

Fizikatörténet

Galileo Galilei mechanikai és csillagászati eredményei

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

v 1.5

Bevezetés

Áttörés a mechanikában: Isaac Newton, 17. szd. második fele.

Newton megjegyzése: *„Csak azért láttam egy kicsit messzebbre a többieknél, mert óriások vállán álltam.”*

Bevezetés

Áttörés a mechanikában: Isaac Newton, 17. szd. második fele.

Newton megjegyzése: *„Csak azért láttam egy kicsit messzebbre a többieknél, mert óriások vállán álltam.”*

Az eddig említett „óriások”: Oresmius, Buridan és társaik, Stevin, Beeckman, Kopernikusz, Tycho Brahe, Kepler.

Következő óriás: **Galileo Galilei**. (Csak a mechanikai (földi és égi) eredmények.)

Bevezetés

Áttörés a mechanikában: Isaac Newton, 17. szd. második fele.

Newton megjegyzése: „*Csak azért láttam egy kicsit messzebbre a többieknél, mert óriások vállán álltam.*”

Az eddig említett „óriások”: Oresmius, Buridan és társaik, Stevin, Beeckman, Kopernikusz, Tycho Brahe, Kepler.

Következő óriás: **Galileo Galilei**. (Csak a mechanikai (földi és égi) eredmények.)

A kiemelt figyelem oka:

- Önmagukban is jelentős tudományos felfedezések és események.
- Galilei felfedezései nemcsak a newtoni mechanikát készítik elő.
- Jellemző időszak: hogyan alapozódik meg egy nagy áttörés.
- Galileire sokszor hivatkoznak, gyakran tévesen.

Galileo Galilei (1564–1642) munkássága

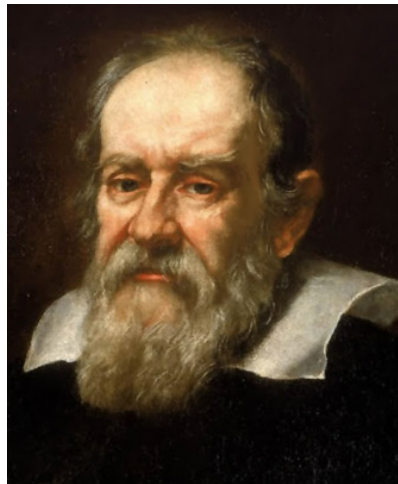
AFKT 3.3.2

AFKT 3.3.5

Galilei az egyik legnagyobb hatású természettudós a történelemben.

Galilei-per: Vallási vitákba is keveredett, amit a későbbi korokban sokat emlegetnek.

⇒ Galilei értékelését ideológiai és politikai szempontok is torzítják.



Galilei mechanikai munkái: áttekintés

- Jelentős eredmények a mechanikában (elődeire alapozva).
- Elsőként alkalmazza a távcsövet a csillagászatban.
- Az arisztotelészi mechanika és csillagászat sok pontjának cáfolata.
- Eltökélt, de szakmailag gyenge lábakon álló érvelés a kopernikuszi rendszer mellett. (Lásd a Galilei-pert.)

Galilei mechanikai munkái: áttekintés

- Jelentős eredmények a mechanikában (elődeire alapozva).
- Elsőként alkalmazza a távcsövet a csillagászatban.
- Az arisztotelészi mechanika és csillagászat sok pontjának cáfolata.
- Eltökélt, de szakmailag gyenge lábakon álló érvelés a kopernikuszi rendszer mellett. (Lásd a Galilei-pert.)

Két fő mű: (a mechanikát tárgyalók közül)

Dialogo (1632): főként a Föld mozgásairól, csillagászatról, részben mechanikáról.
Inkább filozófia, mint fizika.

Discorsi (1638): ez már fizika; statikai problémák helyes megközelítésben, lejtőn guruló test mozgástörvényei, inga, ferde hajítás leírása.

Galilei vizsgálati módszere

Vizsgálati módszer: Élete utolsó nagy művére, a Discorsi-ra letisztul.

- fogalom tisztázása
- hipotézis
- matematikai következmény felmérés
- kísérleti ellenőrzés
- ha kell, visszalépés valamelyik korábbi szintre

Galilei vizsgálati módszere

Vizsgálati módszer: Élete utolsó nagy művére, a Discorsi-ra letisztul.

- fogalom tisztázása
- hipotézis
- matematikai következmény felmérés
- kísérleti ellenőrzés
- ha kell, visszalépés valamelyik korábbi szintre

Ez azóta is hatásos módszer.

A görög természettudósok az utolsó két lépést szerették mellőzni.

Szabadesés és lejtőn gurulás

Egyenletesen gyorsuló mozgás tanulmányozása. (Nem ő az első, lásd korábban!)

- **Gond:** az esés túl gyors.

Pl. az eső test az első 2 s-ben 20 m-t tesz meg. A fokozatos gyorsulás részletei nehezen mérhetőek.

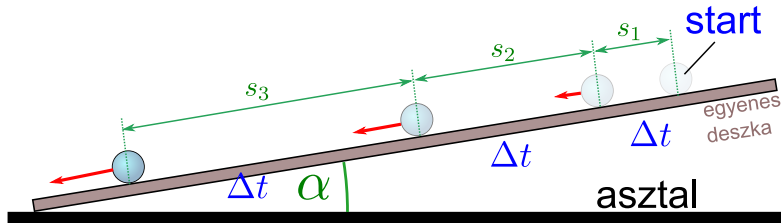
- **Ötlet:** a lejtőn való legurulás ugyanilyen, de lassabb.

Galileinek szerencséje volt, hogy tényleg ennyire hasonlít a két mozgás...

- **Módszer:** egyenletes időközönként bejelölte a test helyzetét.

Saját építésű óra „ketyegésének” ütemére jelölte be krétával a test helyzetét.

A korábbiaknál sokkal pontosabb mérések!



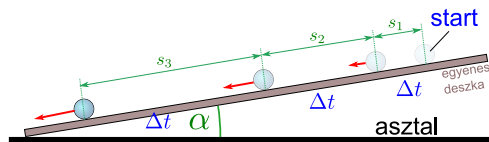
Szabadesés és lejtőn gurulás

Az egyenlő hosszú idők alatt megtett utak arányai a páratlan számoknak felelnek meg.

$$s_1 : s_2 : s_3 : s_4 : \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : \dots$$

Galilei ebből bebizonyítja: $s(t) = (a/2)t^2$.

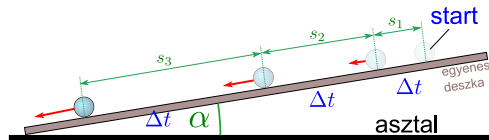
(Ezt korábban mások már megmutatták az egyenletesen változó mozgás esetére.)



Szabadesés és lejtőn gurulás

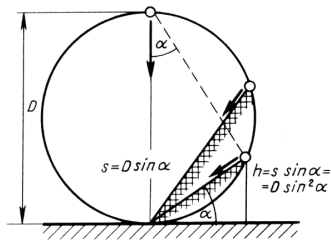
Az egyenlő hosszú idők alatt megtett utak arányai a páratlan számoknak felelnek meg.

$$s_1 : s_2 : s_3 : s_4 : \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : \dots$$



Galilei ebből bebizonyítja: $s(t) = (a/2)t^2$.

(Ezt korábban mások már megmutatták az egyenletesen változó mozgás esetére.)



Galilei tovább megy:

- Szögfüggés: $a = g \cdot \sin(\alpha)$.
- Hogyan szerkesszük meg egy adott legurulási időhöz tartozó lejtő hosszát?
- Érdekes lejtős tételek. Pl: az egy pontba befutó, azonos legurulás-idejű lejtők végpontjai egy körön vannak.

Szabadesés és lejtőn gurulás

Többi tételét is **geometriailag fogalmazza meg**. (A számolás, egyenletrendezés alapjai már adottak, de nem széles körben ismertek.)

Tipikus probléma-kitűzés: *Adott egy lejtő rajzzal. Szerkesszük meg azt a lejtőt, ami ugyanilyen hosszú, de a lecsúszás ideje kétszerese az eredetinek.*

Érdekesség: **Az időtartamokat is szakaszhosszal adja meg és szerkeszti.**

(Emlékezzünk: Oresmius veti fel, hogy az idő hasonló dimenzió, mint a tér.)

Szabadesés és lejtőn gurulás

Többi tételét is **geometriailag fogalmazza meg**. (A számolás, egyenletrendezés alapjai már adottak, de nem széles körben ismertek.)

Tipikus probléma-kitűzés: *Adott egy lejtő rajzzal. Szerkesszük meg azt a lejtőt, ami ugyanilyen hosszú, de a lecsúszás ideje kétszerese az eredetinek.*

Érdekesség: **Az időtartamokat is szakaszhosszal adja meg és szerkeszti.**

(Emlékezzünk: Oresmius veti fel, hogy az idő hasonló dimenzió, mint a tér.)

Ejtési kísérletek:

- Pisai Egyetemen. (Valószínűleg nem a ferde toronyban!)
- Bizonyítja, hogy az arisztotelészi mechanika téves.
- Nem ő az első! (...nem is állítja)
- Nehézségi gyorsulás: kb. 8 m/s^2 . (Nem tartotta fontosnak a pontos értéket.)

Hajítás, komponensekre bontás

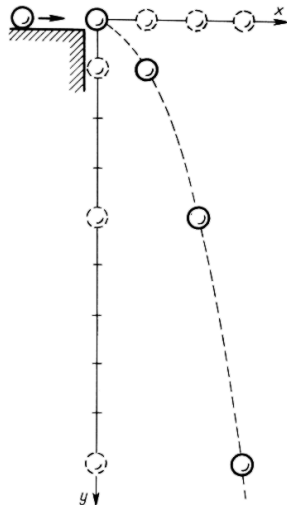
Galilei: az elhajított test pályája parabola!

Jelentőség:

- Praktikus: lövedékek röppályája.
- Elvi: A komponensekre bontás ötlete.

A komponensekre bontás ötlete a koordináta-geometria előfutára és máig is fontos módszer a mechanikában.

Itt is a szerkesztés a fő módszer: a görög geometria eredményeire támaszkodik.



Ingamozgás

Megbízható **időmérő szerkezet** kellett a kutatásokhoz, de érezte ennek gyakorlati hasznát is.

- első próbák: saját pulzust használta ütemnek
- később: vízóra, vízcsepegés egyenletes ütemben
- pontos eszköz: ingaóra

Ingamozgás

Megbízható **időmérő szerkezet** kellett a kutatásokhoz, de érezte ennek gyakorlati hasznát is.

- első próbák: saját pulzust használta ütemnek
- később: vízóra, vízcsepegés egyenletes ütemben
- pontos eszköz: ingaóra

Ingamozgás törvényei:

- **Lengésidő közel független a kitéréstől.** (De tévesen azt hitte, nagy szögekre is.)
- Lengésidő hossz-függésének megállapítása.

Ingamozgás

Megbízható **időmérő szerkezet** kellett a kutatásokhoz, de érezte ennek gyakorlati hasznát is.

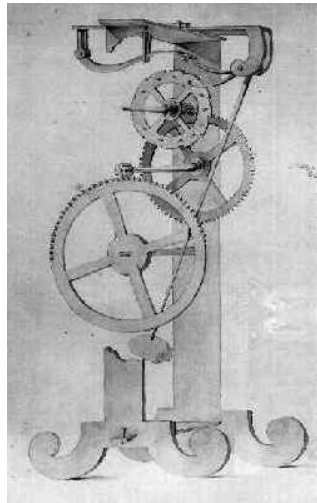
- első próbák: saját pulzust használta ütemnek
- később: vízóra, vízcsepegés egyenletes ütemben
- pontos eszköz: ingaóra

Ingamozgás törvényei:

- **Lengésidő közel független a kitéréstől.** (De tévesen azt hitte, nagy szögekre is.)
- **Lengésidő hossz-függésének megállapítása.**

Inga és időmérés:

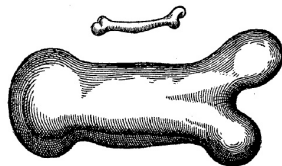
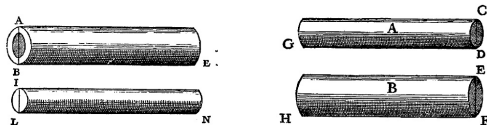
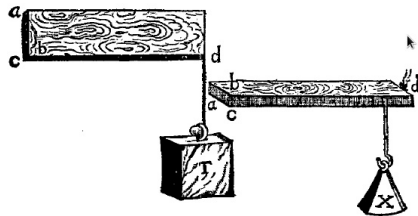
- Eleinte csak egyszerű inga, ami minden kitéréskor hangot ad. (Metronóm)
- Később összetett fogaskerekes szerkezet, az ingaóra őse.



Szerkezetek méretfüggése

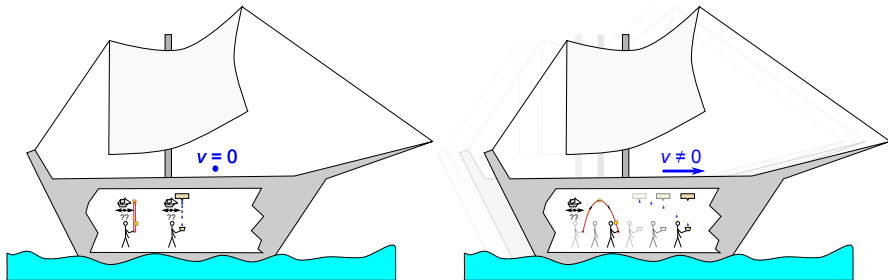
Rájön, hogy ha egy szerkezetet (mondjuk egy darut) 2-szeres méretekkel építünk meg, akkor tömege 8-szorosan, de keresztmetszetei csak 4-szeresen növekednek.

- Szerkesztési módszer adott teherbírású gerendák méretezéséhez.
- Alkalmazás nagyobb szerkezetek, hajók építésénél.
- Érdekes alkalmazás az állatok csontvázaira: Ezért „vaskosabbak” a nagyobb állatok.



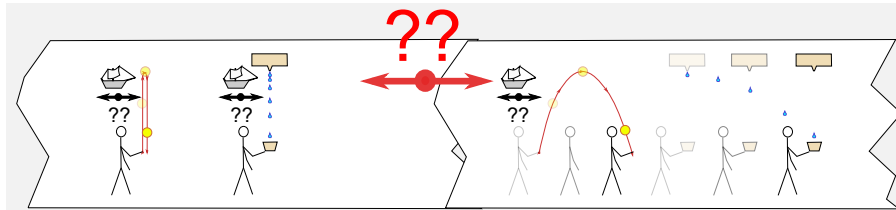
Galilei-féle relativitási elv

Hajó belsejében eldönthető-e, hogy a hajó áll, vagy egyenletesen halad?



Galilei-féle relativitási elv

Hajó belsejében eldönthető-e, hogy a hajó áll, vagy egyenletesen halad?



Galilei válasza: nem dönthető el!

Az egyenletes mozgás nem különböztethető meg a nyugalomtól.

(Már Oresmius is leírta ezt, de az utókor Galileihez köti.)

Galilei: **a körmozgás a természetes mozgás**, nem pedig az egyenes vonalú. (A tenger felszíne gömb alakú!)

Newton I. törvényének előfutára, de félig leragad Arisztotelésznél.

A távcső csillagászati felhasználása

AFKT 3.3.1

Nem tudni, ki fedezte fel a távcsövet. Talán holland optikusok vagy hajósok.

(Vagy már az asszírok? Vagy az arab tudósok? Vagy ... Nem tudjuk.)

Lencsét régóta csinálnak, szemüveget régóta használnak, de nem tisztázott, távcsövet állítottak-e össze az 1600-as évek előtt.

Ami szinte biztos: **Galilei használja először csillagászati célokra a távcsövet.**

Földi alkalmazásokon is dolgozott, hadseregnek is szállított, fejlesztette a gyártástechnológiát.



Galilei a Velencei Dózsénak mutatja távcsövét.

Galilei főbb csillagászati eredményei: előzetes

Galilei megfigyelései számtalan helyen ellentmondanak Arisztotelésznek.

- *Ókori görögök: Az égitestek tökéletes gömb alakúak.*
 - **A Hold felszínén hegyek és sík területek váltakoznak.** Hegyek közelítő magasságmérése árnyékok alapján.
 - **A Napon foltok vannak.** Ezekkel a Nap forgása is kimutatható.
 - **A Szaturnusz elnyúlt, furcsa alakú.** Nem tudja felbontani a gyűrűt, nem érti mi az, de látja, hogy semmiképp nem gömb alakú.

Galilei főbb csillagászati eredményei: előzetes

Galilei megfigyelései számtalan helyen ellentmondanak Arisztotelésznek.

- *Ókori görögök: Az égitestek tökéletes gömb alakúak.*
 - **A Hold felszínén hegyek és sík területek váltakoznak.** Hegyek közelítő magasságmérése árnyékok alapján.
 - **A Napon foltok vannak.** Ezekkel a Nap forgása is kimutatható.
 - **A Szaturnusz elnyúlt, furcsa alakú.** Nem tudja felbontani a gyűrűt, nem érti mi az, de látja, hogy semmiképp nem gömb alakú.
- *Ókori görögök: A bolygók szférákba rendeződnek, a Vénusz mindig közelebb van a Földhöz, mint a Nap.*
 - **Vénusz ugyanolyan fázisokat mutat, mint a Hold.** Ezek csak úgy magyarázhatók, ha néha közelebb, néha távolabb van, mint a Nap.

Galilei főbb csillagászati eredményei: előzetes

Galilei megfigyelései számtalan helyen ellentmondanak Arisztotelésznek.

- *Ókori görögök: Az égitestek tökéletes gömb alakúak.*
 - **A Hold felszínén hegyek és sík területek váltakoznak.** Hegyek közelítő magasságmérése árnyékok alapján.
 - **A Napon foltok vannak.** Ezekkel a Nap forgása is kimutatható.
 - **A Szaturnusz elnyúlt, furcsa alakú.** Nem tudja felbontani a gyűrűt, nem érti mi az, de látja, hogy semmiképp nem gömb alakú.
- *Ókori görögök: A bolygók szférákba rendeződnek, a Vénusz mindig közelebb van a Földhöz, mint a Nap.*
 - **Vénusz ugyanolyan fázisokat mutat, mint a Hold.** Ezek csak úgy magyarázhatók, ha néha közelebb, néha távolabb van, mint a Nap.
- *Ókori görögök: Minden égi mozgás középpontja a Föld.*
 - **A Jupiter körül 4 hold kering.**

Galilei főbb csillagászati eredményei: előzetes

Galilei megfigyelései számtalan helyen ellentmondanak Arisztotelésznek.

- *Ókori görögök: Az égitestek tökéletes gömb alakúak.*
 - **A Hold felszínén hegyek és sík területek váltakoznak.** Hegyek közelítő magasságmérése árnyékok alapján.
 - **A Napon foltok vannak.** Ezekkel a Nap forgása is kimutatható.
 - **A Szaturnusz elnyúlt, furcsa alakú.** Nem tudja felbontani a gyűrűt, nem érti mi az, de látja, hogy semmiképp nem gömb alakú.
- *Ókori görögök: A bolygók szférákba rendeződnek, a Vénusz mindig közelebb van a Földhöz, mint a Nap.*
 - **Vénusz ugyanolyan fázisokat mutat, mint a Hold.** Ezek csak úgy magyarázhatók, ha néha közelebb, néha távolabb van, mint a Nap.
- *Ókori görögök: Minden égi mozgás középpontja a Föld.*
 - **A Jupiter körül 4 hold kering.**

Sok egyéb eredmény, pl. a Tejút csillagokra bontása.

A Hold felszíne

Galilei kb. ilyen felbontású képet látott:

Megállapítja:

A Hold felszínén hasonló alakzatok vannak, mint a Földön.

- hegyek
- sík vidékek (Galilei szerint tengerek is)
- völgyek (Galilei szerint folyók is)



A Hold felszíne

Galilei kb. ilyen felbontású képet látott:

Megállapítja:

A Hold felszínén hasonló alakzatok vannak, mint a Földön.

- hegyek
- sík vidékek (Galilei szerint tengerek is)
- völgyek (Galilei szerint folyók is)

Következtetés: **a Föld nem egyedülálló fizikájú hely.**

Nem bizonyítja, csak elképzelhetőbbé teszi: Föld csak egy bolygó a többi közül.

Biztos: **ez az égitest nem a görögök által elképzelt ideális gömb.**



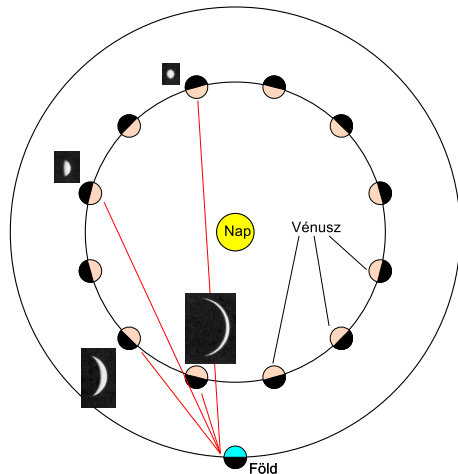
A Vénusz fázisai

A Naphoz viszonyított helyzet függvényében a Vénusz alakja és szögmérete speciálisan változik.

- A kopernikuszi rendszerben ez tökéletesen érthető.
- A ptolemaiosziban ez érthetetlen, mert a Vénusz ott mindig közelebb van a Földhöz, mint a Nap.

Nem magyarázható a földközéppontú rendszer segítségével!

(Tycho Brahe rendszerének megfelelne!)



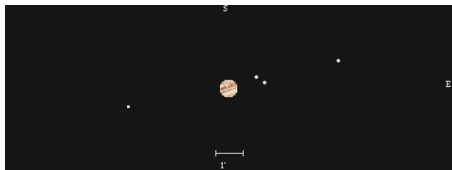
Jupiter-holdak

Galilei kézírata a Jupiter-holdak felfedezéséről:



... mit láthatott Galilei? (szimuláció, 4 óránkénti helyzet)

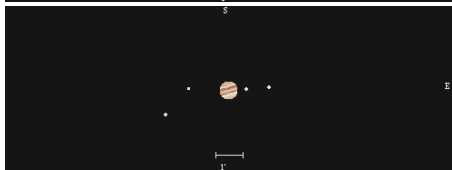
1.



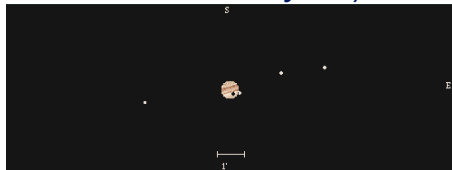
3.



5.



2.



4.



6.



Nem csak a Föld lehet keringési középpont.

Elméleti magyarázat: önellentmondások, tévedések

Galilei megfigyelései **sok helyen bizonyítják az arisztotelészi világkép hibáit.**

Elméleti magyarázat: önellentmondások, tévedések

Galilei megfigyelései **sok helyen bizonyítják az arisztotelészi világkép hibáit.**

A magyarázatokban Galilei több érthetetlen hibát vét:

- **Ragaszkodik a körpályákhoz, pedig már ismeri Kepler munkáit**, és azt, hogy körpályákkal csak pontatlan értékeket kapunk.
 - **Az árapályt tévesen a Föld forgásával magyarázza.** Pedig az árapályról régóta tudják, hogy a Holddal és a Nappal kapcsolatos.
 - **Nem következetes a saját relativitási elvével kapcsolatban.** Pl. azt állítja, hogy a passzátszelet a Föld forgása okozza.
- + **Vitákban agresszíven viselkedik.** Meg van győződve a kopernikuszi rendszer igazáról és az ellenzőket nevetségessé igyekszik tenni. Sok haragost szerez.

A Galilei-per

Az egész erősen át van politizálva és túlideologizálva.

Talán a legközismertebb fizikatörténeti esemény, ezért foglalkozunk vele.

Tudománytörténetileg biztos:

- Galilei fontos réseket fedezett fel az arisztotelészi rendszeren.
- Érezte az arisztotelészi mechanika hiányosságait.
- Érvelése nem mindig következetes és nem mindig korszerű
- Nem tudta megválaszolni: miért nem érezzük a Föld forgását, mozgását. (Majd csak Newton tudja.)

Miért is volt a per?

A Galilei-per előzményei

Arisztotelész újra felfedezése: 11–12.sz.d.-tól. \Rightarrow **Az arisztotelészi filozófia adja a teológia kereteit.**

Eredetileg ez nem volt merev ragaszkodás: a 14. században Oresmius (katolikus püspök) és Buridan bátran kritizálja az arisztotelészi mechanikát.

A Galilei-per előzményei

Arisztotelész újra felfedezése: 11–12.sz.d.-tól. \Rightarrow **Az arisztotelészi filozófia adja a teológia kereteit.**

Eredetileg ez nem volt merev ragaszkodás: a 14. században Oresmius (katolikus püspök) és Buridan bátran kritizálja az arisztotelészi mechanikát.

Speciális körülmények a 17.sz.d. elején:

- **Reformáció-ellenreformáció:** a Katolikus Egyház érzékenyebb a hitelvek támadására.
- **Harmincéves Háború (1618–1648):** Szövetségi rendszereken keresztül egész Európa érintett, mindenki érzékenyebb egy potenciális lázadásra.
- **Giordano Bruno (1548–1600):** Kopernikuszi elméletet felhasználó, a Katolikus Egyház tanítása ellen tanító filozófus. A kopernikuszi elmélet „rossz társaságba keveredik.”

Giordano Bruno (1548–1600)

A Galilei-per megértéséhez elengedhetetlenül szükséges

Giordano Brunoról beszélni.

Önmagában is jelentős tudósnak tartják, bár inkább
filozófus, mint fizikus vagy csillagász.

Giordano Bruno (1548–1600)

A Galilei-per megértéséhez elengedhetetlenül szükséges Giordano Brunoról beszélni.

Önmagában is jelentős tudósnak tartják, bár inkább filozófus, mint fizikus vagy csillagász.

Domonkos rendi szerzetes. Sokáig vándorol Európában.

Érdeklődési körök:

- Teológia, filozófia.
- Ókori filozófiai rendszerek, hermeneutika.
- Memorizálási technikák.
- Kozmológiai megfontolások Kopernikusz rendszere alapján.

Nem csillagász vagy fizikus!

Saját méréseket vagy számításokat nem végez!



Giordano Bruno és a csillagászat

Felhasználja a kopernikuszi eredményeket.

- Nap=Jézus, Föld=Katolikus Egyház, Bolygók=többi egyház (reformáció).
Bruno: **Ahogy rájöttünk, hogy nem a Föld a középpont, hanem a Nap, úgy váltsunk szemléletet: Jézus a középpont és az egyházak hasonló helyzetben „keringjenek” körülötte.**
Ma már ezt elfogadjuk (ökumenizmus), de akkor egyik egyház sem támogatta.
- Nem is a Nap a középpont, minden csillag egy nap, esetleg sok bolygóval.
Semmilyen tudományos megfigyelés nem támasztotta alá, csak megérzés volt.
Mégcsak nem is Jézus a lényeg, Isten mindenütt jelen van a természetben.
Panteista (Isten = természet) elképzelés.

+ Sok olyan elképzelés, ami eretnekségnek számított.

Giordano Brunot eretnekségért ítélik halálra, nem csillagászati elképzeléseiért.

Sajnálatos következmény: a heliocentrikus világkép rossz összefüggésbe kerül.

(A Föld mozgása ellen több érv szólt akkoriban, mint mellette!)

A Galilei-per okai

Akkor miért indul per 1633-ban? Lehetséges okok:

- **A Pápa személyes bosszúja?** (A pápa régebben jó barátja volt Galileinek, de a Dialogoban kifigurázza nézeteit.)
- **Sok befolyásos ellenség.** Galilei igen durva vitapartner, a Dialogoban is lekezelően szól a más nézetet vallókról.
- **Kritikus téma feszegetése.** (Az arisztotelészi filozófia volt a hivatalos világkép. Akkortájt ezt támadni politikai felhangot is hordozott.)
- **Hasonlóság Giordano Brunoval?**
- **Tudományosan nem teljesen helytálló érvelés?** (Sok pontban Galileinek nincs igaza, és ezt akkor is lehetett tudni.)

Valószínűleg ezek kombinációja.

Tanait visszavonatták, házi őrizetre ítélik. Itt írja meg a Discorsit, mely legfontosabb fizikai műve.

Egyéb eredmények

Galilei jelentős eredményeket ért el az alábbi területeken is:

- Hőmérő tervezése, építése, használata.
- Hangsebesség mérése, fénysebesség mérési kísérlete.
- Mágnesességtani mérések.
- Pontos iránytű tervezése.
- Valószínűségszámítási ötletek.
- Nemzeti nyelven való írás.

Galilei értékelése, népszerűségének oka

Galilei rendkívül népszerű.

Általánosan elfogadott kép: a középkorban semmi komoly nem történt a természettudományokban, Leonardo próbálkozott valamivel, aztán Galilei volt az első érdemleges fizikus.

Látjuk, hogy ez nem igaz. Akkor miért akkora „sztár” Galilei?

- Sok valódi komoly eredmény.
- Sokat adott a népszerűsítésre, olaszul írt.
- Az emberek memóriája véges, szeretnek egy-két embert rendelni egy egész korszakhoz.
- Galilei jó „hős” volt a „felvilágosodás korában”, amikor az Egyház maradiságát akarták minden áron bizonyítani a történetírók.