

Fizikatörténet

Középkori fizika (mechanika és csillagászat)

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

v 1.5

Bevezetés

AFKT 2.4.1 — AFKT 2.4.7

A középkori fizika aktív kutatás tárgya. Sok még a nyitott kérdés.
Korábbi két előadás: fontos dolgok történtek a középkori Európában.

Alapszituáció:

- Nemrég fedezték fel újra a görög eredményeket.
- A görög filozófia a mérték, Arisztotelész tekintélye óriási.
- Nagy fellendülés a filozófiában, teológiában.
- A technikai fejlődés felvetett kérdéseire nincs megnyugtató válasz a görögöknél.

Fő kérdéskör a fizikában: az **égi és földi testek mechanikája**.

A korszak fő problémája: **Nehéz túllépni a peripatetikus dinamikán.**

Kutatási centrumok

Franciaország (Párizsi egyetem környéke)

- **Nicole d'Oresme (1323–1382)**
- **Jean Buridan (1300–1358)**

Merton College: oxfordi kutatási központ („Oxford Calculators”)

- **Thomas Bradwardine (1290–1349)**
- **William Heytesbury (1313–1372/3)**
- **Richard Swineshead (1350 körül)**
- ...

(Többségükben papok, szerzetesek, némelyikük püspök.)

Sok alapvető eredmény a mozgástanban: grafikonok, pillanatnyi sebesség, változó sebességű mozgások, mozgásmennyiség, ...

Kinematikai eredmények

A grafikonok rajzolásával meg lehetett sok mindent sejteni:

- **pillanatnyi sebesség** fogalma
- **egyenletesen változó mozgás** megértése (Merton-tétel: az átlagsebesség az időintervallum eleji és végén levő sebesség átlaga.)
- **gyorsuló, lassuló, periodikus mozgások** ábrázolása

Fő eredmény: az időbeli változást geometriával tudják leírni, amit jól ismernek.
(Tömör egyenletjelölés még nincs!)

Kinematikai eredmények

A grafikonok rajzolásával meg lehetett sok mindent sejteni:

- pillanatnyi sebesség fogalma
- egyenletesen változó mozgás megértése (Merton-tétel: az átlagsebesség az időintervallum eleji és végén levő sebesség átlaga.)
- gyorsuló, lassuló, periodikus mozgások ábrázolása

Fő eredmény: az időbeli változást geometriával tudják leírni, amit jól ismernek.
(Tömör egyenletjelölés még nincs!)

d'Oresme: csak a relatív mozgás számít.

A Föld forog vagy az égi szférák körülötte? Mindegy, mert egyenértékű!
Később ezt „Galilei-féle relativitási elv”-nek nevezik.

d'Oresme teológus: Teológiailag sem probléma a Föld forgásának feltételezése.

Dinamikai eredmények

Látják, hogy Arisztotelész mozgástörvénye ($v = F/R$) rossz.

Matematikai eszközök (egyenletek) híján szöveges **próbálkozások Arisztotelésztől eltérő mozgástörvényre.**

Mai jelöléssel: $v = F - R$, $v = (F - R)/R$,

Végiggondolják, milyen mozgások következnének ebből, és néha alkalmazhatónak találják.

Kísérlet a ferde hajítás (ágyúgolyó mozgás) leírására: egyenesekből és egy körívből összerakva.

Nincs átütő siker, de kitapossák az utat a későbbi kutatóknak.

Buridan impetuselmélete

Jean Buridan (1300–1358)

- Az arisztotelészi dinamikával kapcsolatban sok valódi ellentmondás kimutatása.
- Az impetus fogalmának bevezetése.

Buridan impetuselmélete

Jean Buridan (1300–1358)

- Az arisztotelészi dinamikával kapcsolatban sok valódi ellentmondás kimutatása.
- Az impetus fogalmának bevezetése.

impetus = tömeg · sebesség

Buridan: az impetus a test saját tulajdonsága, **a megváltoztatásához kell külső hatás.**

Ebben burkoltan benne van az 1. Newton-törvény és ez lesz a 2. Newton-törvény alapja is.

(Newton hivatkozik is rá!)

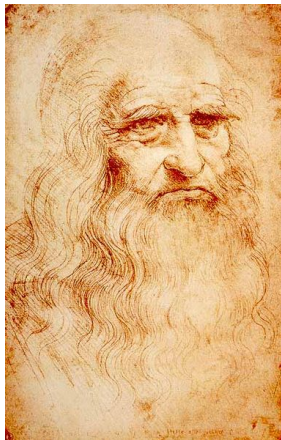
Az 1300-as évek mechanikájának értékelése

- + Arisztotelész sok hibáját nyilvánvalóvá teszik.
- + Újszerű gondolkodásmód: grafikon, pillanatnyi sebesség, ...
- + Impetus-elmélet: a tehetetlenségi törvény megsejtése, Newton-törvények előfutára.
- Nem jönnek rá, hogy a kölcsönhatás a gyorsulást határozza meg, nem a sebességet.
- Hiányzik még a tömör matematikai jelölés.

További eredmények: Leonardo da Vinci (1452–1519)

AFKT 2.6.2,

AFKT 2.6.4



Zseniális művész, mérnök, menedzser, tudós, ...

Mérnök: a **középkor eredményeire alapozva** saját gépek tervezése és látványos prezentálása.

Tudós: Fantasztikus **anatómiai ismeretek**, **perspektivikus ábrázolás** szabályai, ...

A **fizika elméletére** gyakorolt hatása elhanyagolható.
Utókor ítélete: Félig mitikus alakká válik, akinek szinte az egész középkor eredményeit tulajdonítják.

Leonardo sok gépe korábban is létezett! Szép, tartós ábrázolás, tudatosan megteremtett arculat a mindenkinél nagyobb zseniről, valódi eredmények, ...

Érdekesség: Leonardo találja fel a repülést?

Kína: 1–6. szd.:

- emberes repülés nagy papírsárkánnyal (katonai felderítés)
- siklógépek (100–200 m repülés)
- papírból készült hőlégballonok

Érdekesség: Leonardo találja fel a repülést?

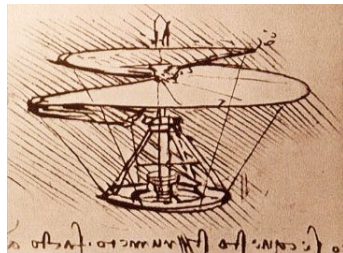
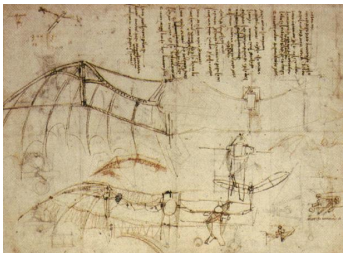
Kína: 1–6. szd.:

- emberes repülés nagy papírsárkánnyal (katonai felderítés)
- siklógépek (100–200 m repülés)
- papírból készült hőlégballonok

Legkorábbi ismert európai siklórepülés: **Malmesbury Eilmer, 1000–1010.** (Bevezető)

Leonardo: fejlettebb siklógép,
helikopter ötlete.

A repülő működhetett, a
helikopter biztosan nem.
(Leonardo sok fantasztikus
ötlete teljesen irreális volt.)



A szabadesés

A kor központi mechanikai problémája: **Hogyan esnek a testek?**

- Arisztotelész: a kétszer nehezebb test kétszer gyorsabban esik.
- Középkori tudósok: a peripatetikus dinamika nem jó. Vizsgálják az eső testeket.

A szabadesés

A kor központi mechanikai problémája: **Hogyan esnek a testek?**

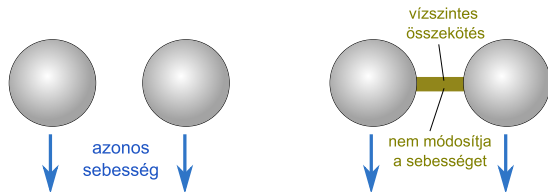
- Arisztotelész: a kétszer nehezebb test kétszer gyorsabban esik.
- Középkori tudósok: a peripatetikus dinamika nem jó. Vizsgálják az eső testeket.

Dominico de Soto (1494–1560):

- a szabadesés sebessége időben egyenletesen nő
- felhasználja oresmiusék munkáit

Giovanni Battista Benedetti (1530–1590):

- a közegellenállás közelítő figyelembe vétele
- gondolat kísérlet: két egyforma golyó ejtése összekötéssel és anélkül



A szabadesés

Simon Stevin (1548–1620): pontos ejtési kísérletek.

Világossá válik: **A nehezebb testek nem esnek gyorsabban!**

Arisztotelész tévedett! Új mechanika szükséges!

A szabadesés

Simon Stevin (1548–1620): pontos ejtési kísérletek.

Világossá válik: **A nehezebb testek nem esnek gyorsabban!**

Arisztotelész tévedett! Új mechanika szükséges!

Isaac Beeckman (1588–1637): szabadesés számszerűleg helyes modellje 1618-ban.

Alapötlet:

- A testek megőrzik a meglevő impetust. (Buridan)
- A gravitáció egységnyi idő alatt egységnyivel növeli a test impetusát.



Ebből levezeti az $s = (g/2)t^2$ törvényt!

Igen fontos eredmény, Newton 2. törvényének alapötlete.

A csillagászat és a mechanika kapcsolata

Távcső előtt: a csillagok és bolygók **pozícióit** lehet mérni.

Alapkérdések: **Milyen pályán és miért mozognak a bolygók? Mozog-e a Föld?**

Ezek lényegében mechanikai kérdések.

Elmlékeztető: A görögök...

- ... felvetik a napközéppontú világkép gondolatát is (Arisztarkhosz)
- ... de az arisztotelészi mechanika alapján kizártnak tartják, hogy a Föld mozogna
- ... a földközéppontú (geocentrikus) világképet tartják helyesnek
- ... szerintük az égi mozgások körpályán történnek: epiciklusok rendszere
- ... elég pontos (20') előrejelzését adják a bolygópozícióknak (Ptolemaiosz)

Nicolaus Copernicus (1473–1543)

AFKT 3.2.2

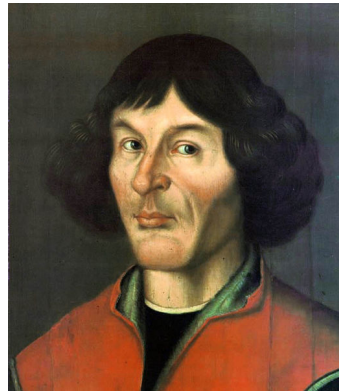
Arisztarkhosz munkáit eleveníti fel. (Hivatkozza őket.)

Első publikáció: 1512.

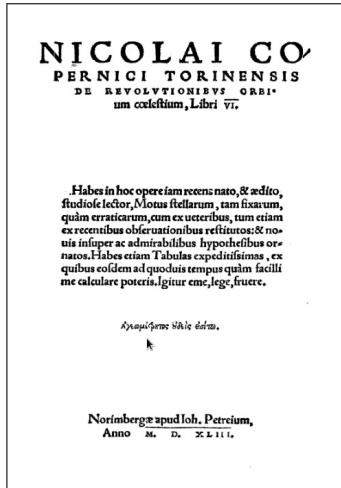
Fő mű: 1543, „Az égi pályák körforgásáról”

Alapmodell: Középen a Nap, a bolygók és a Föld körülötte keringenek körpályákon.

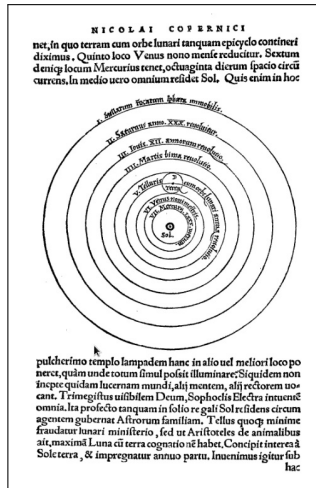
- + Áttekinthetőbb, mint az ókori epiciklusos modell.
- + Epiciklus nélkül is magyarázza a hurkolódó mozgást.
- + A pályaméretek nem önkényesek: Kopernikusz meg is adja őket.
- Körpályák esetén több fokos hiba a bolygópozíciókban!



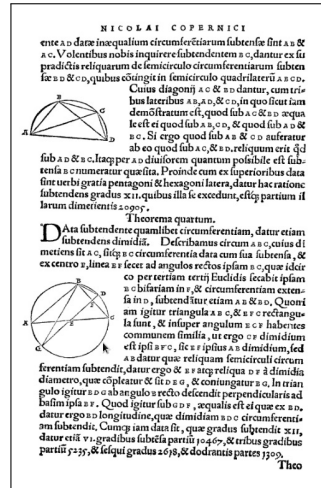
De Revolutionibus Orbium Coelestium: érdekes oldalak



Előlap



Az alapmodell



Egy kis geometriai előkészítés

De Revolutionibus Orbium Coelestium: érdekes oldalak

REVOLVTIONVM LIB. III. 86

nuntur aequales, communis apponatur A, K, E, G, A, K aequalis ip
fi A, K, D : aequalis igitur etiam ip, K, E . Centro igitur K , distantia autem
 K, A & descriptus circulus transibit per F , quē quidem ipsum
per motu cōposito ipsorum A, B & E, F describit eccentricum homo-
centro aequalem, & idcirco etiam fixum. Cum enim epicyclium
pares cum homocentro fecerit revolutiones, necesse est ab idem
eccentri sic descripti eodem loco manere. Quod si disparēs cen-
trum epicyclij & circumferentia fecerit revolutiones, jam non
fixum designabit eccentricum motus sideris, sed cum cuius cen-
trum & ab idem in praecedentia uel consequen-
tia ferantur, prout sideris motus celerior tardior
orbis fuerit centro epicyclij sui. Quenam distan-
tia si A, B maior fuerit angulo B, D, A , aequalis autē
illi constituitur qui sub B, D, M , demonstrabitur
itidem, quod si in D, M linea, capiatur D, L aequa-
lis ip, B, F , atque L centro: distantia autem L, M, N
aequalis A, D , descriptus circulus transibit per F
sideris, quo fit manifestum N, F circumferentia,
motu sideris composito describi, eccentrici circu-
culi, cuius apogēum à signo o migravit interim in praecedentia
per G, N circumferentiam. Contra uero, si lentior fuerit sideris in
epicyclio motus, tunc eccentrici centrum in conse-
quentia succedet, atque eodē quo epicyclij centrum
feretur, ut puta si A, B angulus minor fuerit ipso
 B, D, A , aequalis autem ei qui sub B, D, M , manifestū
est euenire quae diximus. Ex quibus omnibus
patet eandem semper apparentiae inaequalitatem
produci, siue per epicyclium in homocentro, si
ue per eccentricum circulum aequalem homocen-
tro, nihilque inuicem differre, dummodo distan-
tia centrorum aequalis fuerit ei, quae ex cen-
tro epicyclij. Vtrum igitur eorum existat in caelo, non est faci-
le discernere. Ptolemaeus quidem ubi simplicem intellexit inae-
qualitatem, ac certas immutabiles sedes absidum (ut in Sole
putabat) eccentricitatis rationem arbitrari fuisse. Lunae
uero caeterisque quinq; planetis duplici siue pluribus differētijs,
y ij uagan

REVOLVTIONVM LIB. V. 141

Generalis demonstratio inaequalitatis apparentis
propter motum terrae Cap. III.

D Vabus igitur existentibus causis, quibus planetae
aequalis motus appareat inaequalis, cum propter motū
terrae, cum etiā propter motum proprium: utrunq;
eorū in genere declarabimus, & separatim oculari
demonstratione, quo melius inuicem discernantur, incipientes
ab eo qui omnibus illis sese commiscet propter motum terrae.
Ex primo circa Venere & Mercurij, qui terrae circulo com-
prehenduntur. Sit ergo circulus A, B eccentricus à Sole, quē cen-
trum terrae descripsit annuus circulus, iuxta modum superius
traditum, centrum sit C . Nunc autem ponamus
quasi nullam aliam habuerit inaequalitatem
planeta praeter hanc, quod erit, si homocentris
fecerimus ipsi A, B , qui sit D , siue Veneris siue
Mercurij, quē propter latitudinem inclinem
esse oportet ipsi A, B . Sed commodioris causa
demonstrationis cogitur, ac si sint in eodē
plano, & assumatur in A signo, terra, à quo edu-
cantur uisus A, F, L & A, G, M , contingentes circulum planetae, in F &
signis, & dimetiens A, C utriusque communis. Sit autem utriusque
motus, terrae inquam & planetae, in eadem parte, hoc est in
consequentia, sed uelociore existente planeta, quā terra. Ap-
parebit ergo C , & ipsa linea A, C secundum Solis medium mo-
tum ferri, oculo in A delato: si uero autem in D, F circulo, tanquā
in epicyclo maiori tempore pertransibit F, D circumferentiam
in consequentia, quā reliquam G, F in praecedentia, & illic to-
tum F, A angulum adde medio motu Solis, hic auferet eundē.
Vbi igitur motus sit iste ablatius, praesertim circa z perigaeū
maior fuerit adiectiuo ipsius & secundum uincentem, uidetur re-
pedare ipsi A , quod accidit in his stellis, quibus in C linea, ad
 A, B lineam plus fuerit in ratioe, quā in motu A , ad cursum pla-
netae, secundum demonstrata Apolonij Pergeae, ut postea dice-
tur. Vbi uero motus ablatius par fuerit adiectiuo, cōpensatis
N, inuicem

NICOLAI COPERNICI
Martis prothaphæreses.

Numeri commu- nes.	Protha- phæreses eccentri.	Scrup. proportionum	Paralla- xes or- bis.	Eccellus parallaxe os.
Gra.	Gra.	scr.	G. scr.	G. scr.
3 357	0 32	0 0	1 8	0 8
6 354	1 5	0 2	2 16	0 17
9 351	1 37	0 7	3 24	0 25
12 348	2 8	0 15	4 31	0 33
15 345	2 39	0 28	5 38	0 41
18 342	3 10	0 42	6 45	0 50
21 339	3 41	0 57	7 52	0 59
24 336	4 11	1 13	8 58	1 8
27 333	4 41	1 34	10 5	1 16
30 330	5 10	2 1	11 11	1 25
33 327	5 38	2 31	12 16	1 34
36 324	6 6	2 2	13 22	1 43
39 321	6 32	3 22	14 26	1 52
42 318	6 58	4 3	15 31	2 2
45 315	7 23	4 37	16 35	2 11
48 312	7 47	5 16	17 39	2 20
51 309	8 10	6 2	18 42	2 30
54 306	8 32	6 50	19 45	2 40
57 303	8 53	7 39	20 47	2 50
60 300	9 12	8 30	21 49	3 0
63 297	9 30	9 27	22 50	3 11
66 294	9 47	10 25	23 48	3 22
69 291	10 3	11 28	24 47	3 34
72 288	10 19	12 31	25 45	3 46
75 285	10 32	13 38	26 40	3 59
78 282	10 42	14 46	27 35	4 11
81 279	10 50	15 4	28 30	4 24
84 276	10 56	17 24	29 21	4 36
87 273	11 1	18 45	30 12	4 50
90 270	11 5	20 8	31 0	5 5

Martis

Megjelennek az epciklusok

Merkúr pályaméret

A sok táblázat egyike

Kopernikusz Naprendszer-modellje

Az alapmodell pontatlan!

Több fok eltérés a megfigyelések és a számítások közt.

(Emlékeztető: Ptolemaiosz modellje 1/3 fok pontos.)

Kopernikusz Naprendszer-modellje

Az alapmodell pontatlan!

Több fok eltérés a megfigyelések és a számítások közt.

(Emlékeztető: Ptolemaiosz modellje 1/3 fok pontos.)

Korrigált modell: körpályák helyett **epiciklusokkal**.

A modell egyszerűsége elveszik, Ptolemaiossal akkor azonos pontosságú, ha ő is kb. 50 kört használ fel.

Kopernikusz Naprendszer-modellje

Az alapmodell pontatlan!

Több fok eltérés a megfigyelések és a számítások közt.

(Emlékeztető: Ptolemaiosz modellje 1/3 fok pontos.)

Korrigált modell: körpályák helyett **epiciklusokkal**.

A modell egyszerűsége elveszik, Ptolemaiosszal akkor azonos pontosságú, ha ő is kb. 50 kört használ fel.

Alapvető baj: **Kopernikusz nem tud elszakadni az arisztotelészi körpályáktól.**

(60 év múlva Kepler: A bolygók a Nap körül ellipszispályán keringenek.)

Kopernikusz Naprendszer-modellje

Az alapmodell pontatlan!

Több fok eltérés a megfigyelések és a számítások közt.

(Emlékeztető: Ptolemaiosz modellje 1/3 fok pontos.)

Korrigált modell: körpályák helyett **epiciklusokkal**.

A modell egyszerűsége elveszik, Ptolemaiosszal akkor azonos pontosságú, ha ő is kb. 50 kört használ fel.

Alapvető baj: Kopernikusz nem tud elszakadni az arisztotelészi körpályáktól.

(60 év múlva Kepler: A bolygók a Nap körül ellipszispályán keringenek.)

Nem magyarázza meg az alapkérdést: **Miért nem érezzük a Föld forgását és keringését?**

A kopernikuszi modell erényei és gyengeségei

Erények:

- esztétikusabb naprendszer-kép
- felmérhetők a pályaméretek arányai
- újszerű módszerek a bolygók pályájának meghatározásában
- megmagyarázza azt, miért nem távolodik el a Vénusz és a Merkúr egy bizonyos szögnél jobban a Naptól
- észszerűbb, hogy a legnagyobb égitest, a Nap legyen a középpont

A kopernikuszi modell erényei és gyengeségei

Erények:

- esztétikusabb naprendszer-kép
- felmérhetők a pályaméretek arányai
- újszerű módszerek a bolygók pályájának meghatározásában
- megmagyarázza azt, miért nem távolodik el a Vénusz és a Merkúr egy bizonyos szögnél jobban a Naptól
- észszerűbb, hogy a legnagyobb égitest, a Nap legyen a középpont

Gyengeségek:

- mechanikai hiányosságok: miért nem érezzük, hogy mozog, forog a Föld?
- ragaszkodás a körpályákhoz (Arisztotelész): neki is epiciklusok kellenek a pontos modellhez, de ezzel az egyszerűség elvész

Ahogy ő maga írja: ez egy **matematikai hipotézis**.

Kopernikusz elméletének elfogadása

Kopernikust sokan kinevetik: „Miért beszél ilyen hülyeségeket, hogy mozog a Föld, amikor érezzük, hogy áll!”

Tévhit: Kopernikust üldözte az inkvizíció.

- 1533: Cognomiantus Lucretius a pápának magyarázza Kopernikusz újszerű elméletét, a pápának tetszik.
- 1536: Schönber bíboros levélben kéri Kopernikust, hogy elméletét mielőbb írja meg könyvben, és neki küldjön tiszteletpéldányt.
- A könyv kiadása késik: drága és nehézkes a könyvnyomtatás; Kopernikusz fél a nevetségessé válástól.
- **A kiadás után szakmai vitákat gerjeszt.**
- Nem átütő siker:
 - az egyszerű változat elegáns, de nagyon pontatlan
 - a pontos változat nem egyszerűbb, mint a ptolemaioszi
 - hiány: miért nem érezzük a Föld mozgását?

Kopernikusz elmélete az utókor szemében

Utóélet:

- Kopernikusz szakítása az elfogadott elméletekkel egyfajta „lázadó” imázst adott neki az utókor szemében. („**Kopernikuszi fordulat**”)
- A „világ átrendezése” a reformáció-ellenreformáció korában **rossz kontextusba** viszi Kopernikusz művét. (Pl. Giordano Bruno)
- Tiltólistára csak 1616-ban teszik, amit 1620-ban feltételesen feloldanak. (Nem szabad fizikailag helyes elméletként kezelni, csak matematikai modellként.)

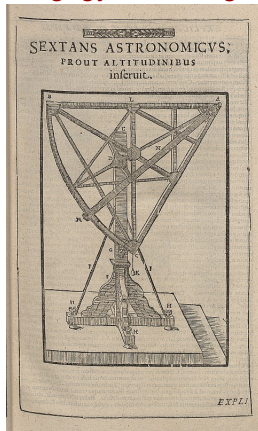
Az utódok érzik, hogy ez az igazi elmélet magva, de sok a nyitott kérdés.

AFKT 3.2.3

A távcső előtti kor legpontosabb megfigyelő csillagásza.



Tycho Brahe



Quelle: Deutsche Fotothek

Tycho egyik sextánsa



Tycho legnagyobb műszere

Tycho Brahe eredményei

Minden korábbinál pontosabb mérőeszközök. (Középkori gépészet.)

Csúcs pontosság: $2' = 1/30^\circ$. (Emberi szem felbontóképessége: $1'$.)

A pontos mérések minőségileg új eredményekre vezettek:

- $2'$ pontosság: a ptolemaioszi modell pontatlan
- egy üstökös távolsága nagyobb a Holdénál: a kristályszférák közt mozog?
- egy szupernóva megfigyelése: van változás az állócsillagok világában!

Következtetés: Az arisztotelészi világkép hibás.

Johannes Kepler (1571–1630)

AFKT 3.2.4

Megkapja Brahe mérési sorozatait és ő maga ügyesen tud számolni. \Rightarrow A bolygópályák valódi alakjának felmérése.

Két fő csillagászati könyv:

- **1609, Astronomia Nova:** Az első modernnek tartott csillagászati mű.
- **1619, Harmonices Mundi:** további eredmények

Hangsúlyozza a megfigyeléseken alapuló elméletalkotás fontosságát.

Precízen számol, gondolatmenetét is közli.

A világ harmóniája, az eredmények művészi értéke is foglalkoztatja. (Mint a pitagoreusokat.)



Az 1. és 2. Kepler-törvény (1609)

1. törvény: a bolygók a Nap körül ellipszispályákon keringenek, melynek egyik gyújtópontjában a Nap áll.

2. törvény: a bolygótól a Naphoz húzott vezérsugár egyenlő idők alatt egyenlő területet sűrol.

Az 1. és 2. Kepler-törvény (1609)

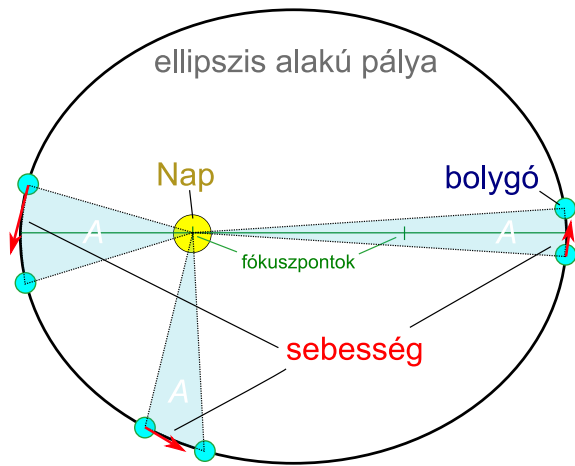
1. törvény: a bolygók a Nap körül ellipszispályákon keringenek, melynek egyik gyújtópontjában a Nap áll.

2. törvény: a bolygótól a Naphoz húzott vezérsugár egyenlő idők alatt egyenlő területet sűrol.

A pálya nem kör, a mozgás nem állandó sebességű!

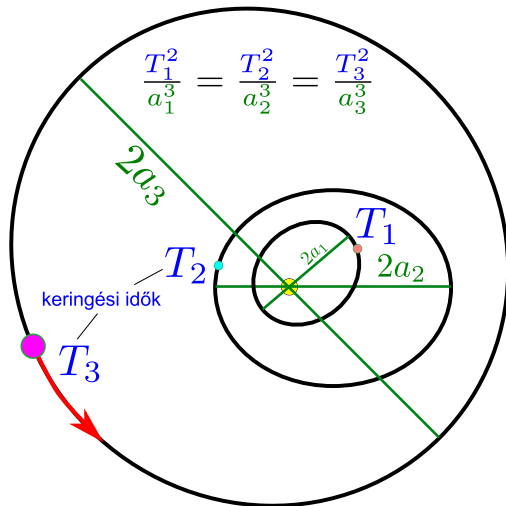
Miért? Kepler nem tudja, csak a mérésekből megállapítja.

(Sokáig hátráltatja az, hogy nem érti, a görögök miért nem gondoltak erre az egyszerű magyarázatra...)



A 3. Kepler-törvény (1619)

3. törvény: a keringési idők négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint az ellipszis nagytengelyek köbei.

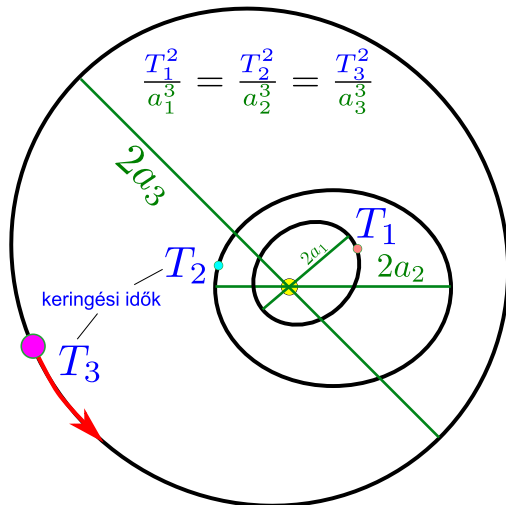


A 3. Kepler-törvény (1619)

3. törvény: a keringési idők négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint az ellipszis nagytengelyek köbei.

Kepler eredetileg arra gondolt, hogy az egyenlő idő alatt súrolt területek a különböző bolygók közt is egyenlőek.

Keresi a törvény geometriai jelentését, de nem találja.



A 3. Kepler-törvény (1619)

3. törvény: a keringési idők négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint az ellipszis nagytengelyek köbei.

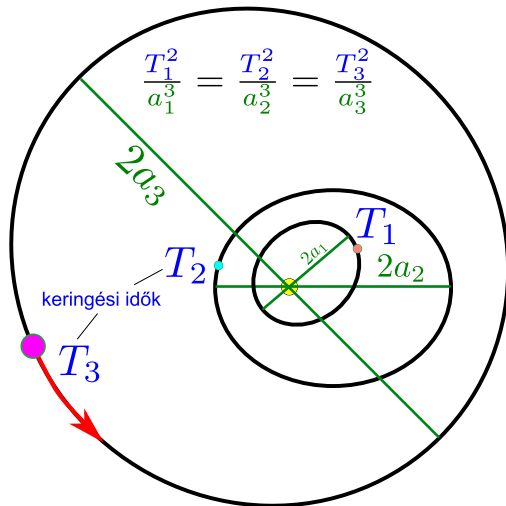
Kepler eredetileg arra gondolt, hogy az egyenlő idő alatt súrolt területek a különböző bolygók közt is egyenlőek.

Keresi a törvény geometriai jelentését, de nem találja.

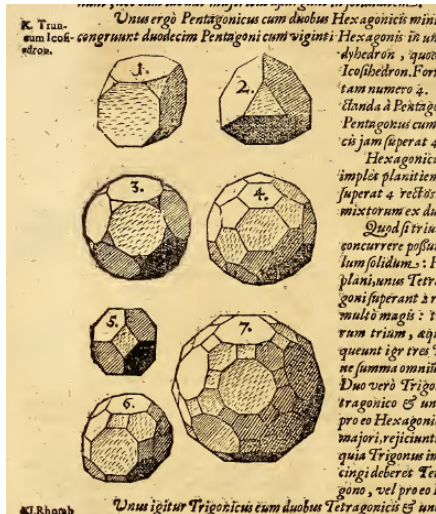
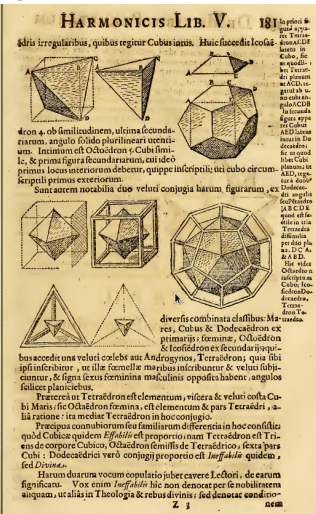
Kepler megadja a pontos pályaparamétereket is:

Mérési hibán (2') belül pontos elmélet!

A kopernikuszi modell egyszerűsége és minden eddiginél nagyobb pontosság!



Válogatás a „Harmonices Mundi”-ból

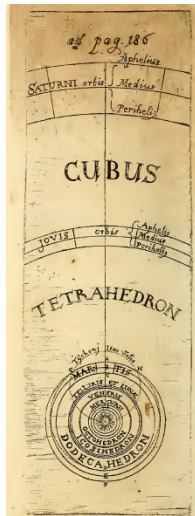


Szabályos testek.

Nem szabályos, de érdekes testek.

Válogatás a „Harmonices Mundi”-ból

HARMONICIS LIB. V.			
	Diurni Prim. Sec.	Intervalla mediocria	Itinera diurna.
Saturni Aphelij	1. 53.		1065
Perihelij	2. 7.	9510.	1208
Iovis Aphelij	4. 44.		1477
Perihelij	5. 15.	5200.	1638
Martis Aphelij	28. 44.		2627
Perihelij	34. 34.	1524.	3161
Telluris Aphelia	58. 6.		3486
Perihelia	60. 13.	1000.	3613
Veneris Aphelia	95. 29.		4149
Perihelia	96. 50.	724	4207
Mercurij Aphelij	201. 0.		4680
Perihelij	307. 3.	388.	7148



Kepler kérdése:

Miért akkorák a pályaméretetek,
mint amit kimértem?

Válasz: **A bolygók „szférái” köré
a szabályos testek írhatók,
melyek belülről érintik a
következő bolygó szféráját.**

Téves válasz, de tükrözi, hogy
Kepler mindenütt kereste az
okokat.

Bolygópálya paraméterek és szabályos testek.

Válogatás a „Harmonices Mundi”-ból



Egy kis zeneelmélet.



A bolygók dallama. (pályaparaméterekből)

Kepler további csillagászati eredményei

Törvények okának keresése: Sikertelen, de jellegében előremutató gondolatok.

- az arisztotelészi mechanika alapján nem megy
- megérzés: a Nap vonzza a bolygókat és ez biztosítja a keringést
- Nap vonzása: hasonlít a mágnesességhez (a gravitációs erő megsejtése)
- nem tudja a választ, miért nem érezzük a Föld mozgását

Kb. 20% pontossággal megadja a Naprendszer valódi méreteit.

Nem kétséges, hogy a Nap nagyságrendekkel nagyobb a Földnél.

Asztrológiai jóslatok és a megfigyelések módszeres összevetése: az asztrológia téves.
(Munkaköri kötelességből készít horoszkópokat.)

Jó távcsövet épít. (Galilei nyomán, lásd később.)

Műveinek visszhangja: **többször elfogadás.** (Üldözés nem éri, mert szakmai kérdésekről megalapozottan ír.)

Összefoglalás

Sok előremutató lépés történt a mechanika területén 1300–1620 közt:

- **Technikai fejlődés.** Fejlettebb gépek, pontosabb mérőeszközök.
- **Túllépés a peripatetikus dinamikán.** Sajnos még nincs új, teljes elmélet.
- **Fontos új fogalmak és módszerek:**
 - Buridan: impetus. Tehetetlenség törvényének megsejtése.
 - Oresmius, ...: grafikonok, pillanatnyi sebesség.
 - Oresmius: a relatív mozgás fontosságának ötlete.
 - Benedetti, Beeckman, ...: szabadon eső testek törvényeinek felderítése.
- **Túllépés a geocentrikus világmélen.** A ptolemaioszinál egyszerűbb és pontosabb modell, a naprendszer méreteinek megállapítása.

A nagy előrelépést a mechanikai alapok tisztázása jelenti nemsokára...

Az 1500-as évektől a természettudományos haladás középpontja Európa lesz.
(Sajnos, mi a törökkel vagyunk kénytelenek hadakozni és kimaradunk ebből...)