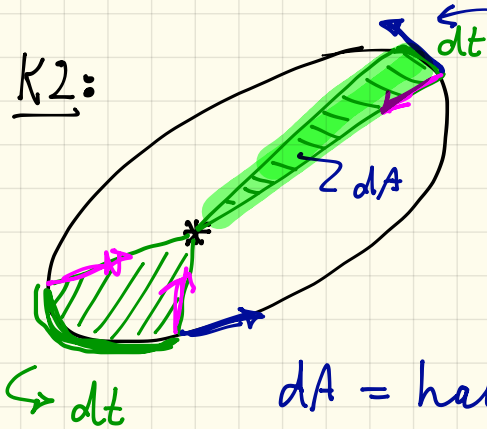
große Halbachse a kleine Halbachse b Exzentrizität ε

$$\tau_{\min} = a(1-\varepsilon) \quad \tau_{\max} = a(1+\varepsilon)$$

$$E(\text{Erdbahn}) = 0.0167$$

Kreis: $E = 0$

K2:


$$\vec{v} dt$$

Gravitation wirkt immer in Richtung zur Sonne
(in $-\vec{r}$ Richtung; kein Drehmoment!)

$$\begin{aligned} dA &= \text{halbe Parallelogrammfläche} \\ &= \frac{1}{2} |\vec{r} \times \vec{v} dt| = \frac{1}{2m} \underbrace{|\vec{r} \times m\vec{v}|}_{L} dt \\ &= \frac{1}{2m} L dt \end{aligned}$$

$$dA = \text{const in det} : L = \text{const}$$

Kepler ————— Drehimpulserhaltung