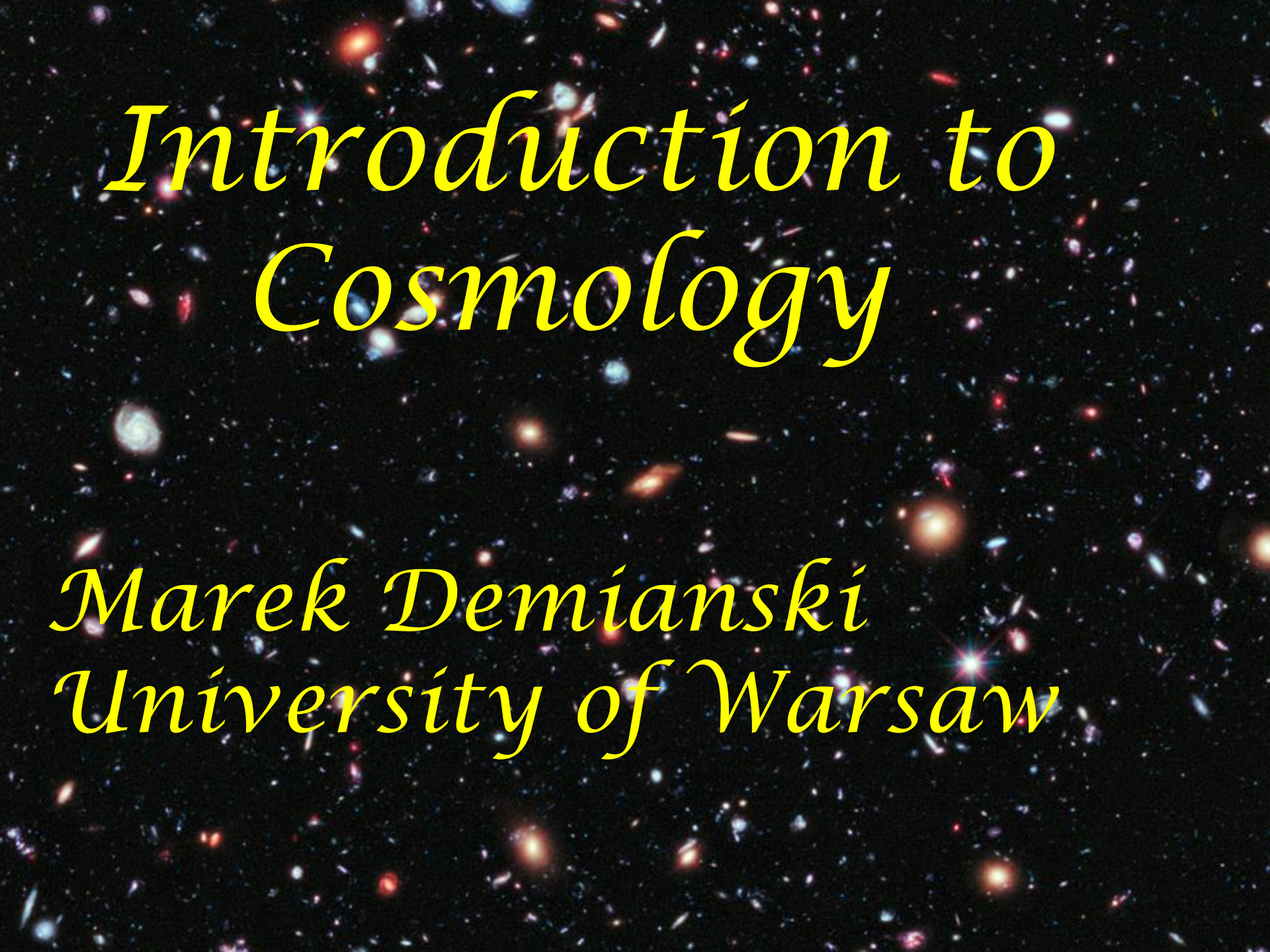

Introduction to
Cosmology
Marek Demianski
University of Warsaw

Marek Demiański

e-mail : Marek.Demianski@fuw.edu.pl

Office: Department of Physis,
Pasteura 5, 5-70

Content of the course:

The celestial sphere, basic astronomical observations

Nature of light, black body radiation, spectra, luminosity distance

Basics of stellar structure and evolution

The Milky Way, basics

The Milky Way as seen by Gaia

Edwin Hubble – the realm of galaxies

Expansion of the universe, Hubble's law

The Friedman-Lemaitre cosmological model

Propagation of light in the evolving universe, redshift, luminosity distance

The problem of initial singularity

The Big Bang model and primordial nucleosynthesis

Basic cosmological parameters

Dark Matter

Dark Energy, the ΛCDM cosmological model

The cosmic microwave background radiation

Very early evolution of the universe, the inflation epoch

Evolution of the primordial density perturbations

Formation of structure in the universe, numerical models

Supermassive black holes

Quasars and Active Galactic Nuclei

Observational tests of the ΛCDM model

Evaluation -

homeworks
final essay or
final written exam

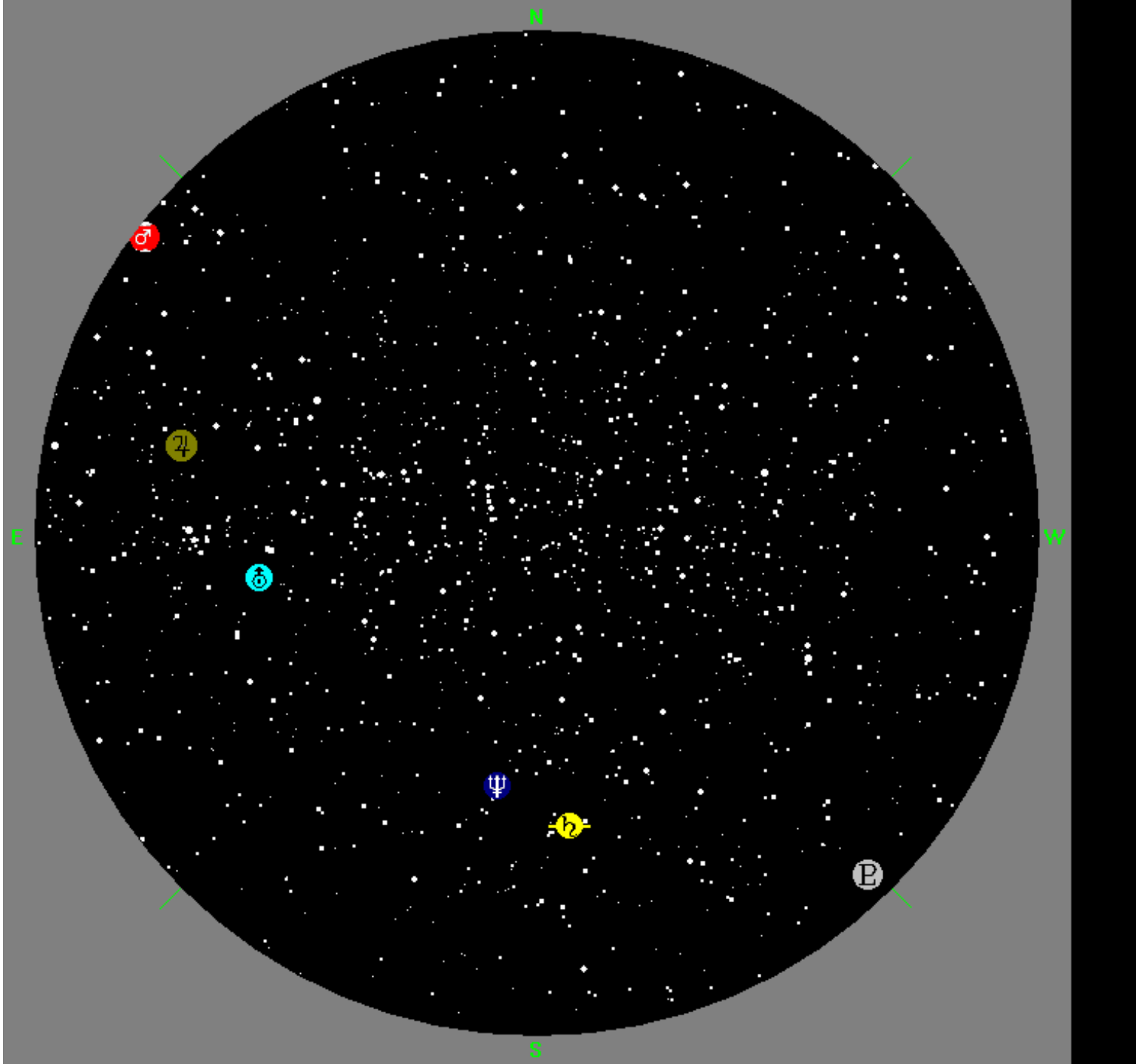
Books:

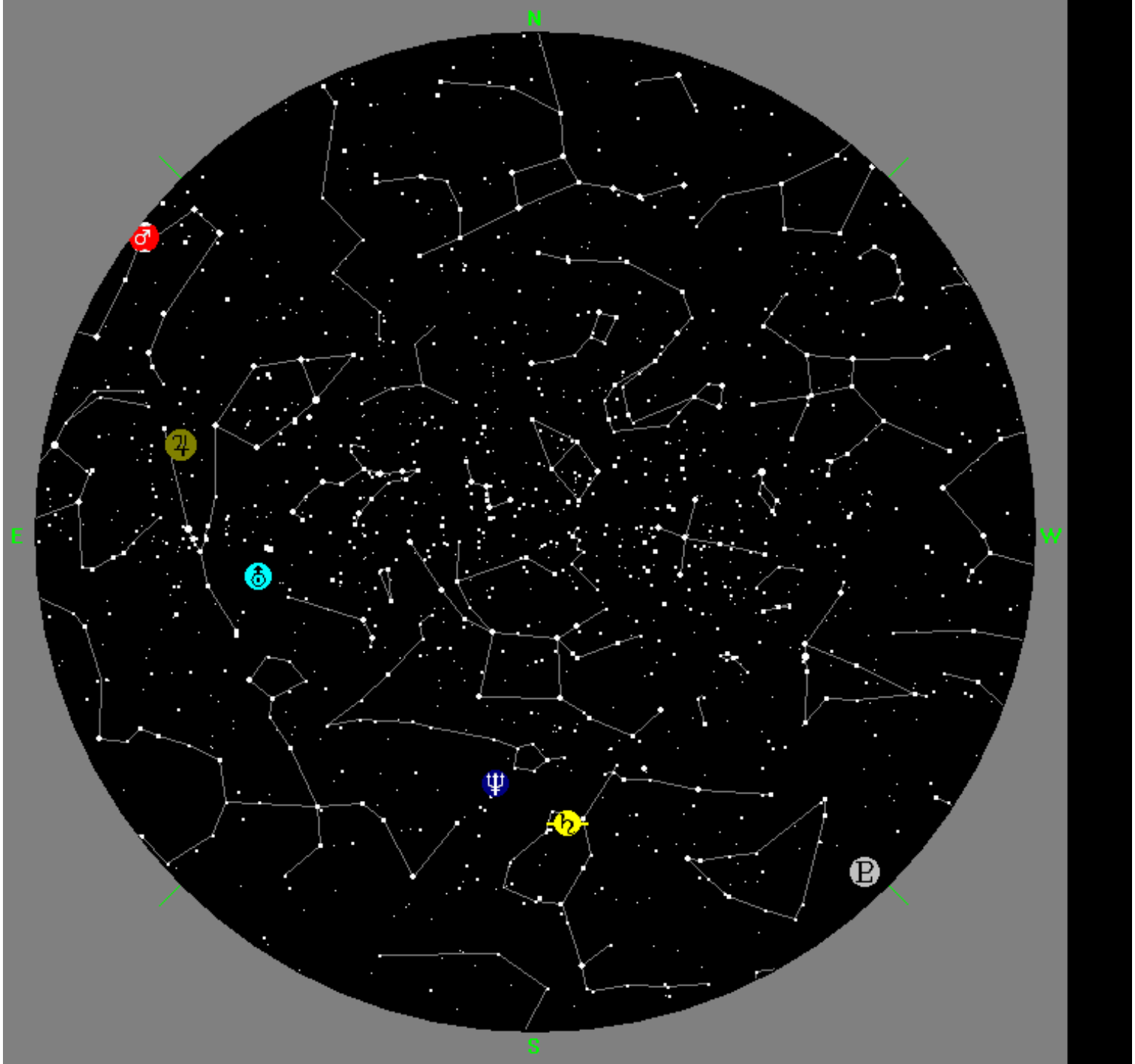
Barbara Ryden, Introduction to Cosmology, Cambridge University Press, 2016

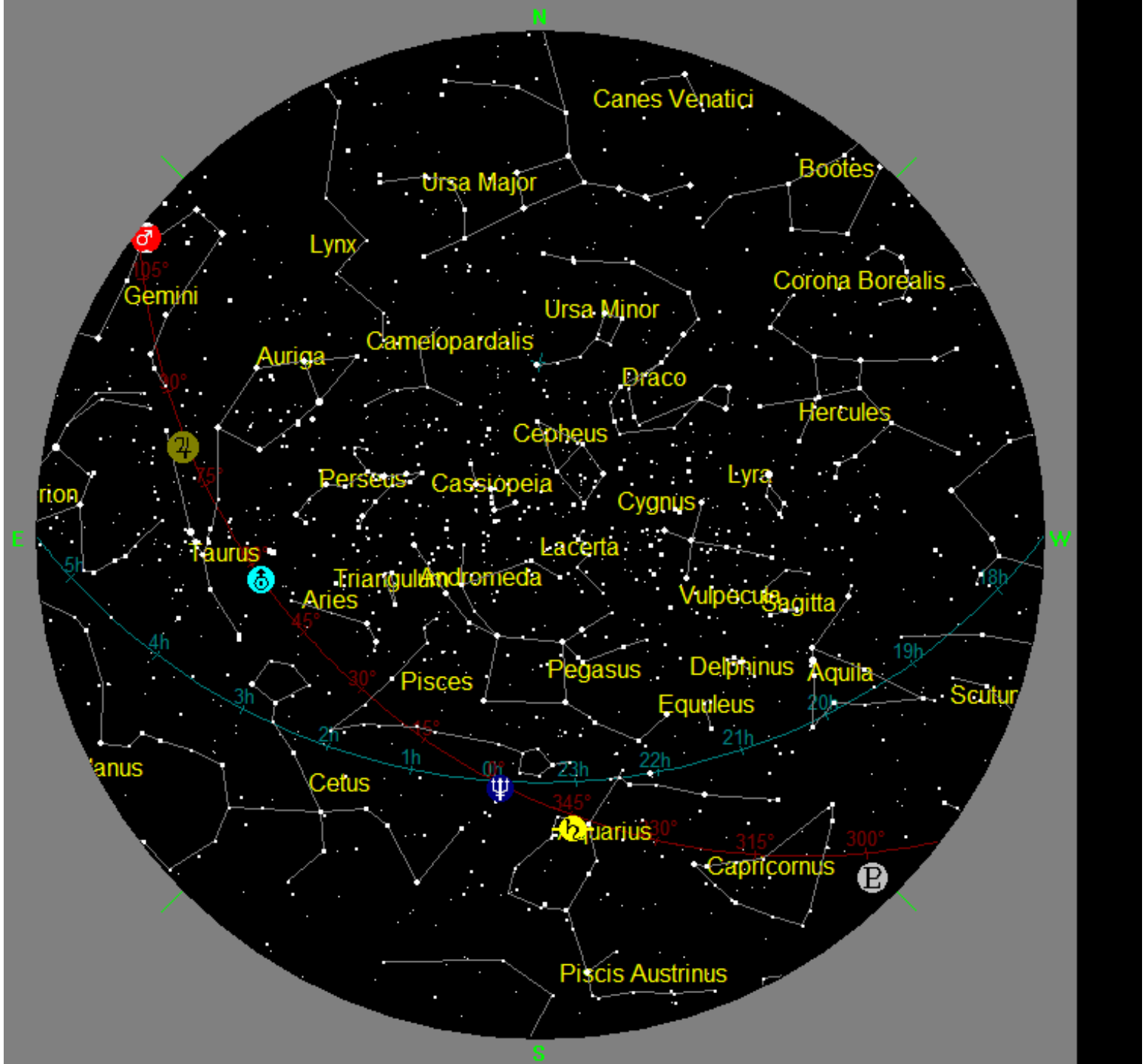
Scott Dodelson and Fabian Schmidt, Modern Cosmology, Academic Press, 2021

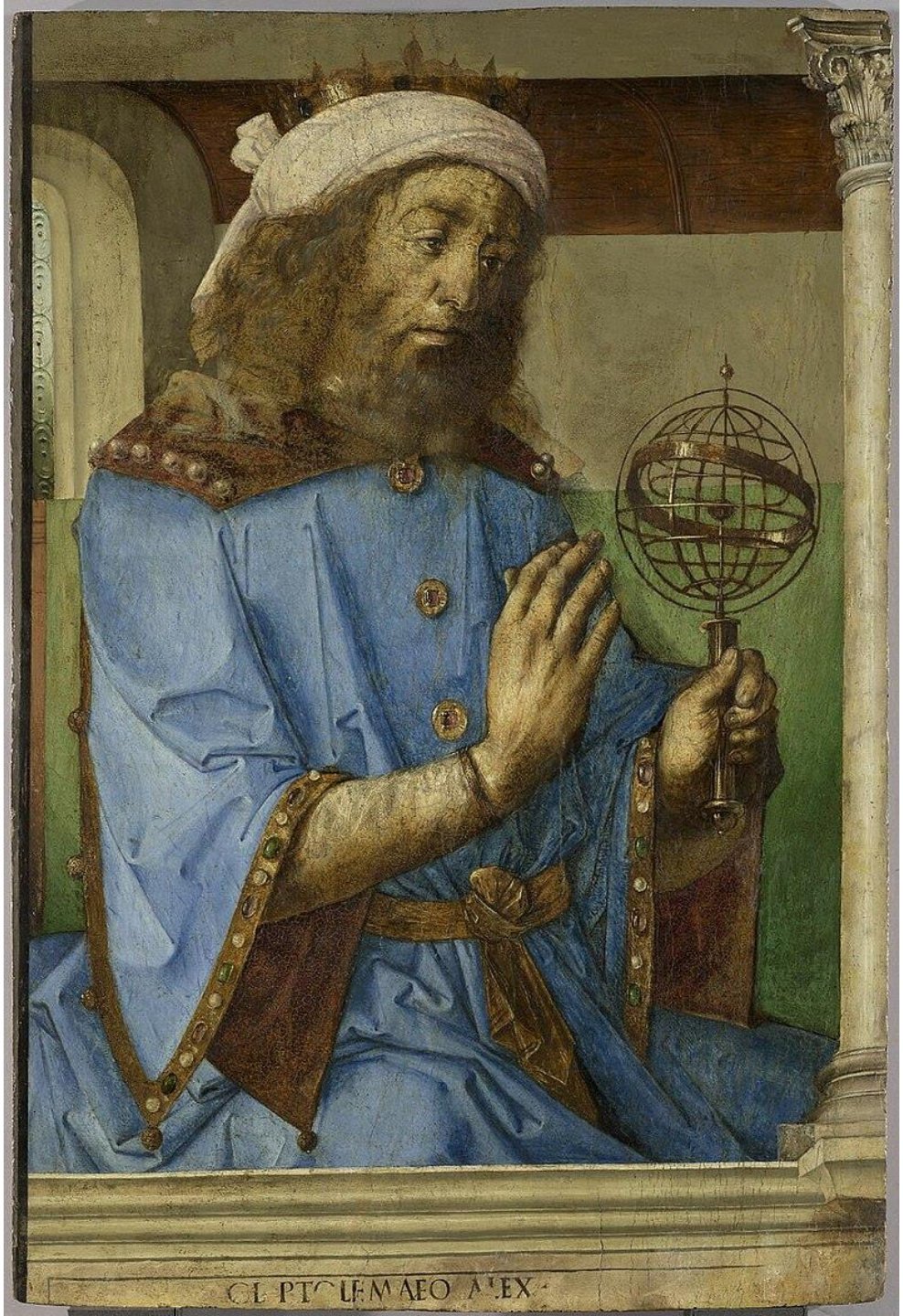
Steven Weinberg, The first three minutes, Basic Books, 1993

and many other

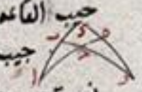

N
E
W
S


N
E
W
S
♂
♃
♁
♇
♄
♓

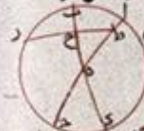

N
E
W
S
Canes Venatici
Ursa Major
Bootes
Lynx
Gemini
Corona Borealis
Ursa Minor
Camelopardalis
Auriga
Draco
Hercules
Cepheus
Perseus
Cassiopeia
Lyra
Cygnus
Taurus
Lacerta
Triangulum
Andromeda
Aries
Vulpecula
Sagitta
Pisces
Pegasus
Delphinus
Aquila
Equuleus
Scutum
Cetus
Aquarius
Capricornus
Piscis Austrinus
105°
90°
75°
45°
30°
15°
0°
345°
330°
315°
300°
5h
4h
3h
2h
1h
23h
22h
21h
20h
19h
18h



Claudius Ptolemy
100 – 170 AD

فرعان فلنعد لبيان ما في الشكل المتقدم ولنخرج د ه ب ح حتى تتلاقيا على ر قطب دايرة ا ه وتتم
القطاع ونقول اما النوع الاول للجيب فهو ان نسبة جيب تمام ب ح وتر زاوية ا الى جيب تمام ا ح
وتر القايمة كنسبة جيب القايمة الى جيب تمام ا ب الضلع الباقي وذلك لان في مثلث ح ه د زاوية ه
ايضا قايمة لان ا قطب د ر فنسبة جيب د ح الذي هو تمام ب ح الى جيب ح ه الذي هو تمام ا ح كنسبة
جيب القايمة الى جيب زاوية د اعني جيب د ب الذي هو الذي هو تمام ا ب واما النوع الثاني فهو ان نسبة

جيب تمام زاوية ا الى جيب تمام ب ح وترها كنسبة جيب زاوية ح الى جيب القايمة وذلك لان
نسبة جيب ه ر الذي هو تمام زاوية ا الى جيب ح ر الذي هو تمام ضلع ب ح كنسبة جيب زاوية ح الى
جيب القايمة واما النوع الاول للظل فهو ان نسبة جيب تمام زاوية ا الى جيب القايمة كنسبة
ظل تمام ا ح الى ظل تمام ا ب وذلك لان في مثلث ر ح نسبة جيب ح ه تمام ا ح الى جيب القايمة كنسبة
ظل ه ر الذي هو تمام زاوية ا الى ظل زاوية د ح فهذا ما اردنا ولنعد الى الكتاب

يج في معرفة الميول الجزئية

لاجزاء منطقة البروج عن معدل النهار وهي القسي يقع بينهما من داير
عظيمة تمر بقطبي معدل النهار وبجزء مفروض من منطقة البروج وتسمى هذه الدايرة الميل وهي
كدايرة نصف النهار لولا وجوب مرور نصف النهار بقطبي الافق فليكن ا ب ح د المارة بالاقطاب
الاربعة وا ه ح نصف معدل النهار وب ه د نصف فلك البروج وه الاعتدال الربيعي وب الانقلاب
الشتوي ود الانقلاب الصيفي ور قطب معدل النهار وه ح مثلثين جزوا من فلك البروج ولنمر
قوس ر ط بقطبي ر ح من العظام فح ط ميل قوس ه ح المطلوب معرفته فلان في قطاع ه ا ر ح نسبة جيب
ر ا الربع الى جيب ا ب غاية الميل مولفة من نسبة جيب ر ط الربع الى جيب ط ح المطلوب ونسبة
جيب ه ح مثلثين جزوا الى جيب ه ب الربع وكان من الجيوب الستة خمسة معلومة ثلثة
منها نصف القطر واحد جيب غاية الميل وهو [illegible] على ان غاية الميل

هو ما اتفقنا عليه من نسبة احد عشر الى ثلثمئة وثمانين ومقداره [illegible] و
الخامس جيب ه ح وهو ايضا ثلثون فاذا القينا النسبة الثانية عن المولفة
بقيت النسبة الاولى نسبة نصف القطر الى [illegible] وهو جيب الميل فالميل [illegible] بالتقريب اقول
لما كان الاول من المقادير الستة في هذه النسبة مساويا للثالث وهما بنصف كانت نسبة الثاني
جيب غاية الميل الى الرابع جيب ط ح كنسبة السادس الجيب كله الى الخامس جيب الثلثين وبالمعنى
نسبة جيب ه ح الى جيب ط ح كنسبة الجيب كله الى جيب زاوية ه وبالظلي نسبة جيب تمام زاوية ه
الى الجيب كله كنسبة ظل تمام ه ح الى ظل تمام ه ط للنوع الاول فه ط معلوم ونسبة جيبه
الى الجيب كله كنسبة ظل ط ح الى ظل زاوية ه فط ح معلوم واعود الى الكتاب قال وليضع قوس
ه ح

ه ح ستين فيكون جيبه [illegible] ويكون جيب الميل [illegible] والميل [illegible] وعلى هذا المثال حسبنا لجزء جزء من
الربع ووضعنا الجميع في الجداول وميول اجزاء ساير الارباع كمثل هذا الربع وهذا هو الجدول

يد في مطالع الكرة المنتصبة

وهي ما يقع من
معدل النهار بين نقطة التقاطع وبين دواير الميول المارة
باجزاء مفروضة من فلك البروج وبها يعرف مقادير الازمان التي
تمر فيها اجزاء فلك البروج على نصف النهار في جميع الافق
الكرة منتصبة هي احدى تلك الدواير فلذلك عرف بها × لنعد
الشكل المتقدم بعينه والمطلوب ها هنا معرفة قوس ه ط
من قوس ه ح ففي القطاع المذكور نسبة جيب ر ب الى جيب
ب ا مولفة من نسبة جيب ر ح الى جيب ح ط ومن نسبة
ط ه الى جيب ه ا وقوس ر ب [illegible] جيبه [illegible] وقوس ر ح
[illegible] وجيبه [illegible] وقوس ح ط جيبه ما مر وه ا الربع فاذا
القينا النسبة الاولى المولفة نقف النسبة الثانية نسبة [illegible]
الى [illegible] وهي نسبة [illegible] جيب المطالع الى نصف القطر
فاذن قوس ه ط [illegible] اقول بالمعنى نسبة جيب تمام ح ط
الى جيب تمام ه ح كنسبة الجيب كله الى جيب تمام ه ط للنوع
الاول واما بالظل فلما مر قال وليضع ه ح ستين فيصير
ر ح [illegible] جيبه [illegible] و ح ط وجيبه ما مر والباقية على حاله
نسبة جيب ه ط الى جيب ه ا
نسبة [illegible] الى [illegible] فيكون
جيب ه ط [illegible] وقوسه [illegible]

وظهر ان زمان طلوع البرج الثاني [illegible] فبقي زمان طلوع البرج الثالث
الى تمام الربع [illegible] ونحن حسبنا بهذا العمل عشرة عشرة من الاجزاء اذ
لا يتفاوت فيما فيما دون ذلك بسبب التفاضل شيء يعتد به فوجد
هكذا وساير الارباع كهذا الربع

تمت المقالة الاولى وبالله التوفيق

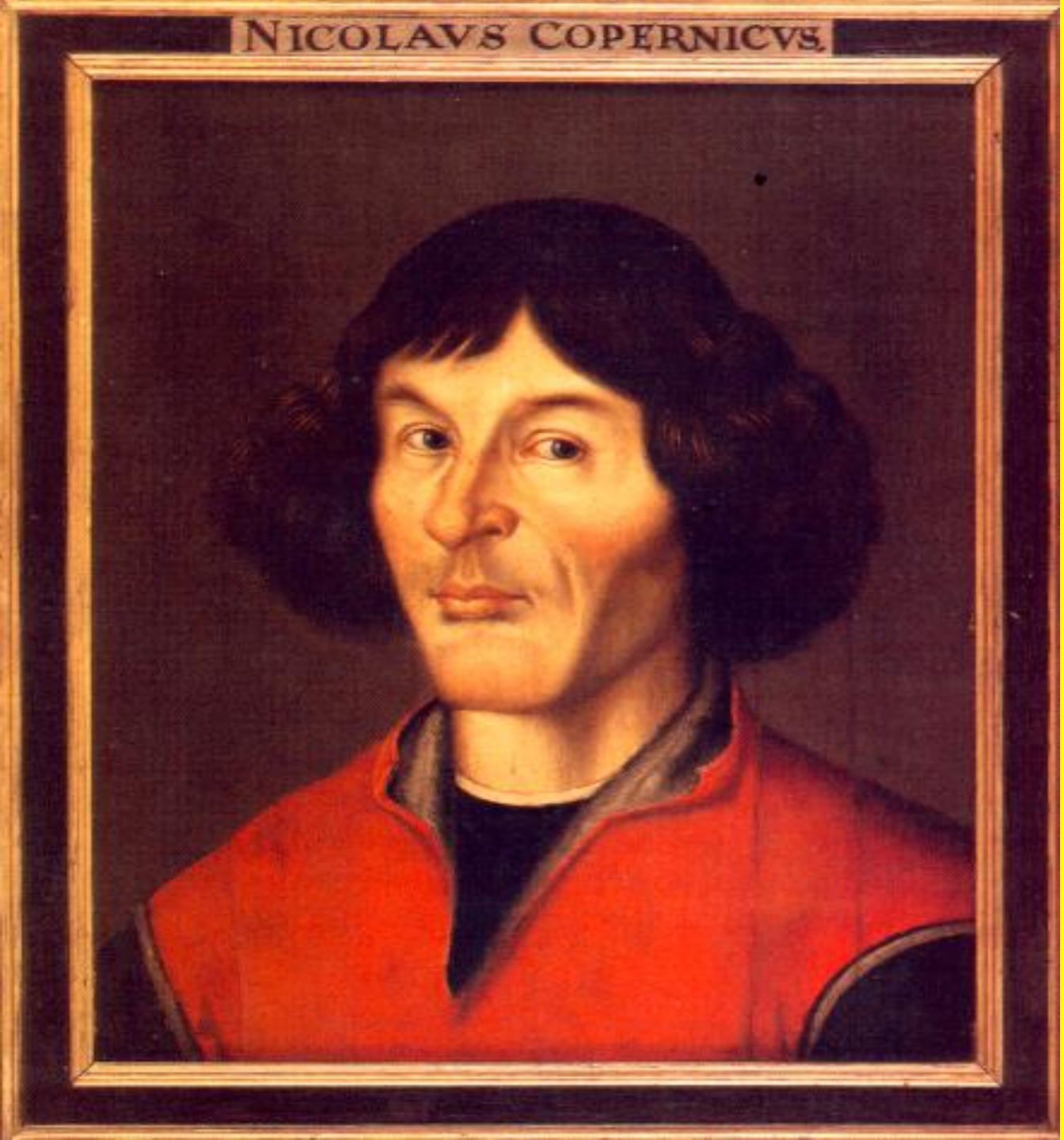
المقالة الثانية

جدول المطالع عند الاستوا

Almagest

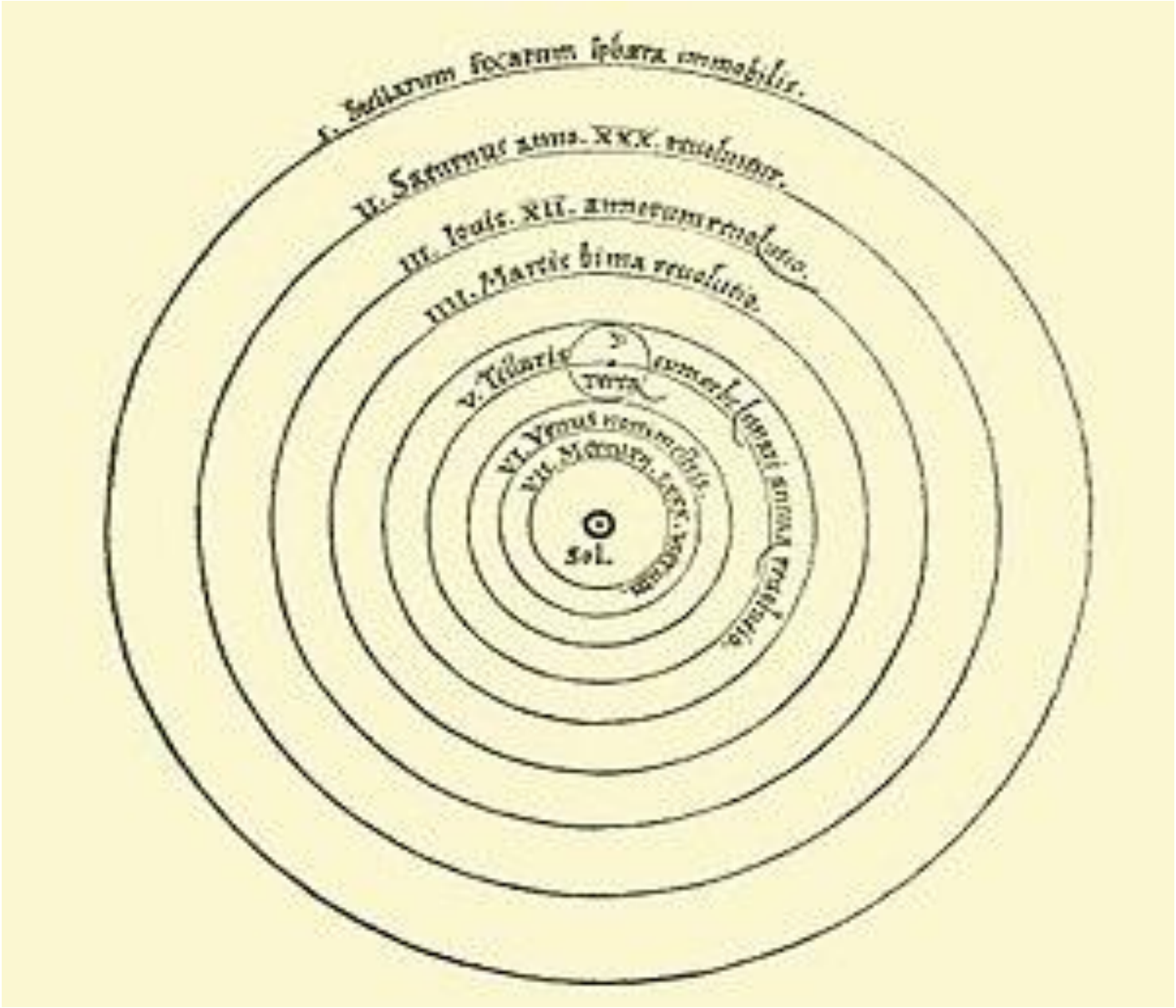

SCENO
SYSTEMATIS
PTOLE
GRAPHIA
MVNDANI
MAICI.
TROPICVS ÆSTIVVS
TROPICVS CANCRI
ÆQVINOCTIALIS
SATVRNVS
IVPITER
SOL
MARS
LVNA
VENVS
MERCVRIVS
TROPICVS HYBERNVS
TROPICVS CAPRICORNI
CIRCVLVS ANTARCTICVS
POLVS ANTARCTICVS
OCCIDENS
ORIENS


PRIMVM MOBILE
CRISTALLINE
FIRMAMENT
FIER
AER
EARTH
CŒLIFER ATLAS
Hic canet errantẽ Lunam, Soliſq; labores
Arcturũq;, pluuiaſq; hyad. gẽmoſq; triões
10

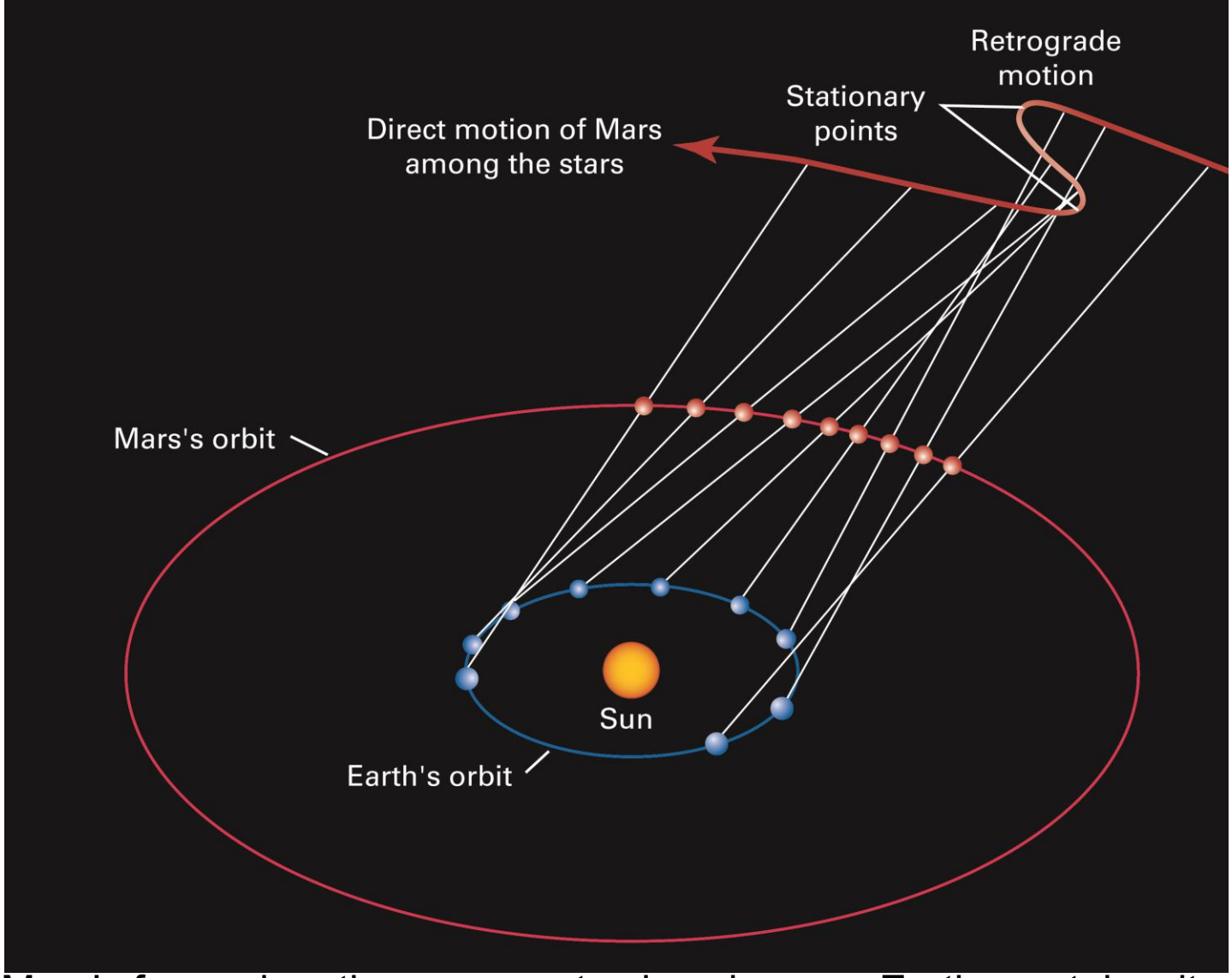


1473 - 1543

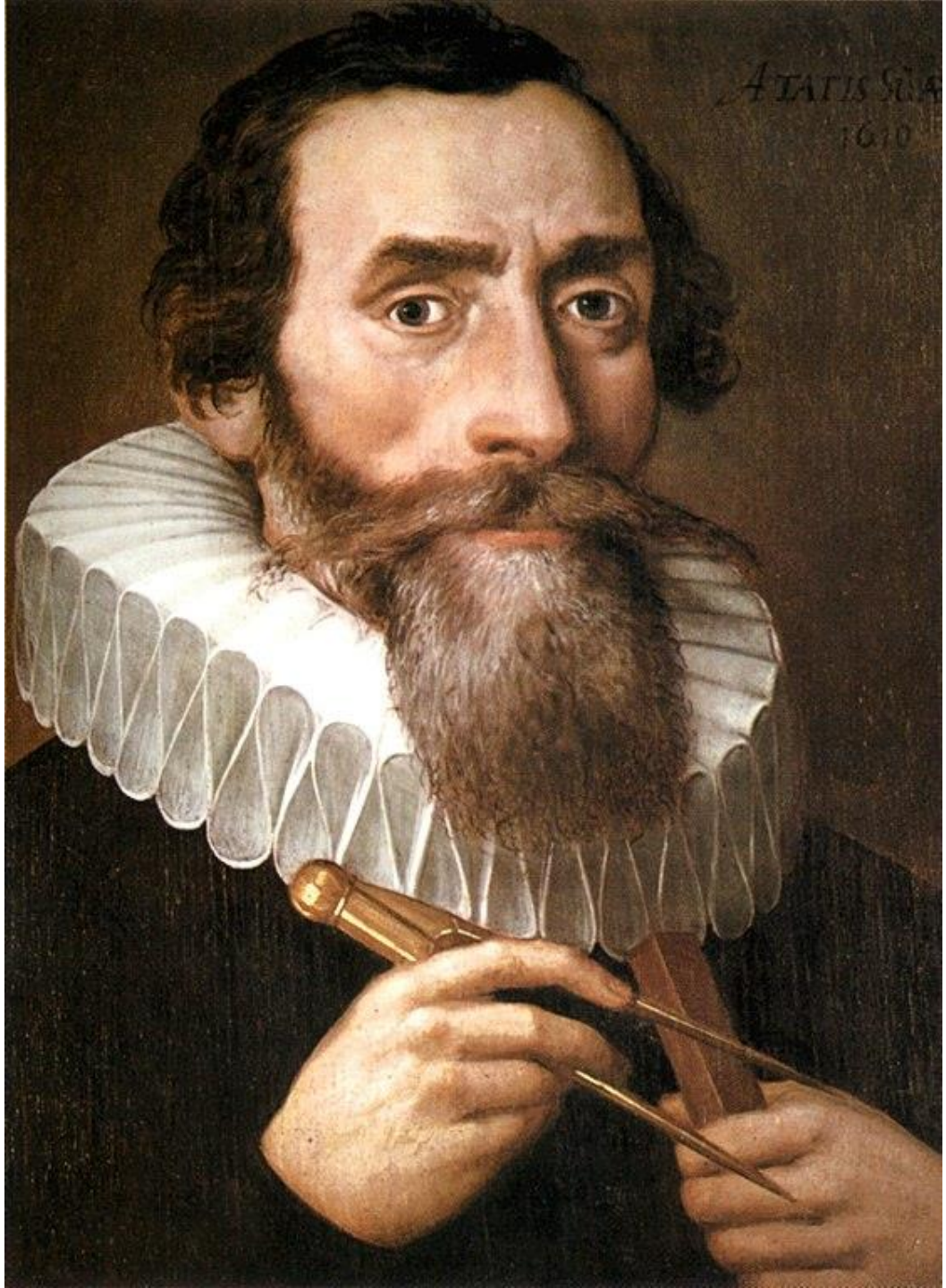
The heliocentric system



The Copernican theory explains retrograde motion as an effect of projection. For each of the nine positions of Mars shown from right to left on the red line, follow the white line from Earth's position through Mars's position to see the projection of Mars against the sky (relative to distant background stars).

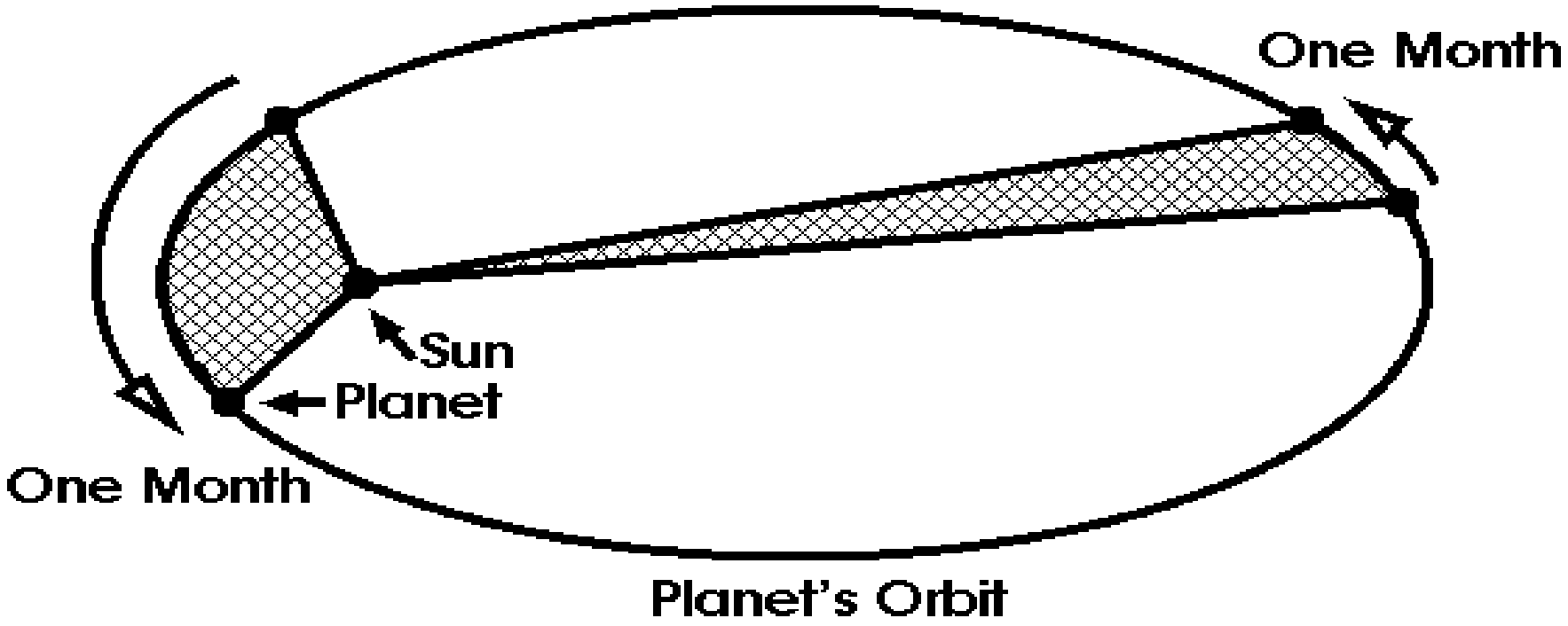


Mars's forward motion appears to slow down as Earth overtakes it. Between the two "stationary points," Mars appears in retrograde motion; that is, it appears to move backward with respect to the stars. A similar argument works for planets closer to the Sun than Earth.



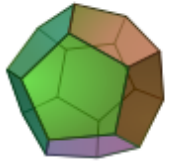
Johannes
Kepler
1571 - 1630

Kepler's Laws of Planetary Motion



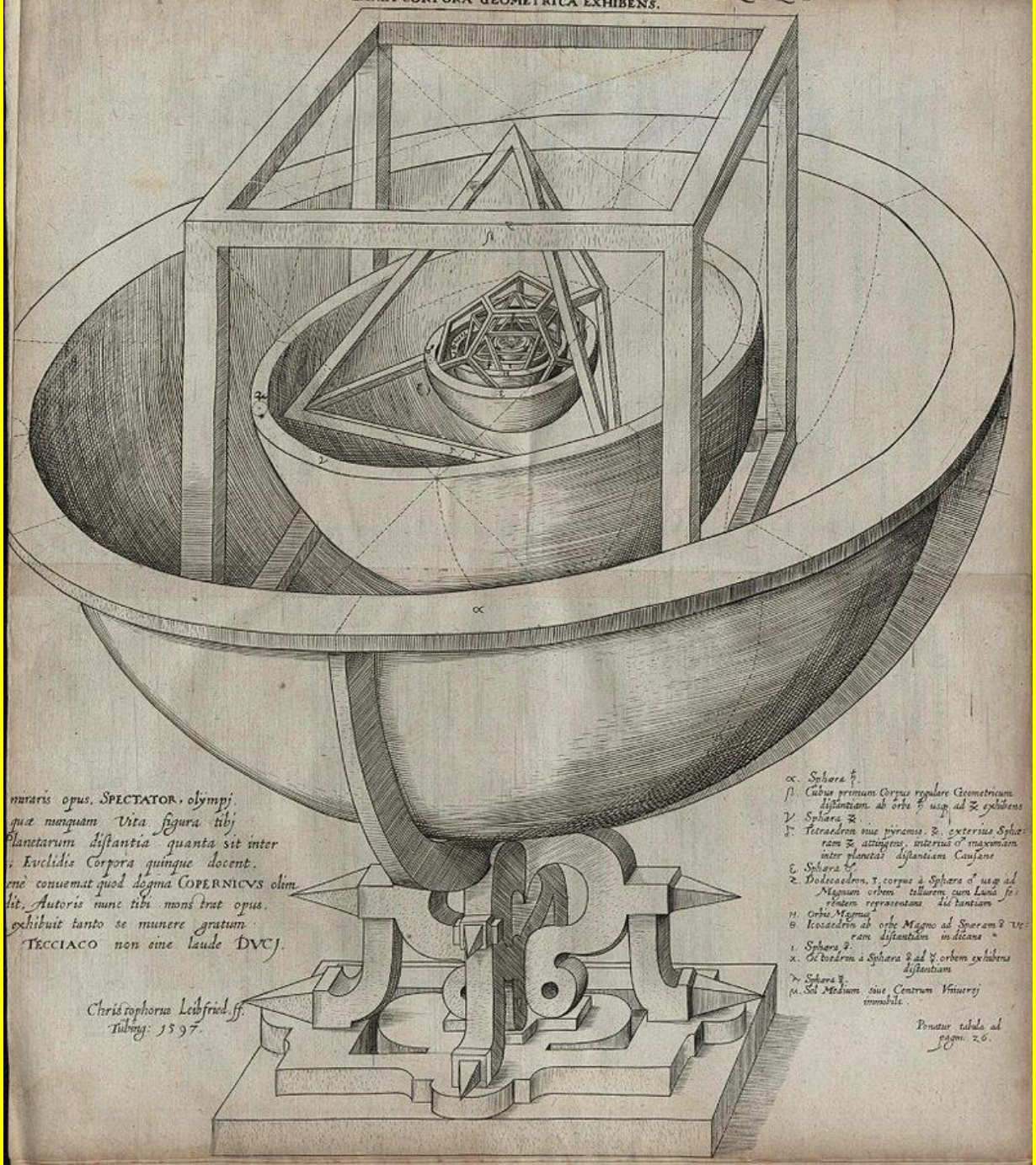
https://en.wikipedia.org/wiki/Platonic_solid

In geometry, a **Platonic solid** is a convex, regular polyhedron in three-dimensional Euclidean space. Being a regular polyhedron means that the faces are congruent (identical in shape and size) regular polygons (all angles congruent and all edges congruent), and the same number of faces meet at each vertex. There are only five such polyhedra:

Tetrahedron	Cube	Octahedron	Dodecahedron	Icosahedron
Four faces	Six faces	Eight faces	Twelve faces	Twenty faces
 (Animation, 3D model)	 (Animation, 3D model)	 (Animation, 3D model)	 (Animation, 3D model)	 (Animation, 3D model)

Geometers have studied the Platonic solids for thousands of years.[1] They are named for the ancient Greek philosopher Plato, who hypothesized in one of his dialogues, the *Timaeus*, that the classical elements were made of these regular solids.[2]

TABVLA ORBIVM PLANETARVM DIMENSIONES, ET DISTANTIAS PER QVINQVE REGVLARIA CORPORA GEOMETRICA EXHIBENS.



muraris opus. SPECTATOR, olympj
quæ nunquam Vita figura tibj
Planetarum distantia quanta sit inter
, Euclidis Corpora quinque docent.
enè conuenat quod dogma COPERNICVS olim
dit. Autoris nunc tibi mons erat opus.
exhibuit tanto se munere gratum
TECCIACO non sine laude DVCJ.

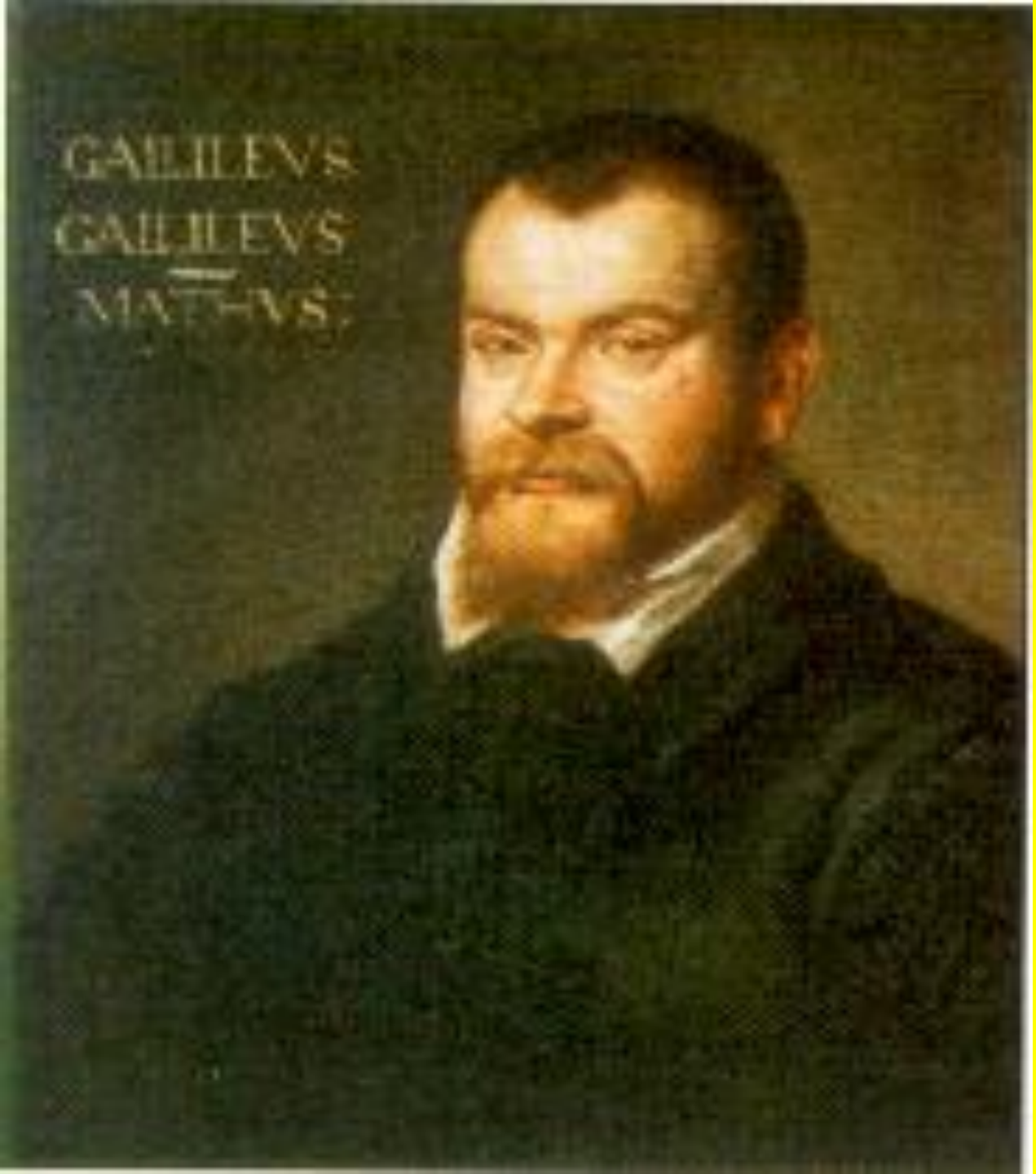
Christophorus Leibfried ff.
Tubing: 1597.

α. Sphæra ☿.
β. Cubus primum Corpus regulare Geometricum distantiam ab orbe ☿ usq; ad ♀ exhibens
γ. Sphæra ♀.
δ. Tetraedron sive pyramis. ♀. exterius Sphæram ♀ attingens, interius & maximam inter planetas distantiam Causans
ε. Sphæra ♂.
ζ. Dodecaedron. ♂ corpus à Sphæra ♂ usq; ad Magnum orbem tellurem cum Luna sequentem representans distantiam
H. Orbis Magnus
θ. Icosaedron ab orbe Magno ad Sphæram ♃ Veneream distantiam indicans
ι. Sphæra ♃.
κ. Octoedron à Sphæra ♃ ad ☿ orbem exhibens distantiam
λ Sphæra ☿.
μ. Sol Medium sive Centrum Vniuersi immobile.

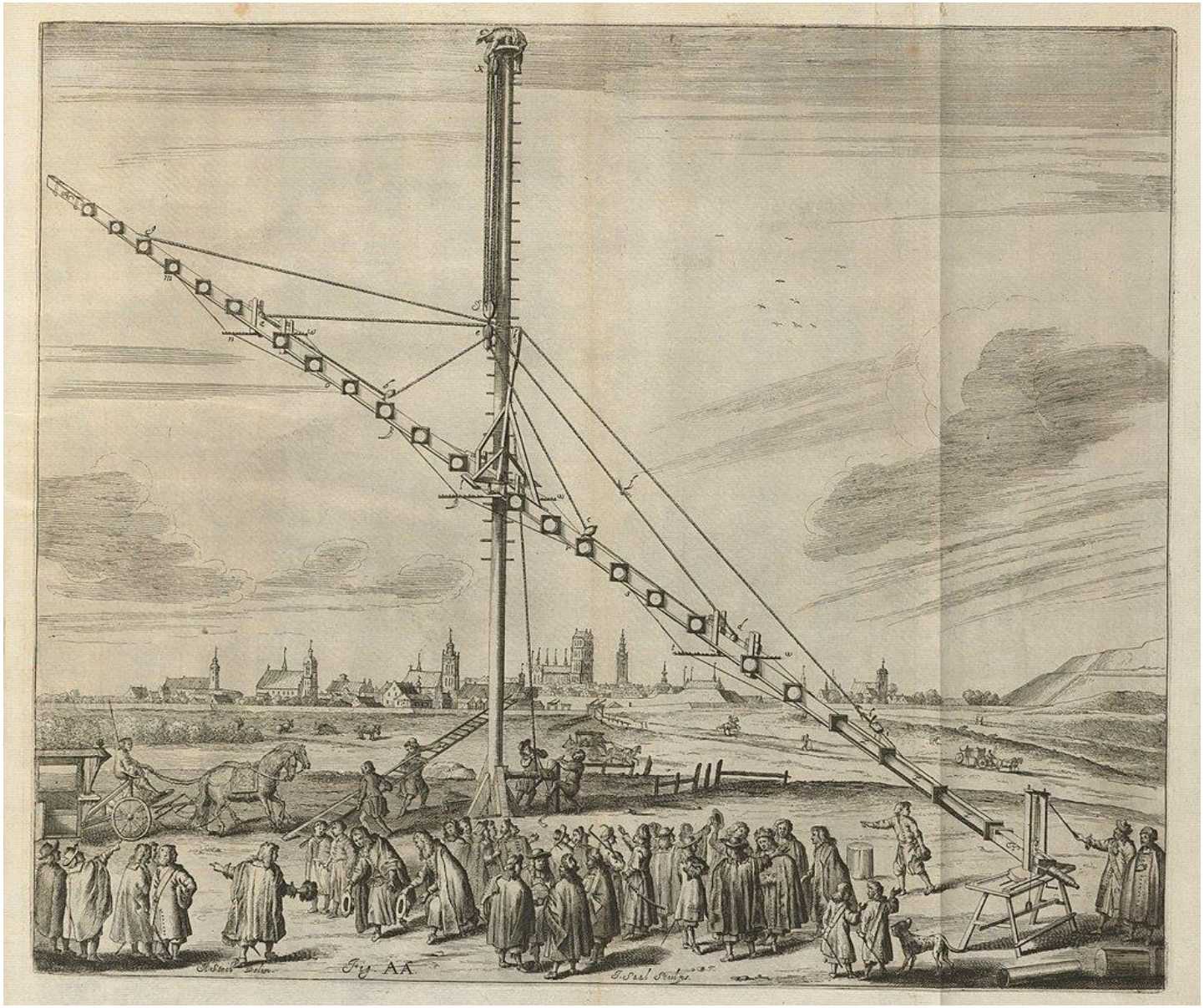
Ponatur tabula ad pagm. 26.

A model of the Solar System proposed by Kepler

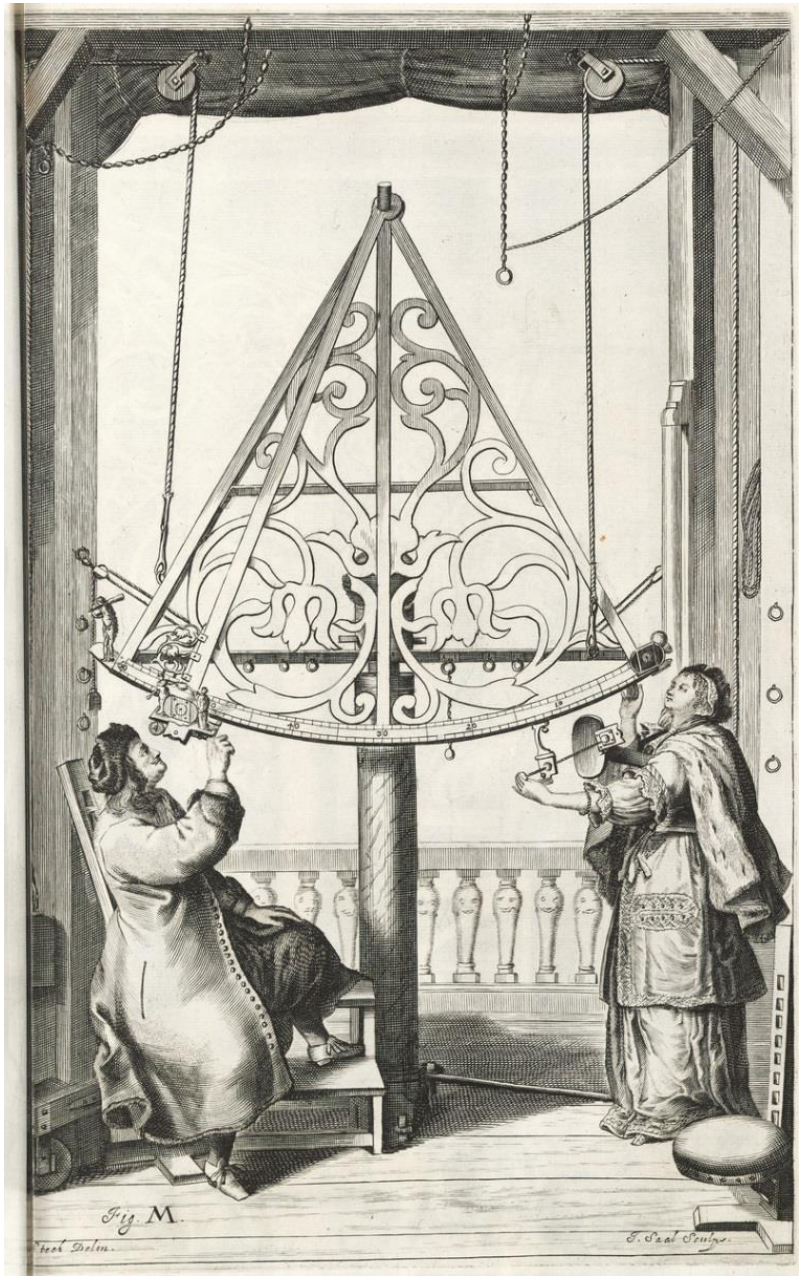
Planets	Ratios of the planet's radii	
	real	Kepler's model
Mercury/Venus	0.57	0.53
Venus/Earth	0.79	0.72
Earth/Mars	0.63	0.65
Mars/Jupiter	0.33	0.29
Jupiter/Saturn	0.57	0.54



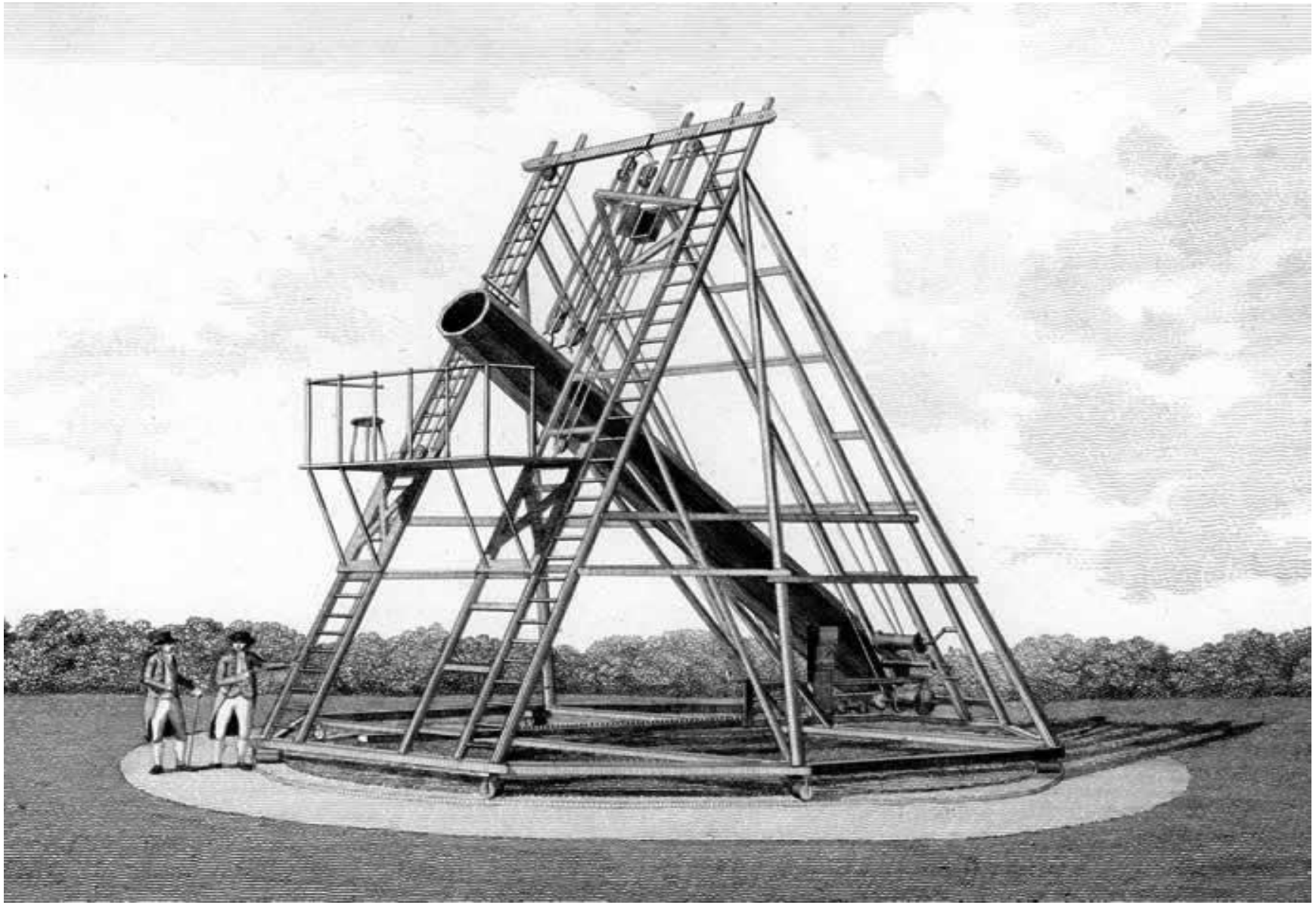
Galileo Galilei
1564 - 1642



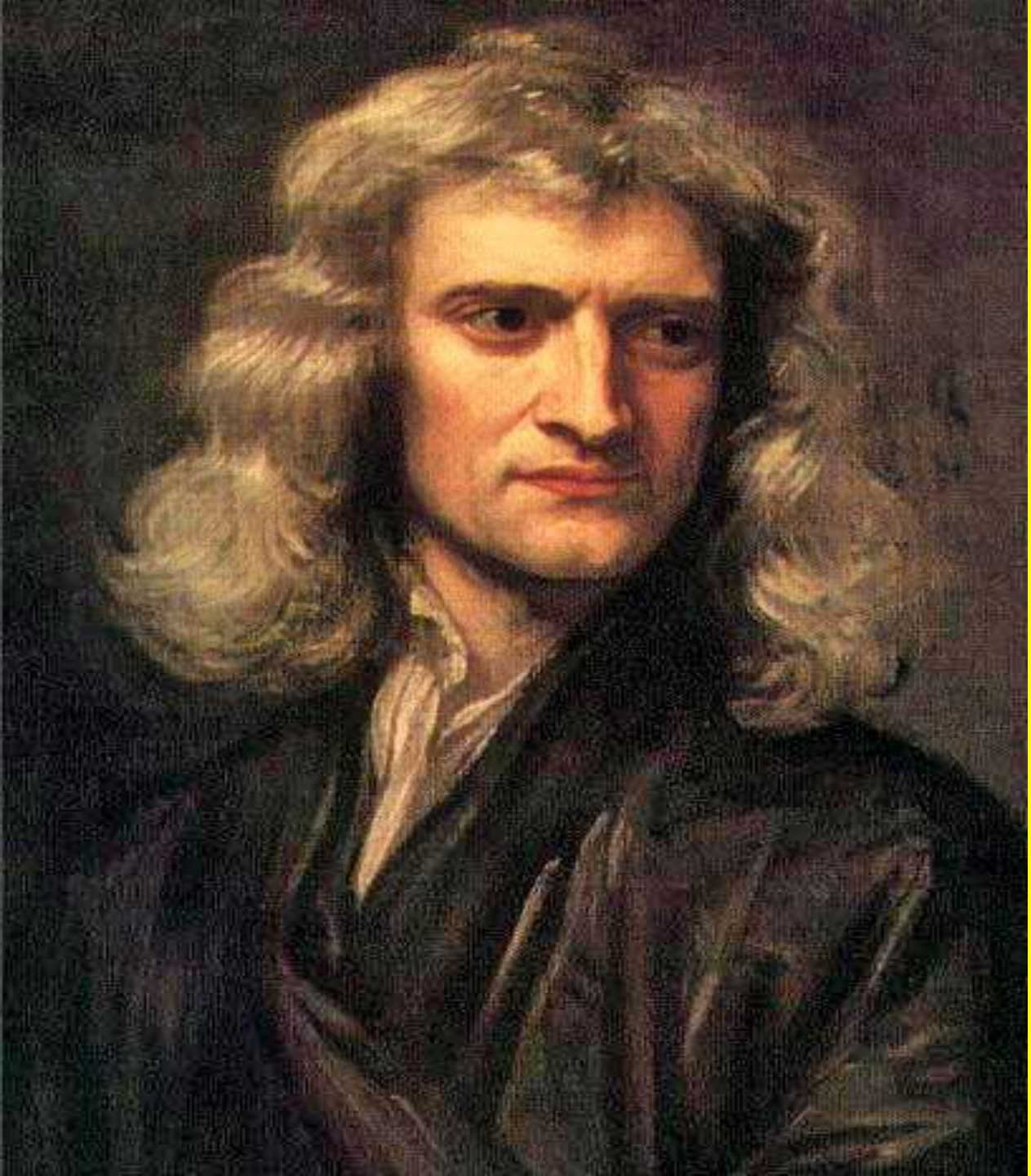
Johannes Hevelius 1611 - 1687



Johannes Hevelius
Elisabetha Hevelius



William Herschel 1738 - 1822



Isaac Newton
1642 - 1727

PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA.

Autore *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.

The laws of motion

The universal law of gravitation

OPTICKS:

OR, A

TREATISE

OF THE

Reflections, Refractions, Inflections and *Colours*

OF

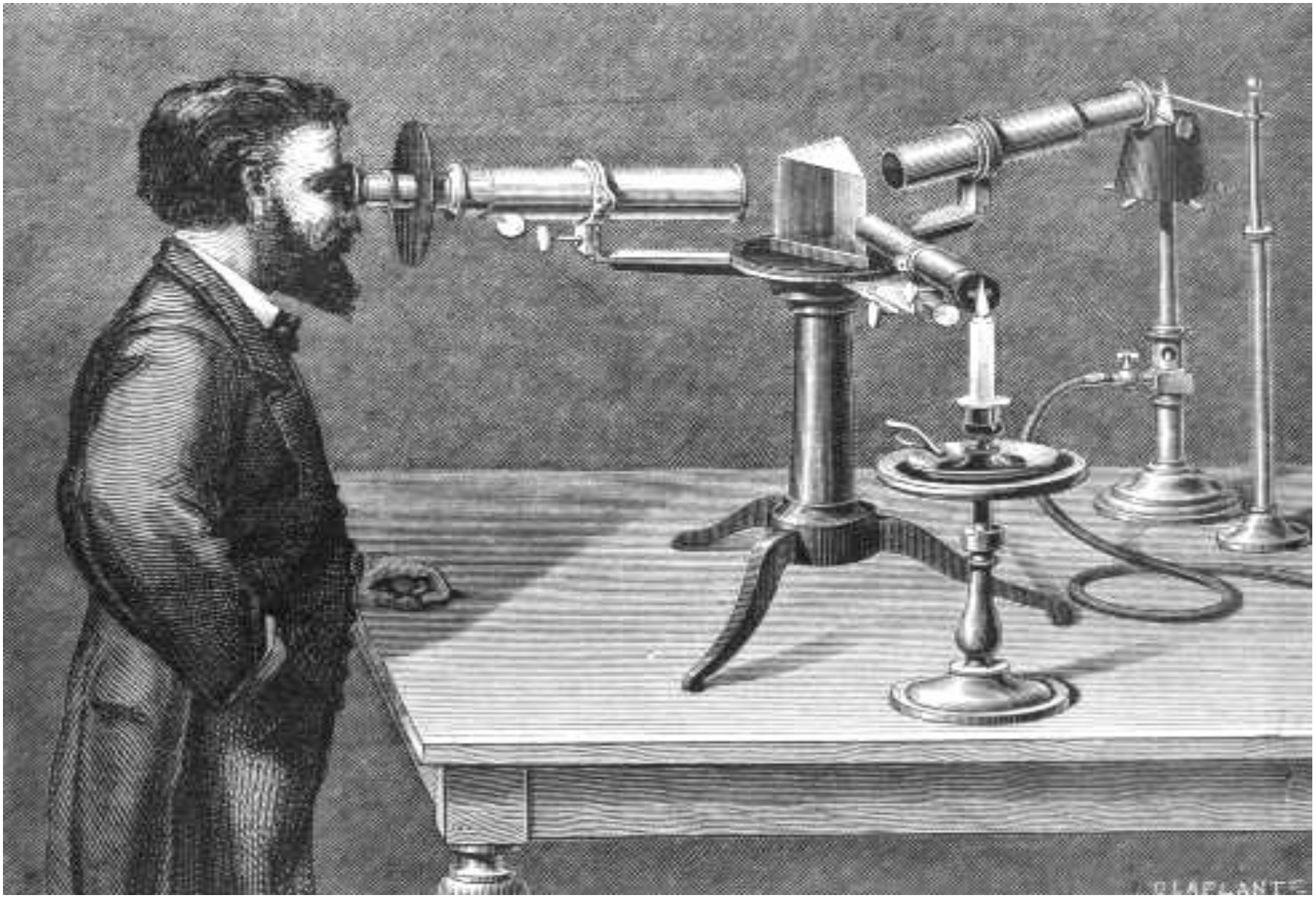
LIGHT.

The Second Edition, with Additions.

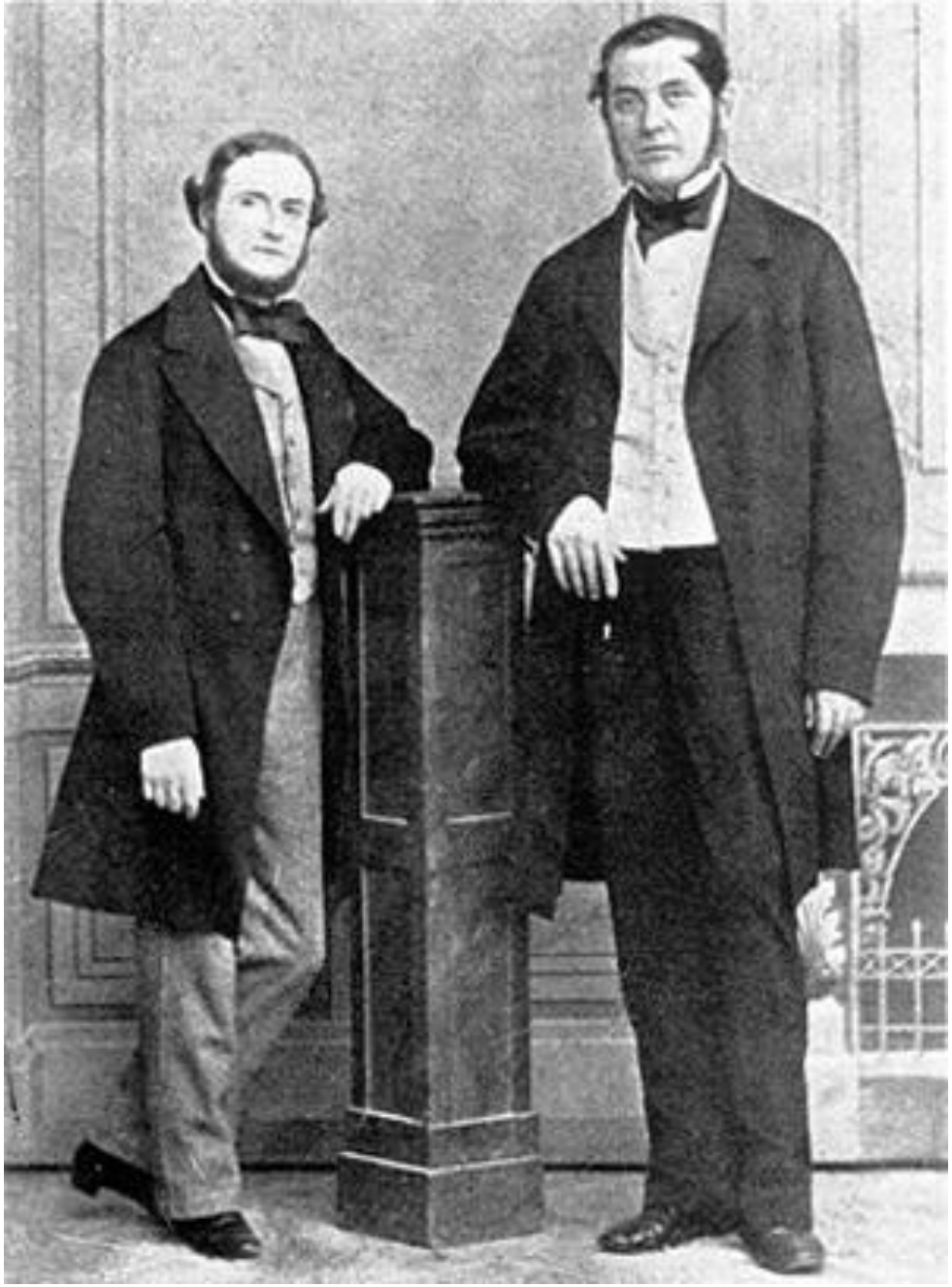
By Sir Isaac Newton, Knt.

LONDON:

Printed for W. and J. Innys, Printers to the Royal Society, at the *Prince's-Arms* in St. *Paul's* Church-Yard. 1718.



spectroscopy



Gustav Kirchhoff, Robert Bunsen

Fraunhofer spectral lines
Spectrum of the Sun (1814)