

Galilei szerepe mai modern világképünk kialakulásában

„Így él Galilei”

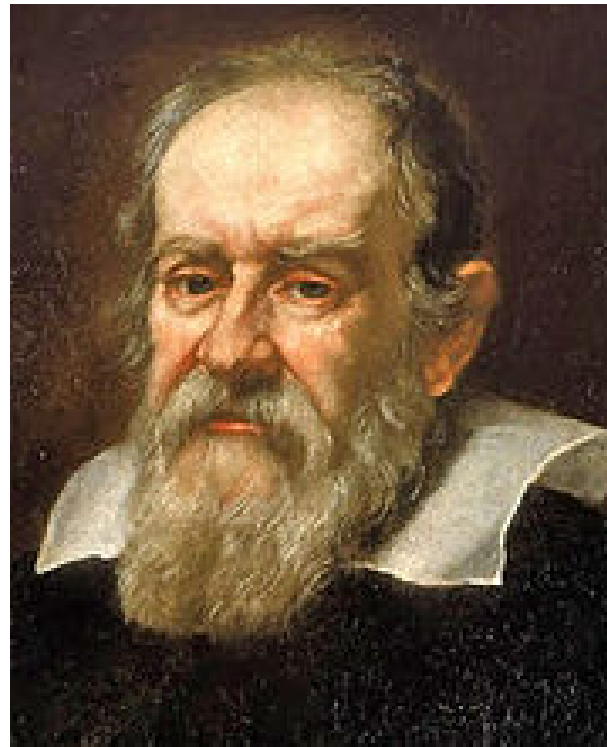
Vekerdi László

Radnóti Katalin

ELTE TTK Fizikai Intézet

rad8012@helka.iif.hu

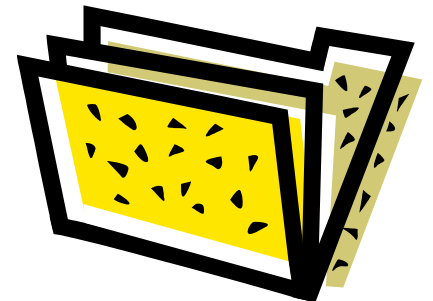
<http://members.iif.hu/rad8012/>





Az előadásban érintett témák

- Galilei élete dióhéjban
- Milyen ismeretekre támaszkodhatott?
- Gondolatainak újszerűsége saját korában
- Két fő műve, Dialogo, Discorsi
- ***A szabadesés leírása***
- Galilei, mint a fizika és a természet leírásának megalkotója
- A továbblépés iránya
- Galilei jelentősége napjainkban



Galileo Galilei élete dióhéjban I.

1564. február 15-én született Pisában.
Orvosi tanulmányok, majd 1589-ben a
pisai egyetem professzora lett.



Galileo Galilei élete dióhéjban II.

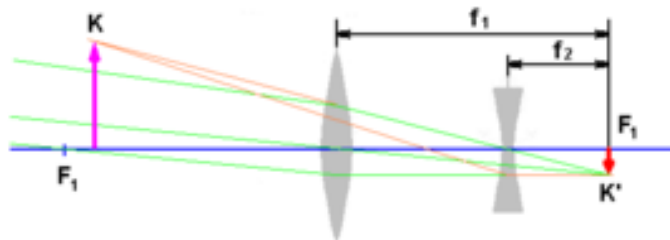
1592-ben a padovai egyetemen kapott katedrát, ahol a dinamika kérdéseivel kezdett foglalkozni.

1595-ben megállapította az ingamozgás törvényszerűségeit, 1600-ban pedig felismerte a tehetetlenség törvényét, és itt végezte lejtős kísérleteit.



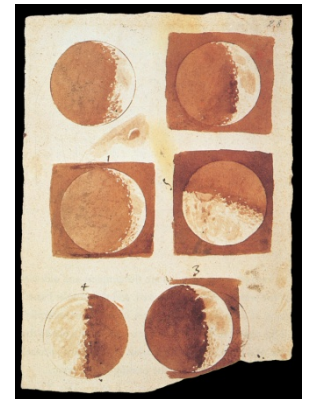
A csillagászat éve 2009.

- 1609-ben elsőként végzett egy valószínűleg általa átalakított távcső segítségével csillagászati megfigyelést (magát a távcsövet az azt megelőző években holland optikusok alkották meg, s elsősorban a tengeri hajózásnál használták).
- Az 1609-es Galilei-féle csillagászati megfigyelések emlékére a 2009-es évet az ENSZ a Csillagászat Nemzetközi Évének nyilvánította.



Galilei távcsöves megfigyelései I.

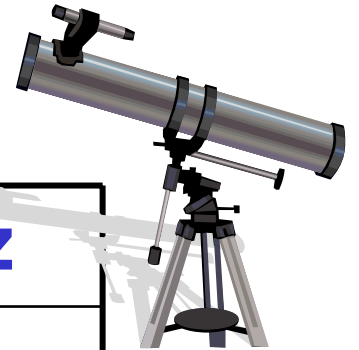
- A Jupiter négy holdját.
- A Szaturnusz gyűrűjét.
- Láta a napfoltokat.
- Távcsövén keresztül tisztán látta a Hold hegyeit.
- A bolygók fázisait.
- A Tejútrendszer csillagokból áll. Sidereus Nuncius.



Galilei távcsöves megfigyelései II.

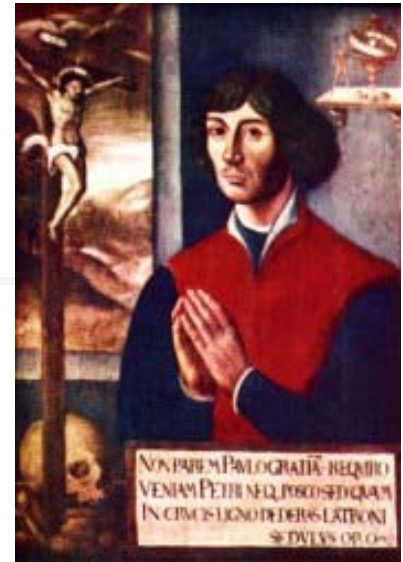
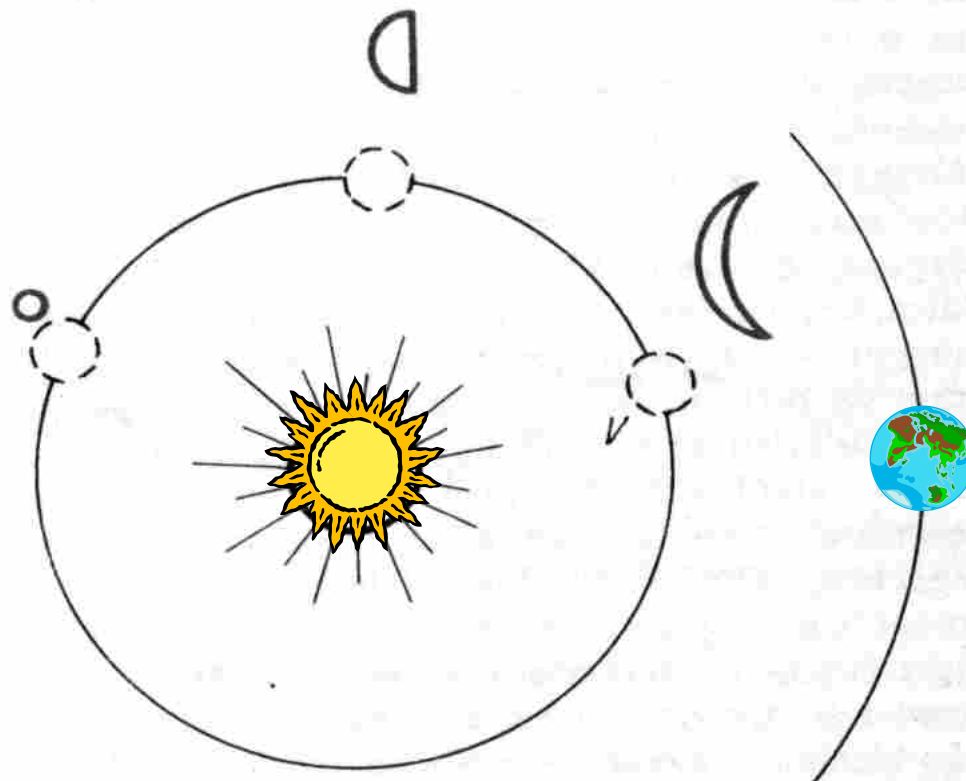
- Galilei a bolygók fázisait figyelte.
- Mit láthatott?

Ptolemaiosz	Kopernikusz
Nincs telefázis	Van telefázis
	



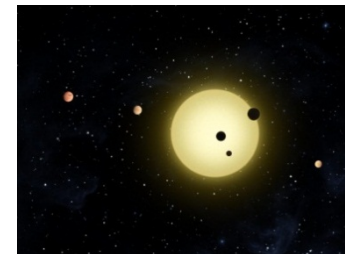
A Vénusz fázisai

Többféle magyarázat lehet!



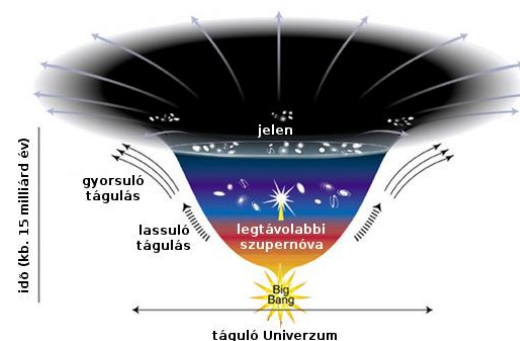
Galilei/napjaink új világképe

- Tejút – *csillagok sokasága.*
- Jupiter holdak – *nem minden égitest a Föld körül mozog.*
- Hold – *nem tökéletes gömb .*
- Giordano Bruno – *más csillagoknak is lehetnek bolygók és ott is élhetnek emberek.*



Napjaink

- Táguló világegyetem, *de lassuló* tágulással – az utóbbi évek tapasztalatai cáfolják ezt a feltevést!
- Föld típusú bolygókat fedeznek fel.
- Buborékuniverzumok víziója.

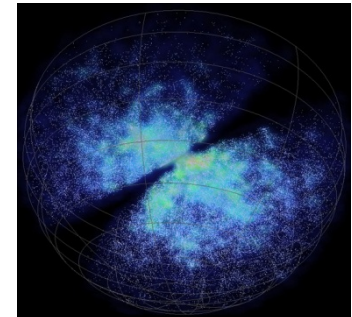
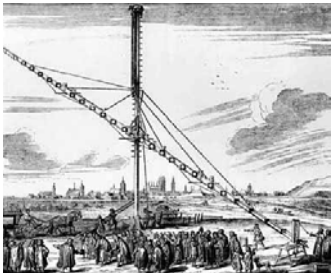
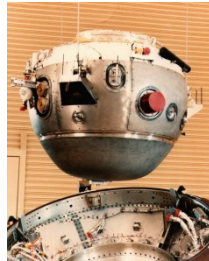
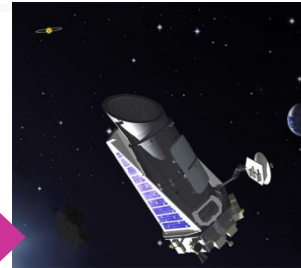
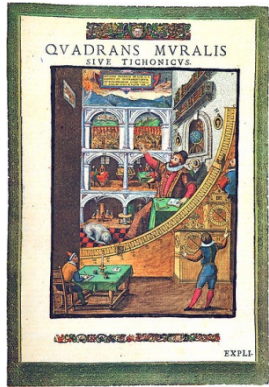


A tudomány változó rendszer!



Az ég vizsgálatának eszközei

- Tycho Brahe eszközei, cső + szögmérő
- Galilei teleszkópja (Hiúzok elnevezése)
- Későbbi hosszú teleszkópok
- Tükrös, Newton féle tükrös távcsövek
- Modern távcsövek, pl. rádiótávcső
- Űrszondák távcsövei (Hubble, *Kepler*, *Galileo szonda*)
- Számítógépes adatelemzés – galaxisok eloszlása



Galilei: Párbeszéd

Párbeszéd a két világrendszerőről, a ptolemaioszi és a kopernikuszi rendszerről 1632.



DIALOGO
DI
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STUDIO DI PISA.
E Filosofo, e Matematico primario del
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.

Due ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

Preparando indeterminatemente le ragioni Filosofiche, e Naturali
Anche per l'una, quanto per l'altro parte.

CON PRIVILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio: Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.

- 1. nap: mozgások leírása, a Föld, mint **égitest**.
- 2. nap: a Föld **forgása**.
- 3. nap: a Föld **keringése**, a kopernikuszi rendszer.
- 4. nap: árapály jelenségek.

Három beszélgető partner:

Salviati, aki valójában Galilei érveit, felfedezéseit mondja el.

Sagredo, pártatlan beszélgetőpartner.

Simplicio, aki az **arisztotelészi** nézeteket képviseli. A pápa magára ismer benne.

A szerző vele szerkeszteti meg a kopernikuszi elképzelést.

Arisztotelész fizikája

- Korrekten leírja a **mindennapi tapasztalatokat!**

Az égi és földi világ különböző.

Mindennek megvan a természetes helye,
és a felé „törekszik”.



- Voltak **megfigyelései!**
- Az ókorban is voltak **kísérletek** (Ptolemaiosz, Arkhimédész, Héron...)
- A newtoni fizika megértési nehézsége az 1. axióma, a **magára hagyott test**, mely a valóságban nem létezik,
és az **egyensúly** megértése, melyet úgy magyaráz, hogy a testre ható erők eredője zérus.



A sebesség – idő függvény első leírása

- Sagredo jelensége: egy ágyúgolyót lőnek ki a talajra merőlegesen a magasba, vagyis függőleges hajítás.
- „ A szóban forgó ágyúgolyó, még mielőtt végleg elérné a nyugalom állapotát, átmegy az egyre nagyobb lassúság minden fokán, következésképp olyan fokán is, amellyel ezer év alatt sem tudna megtenni egy araszt sem. Ha azonban ez így van – márpedig így van – nem szabad csodálkoznod rajta, ha a lefelé való visszatéréskor ugyanez a golyó a nyugalom állapotából kiindulva, úgy éri el ismét a sebességét, hogy a lassúság fenti fokozatain ismét átmegy, amelyeken felfelé való mozgása során átment, nem pedig úgy, hogy a lassúság minden magasabb fokát, amelyek a nyugalom állapotához közelebb vannak, kihagyja és ugrásszerűen átmegy egy távolabbira.”



Galilei féle relativitási elv



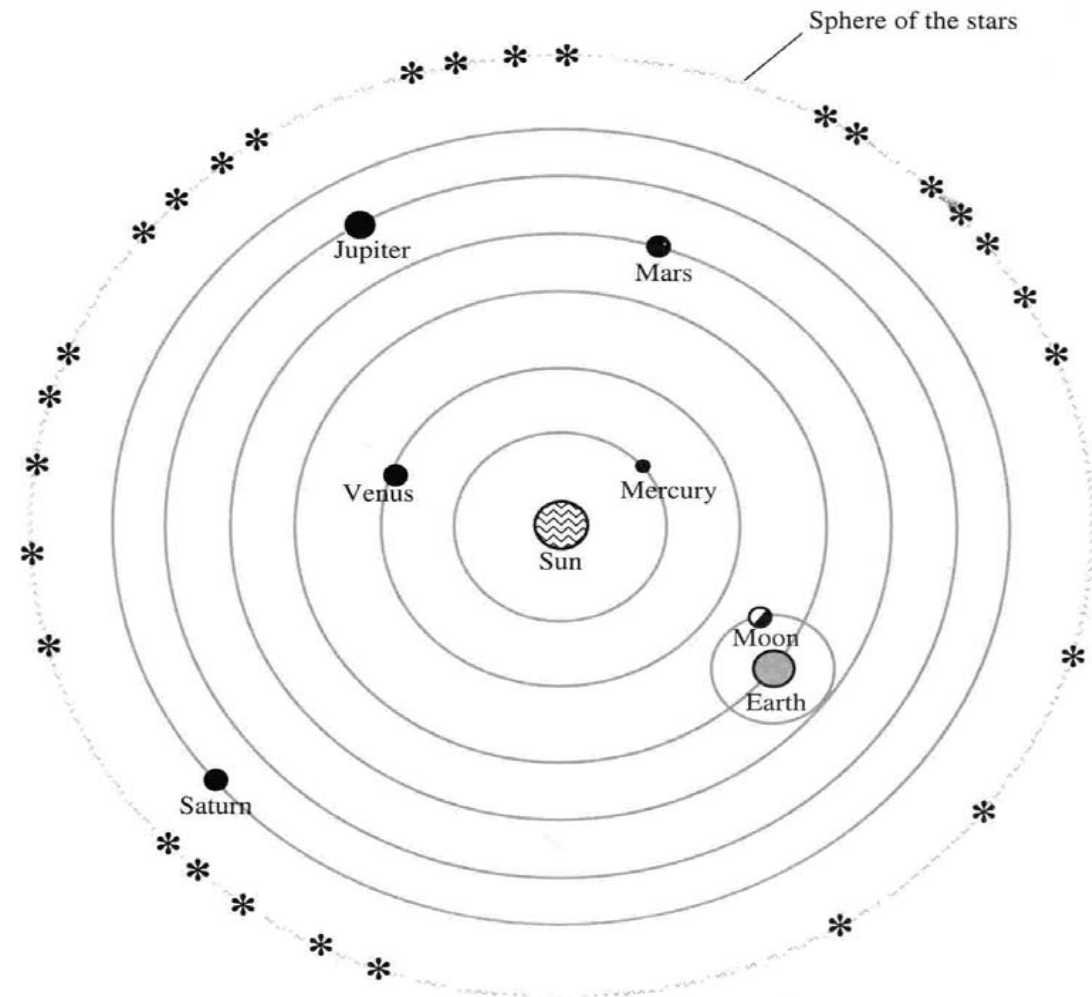
- " Zárkózzál be egy barátod társaságában egy nagy [hajó](#) fedélzete alatt egy meglehetősen nagy terembe. Vigyél oda szúnyogokat, lepkéket és egyéb röpködő állatokat, gondoskodjál egy apró halakkal telt vízesedényről is, azon kívül akassz fel egy kis vödört, melyből a víz egy alája helyezett szűk nyakú edénybe csöpög. Most figyeld meg gondosan, hogy a repülő állatok milyen sebességgel röpködnek a szobában minden irányba, míg a hajó áll. Meglátod azt is, hogy a halak egyformán úszkálnak minden irányban, a lehulló vízcseppek mind a vödör alatt álló edénybe esnek. Ha társad felé hajítasz egy tárgyat, mind az egyik, mind a másik irányba egyforma erővel kell hajítanod, feltéve, hogy azonos távolságról van szó. Ha, mint mondani szokás, páros lábbal ugrasz, minden irányba ugyanolyan messzire jutsz. Jól vigyázz, hogy mindezt gondosan megfigyeld, nehogy bármi kétely támadhasson abban, hogy az álló hajón mindez így történik.
- Most mozogjon a hajó tetszés szerinti sebességgel: azt fogod tapasztalni - ha a mozgás egyenletes és nem ide-oda ingadozó - ,hogy az említett jelenségekben semmiféle változás nem következik be. Azoknak egyikéből sem tudsz arra következtetni, hogy mozog-e a hajó, vagy sem."

Szamoszi Arisztarkhosz és Kopernikusz

Külső és belső bolygók (Van-e oppozíció? Mikor látható az égbolton? Milyen „messze” /szög/ van a Naptól?)

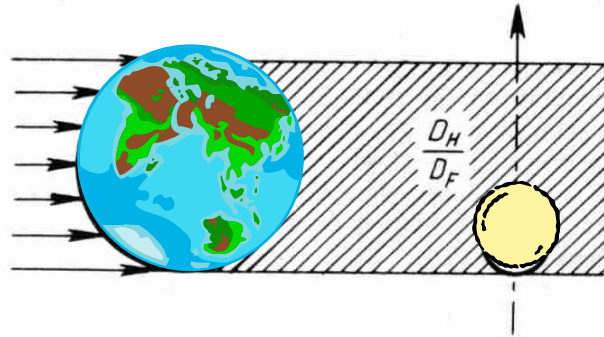


A legjelentősebb görög poliszok Athén, Spárta, Thétaj, Korinthosz

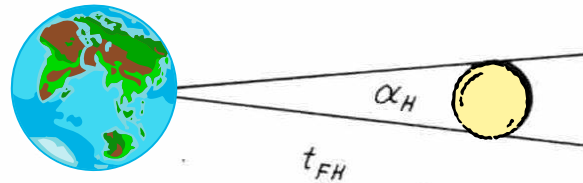


Arisztarkhosz (kr.e 310-230.) becslései (kr.e. 270. körül) I.

A Hold mérete a Földhöz képest:



A Hold távolsága:

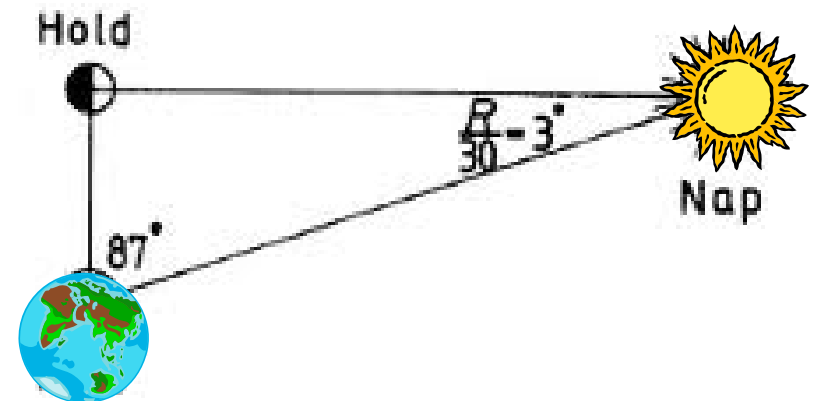


$$t_{FH} = \frac{D_H}{\alpha_H}$$

Arisztarkhosz becslései II.

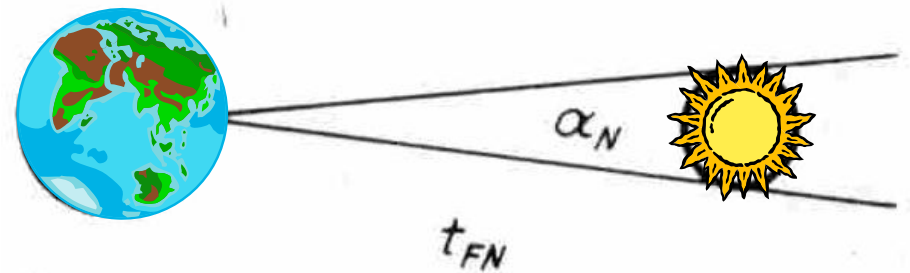
A Nap távolsága:

$$t_{FN} = \frac{t_{FH}}{\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{HN}\right)}$$

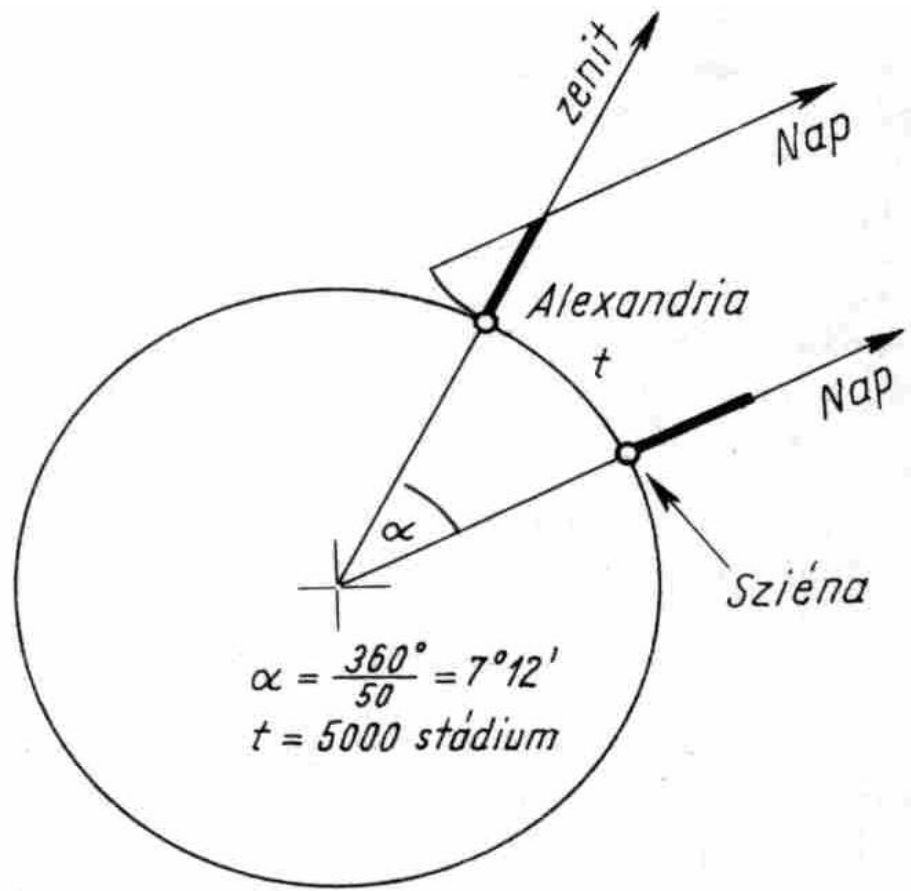


A Nap mérete:

$$D_N = \frac{t_{FN}}{\alpha_N}$$



A Föld mérete, Eratoszthenész (i.e. 230)



Néhány ókori adat

	D_H/D_F	D_N/D_F	t_{HF}/D_F	t_{NF}/D_F
<i>Mai</i>	0,27	108,9	30,2	11 726
Arisztarkhosz (-270)	0,36	6,75	9,5	180
Hipparkosz (-150)	0,33	12,33	33,66	1245
Poszeidóniosz (-90)	0,157	39,25	26,2	6500
Ptolemaiosz (150)	0,29	5,5	29,12	605

Ptolemaiosz

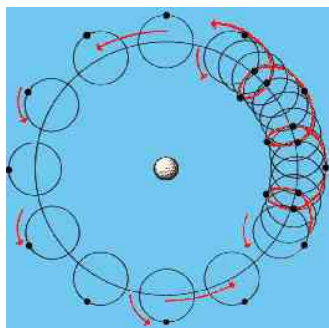
Kopernikusz

Érvek:

Nem érzékeljük a Föld mozgását, jól leírja a tapasztalatot.

Ellenérvek:

Sok kört kell használni a magyarázathoz.



Érvek:

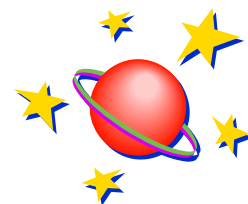
Egyszerűbb az égi jelenségek magyarázata.

Ellenérvek:

Ha Föld forogna, akkor a testek leesnének.

Mi tartja mozgásban a Földet (forgás, keringés)?

Parallaxis hiánya.

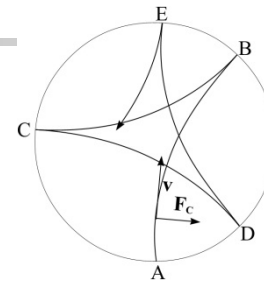


A Föld forgása

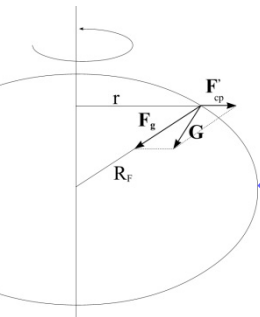
Forgó vonatkoztatási rendszer



Foucault-inga, 1851. Párizs
Coriolis-erő (1835.) okozza



Az egyenlítőn a nehézségi gyorsulás $9,81 \text{ m/s}^2$ míg a centrifugális csupán $0,037 \text{ m/s}^2$.



De ezt Galilei nem tudhatta még akkor!

Bolyai Farkas számítása szerint a Földnek 17-szer kellene gyorsabban forognia ahhoz, hogy az egyenlítőn súlytalanok legyenek a tárgyak.

A **szélrendszerek** kialakulásában valóban szerepe van a Föld forgásának.

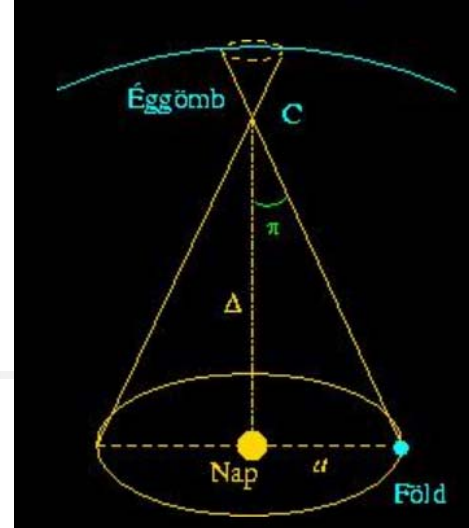
A Föld keringése

A **parallaxis** jelensége:

A Földnek a Nap körüli mozgása következtében a csillagok az égbolton látszólag elmozdulnak. Ez az elmozdulás akkor a legnagyobb, ha a Föld a Nap körüli pályájának áttellenes pontjára ér.

Friedrich Wilhelm Bessel figyelte meg

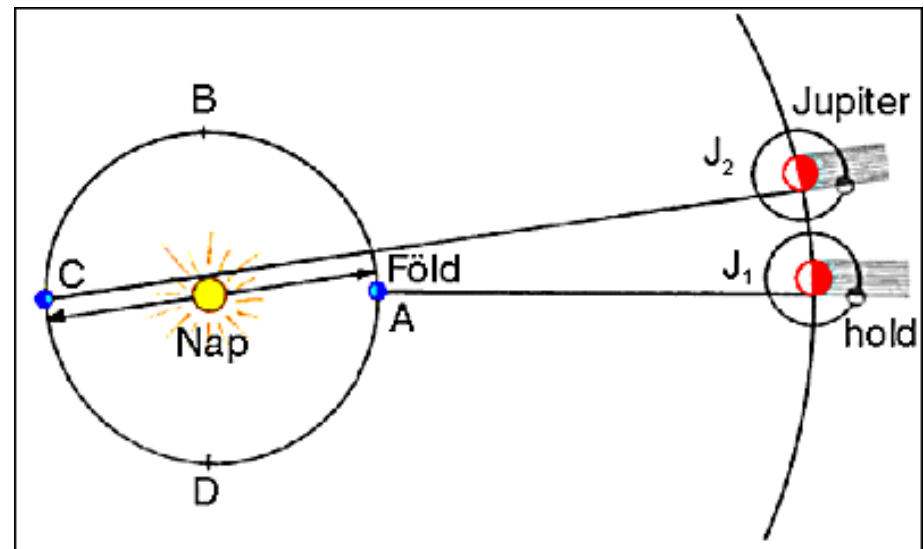
először **1838**-ban. A hozzánk legközelebb levő csillag (a Napon kívül) a 4,2 fényévre levő Proxima Centauri, melynek parallaxisa 0,77 ívmásodperc.



Römer fénysebesség mérése

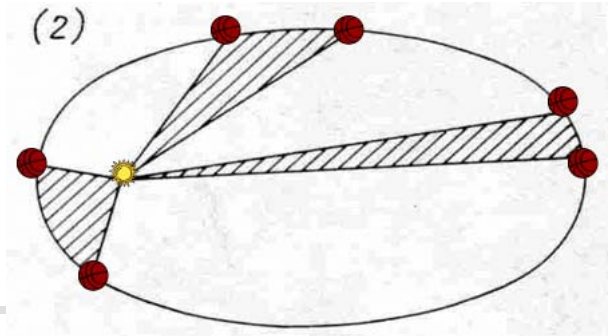
1676-ban a Jupiter holdjainak fogyatkozási idejét tanulmányozta. Azt mérte meg, hogy a holdak, miközben a bolygó körül keringenek, mennyi időt töltenek a bolygó árnyékában. Römer úgy találta, hogy amikor a Föld az ábra szerinti **A** helyzetben van a **J₁** Jupiterhez képest, illetve amikor a Föld és a Jupiter **C** és **J₂** helyzetben van, akkor különbség van a hold eltűnése és felbukkanása között, és a késések fél év alatt 1000 s-ot tesznek ki.

A megfigyelt késés az az idő, ami a fénynek a többlet út megtételéhez szükséges, vagyis amíg a fény a **Föld pályájának átmérőjével** megegyező távolságot megteszi.





Galilei és Kepler



- Galilei mindenhol **körpályáról** írt.....



„... jobban csodálkozom Kepleren, mint bárki másón. Hogyan is tudott egy olyan szabadgondolkodású és átható éleslátással megáldott ember, mikor a Föld mozgásáról szóló tan már a kezében volt, eltúrní és méltányolni olyan dolgokat, mint a **Hold uralma a víz felett**, s a rejtett tulajdonságok, amelyek nem egyebek gyermekségeknel?”

-Kepler **dinamikai** magyarázatot próbált keresni!

De Newtonig várni kellett!



Kepler és a gravitáció



„Ha két követ bárhol az űrben, ahol semmiféle harmadik test nem hat rájuk, egymás közelébe helyezünk, a két kő egymás felé fog közeledni, s találkozni fognak – akárcsak a mágnesek – egy közbenső pontban, mely a kövek tömegével arányosan a súlyosabbikhoz lesz közelebb.”

Kepler: Astronomia Nova 1609.

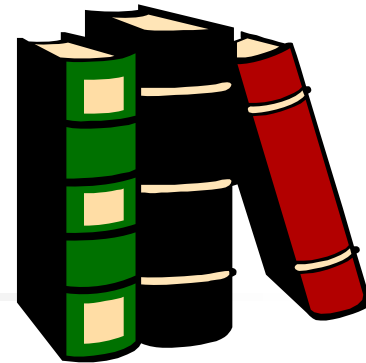
Idézi: Koestler: Alvajárók 1959.

A Galilei per

- 1616. Galilei első megintése
- 1633. A per, majd házi őrizet

*„Izzó vastrónon őt elégetétek,
De szellemét a tűz nem égeté meg,”*

Petőfi Sándor: A nép nevében



A korabeli Itália



A Discorsi keletkezése 1638. Siéna, Arcetri, Leiden

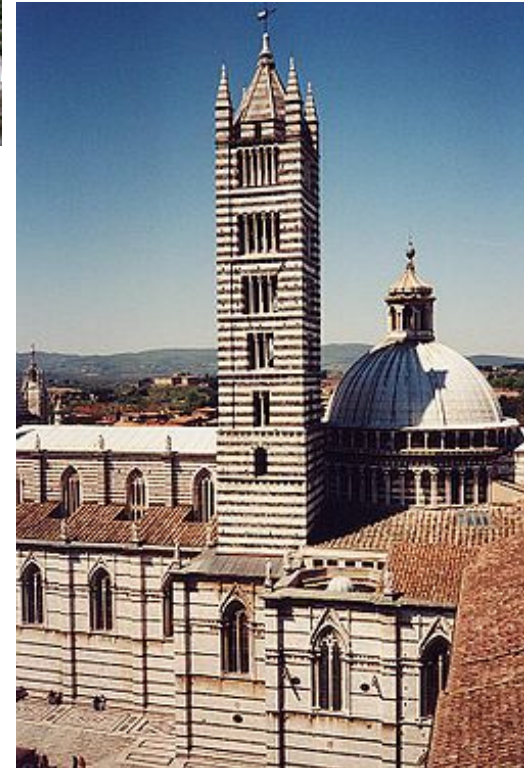
DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue scienze

Attenenti alla
MECANICA & I MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana.

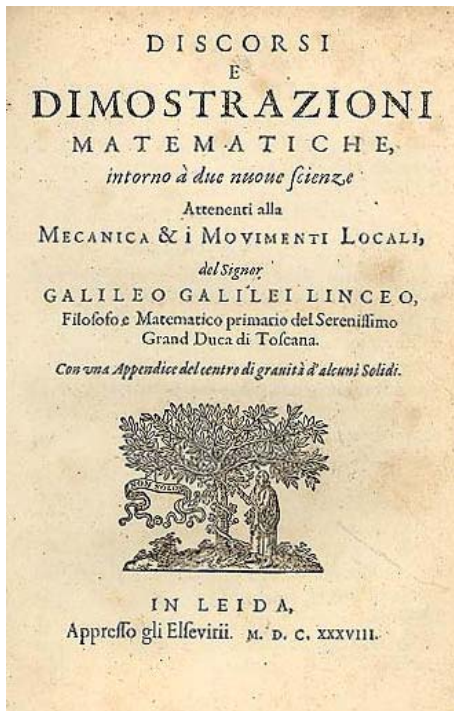
Con vna Appendice del centro di grauità d'alcuni Solidi.



IN LEIDA,
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. XXXVIII.

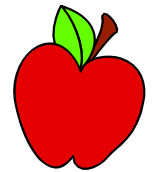


Galilei: Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből



- 1. nap: A kor anyagtudományának összegzése, a végtelen nagy és kicsi fogalma, szabadesés előkészítése.
- 2. nap: Mérnöki kérdések, tartók, gerendák.
- 3. nap: Az egyenes vonalú egyenletes mozgás és a szabadesés tárgyalása.
- 4. nap: Különböző hajítások.

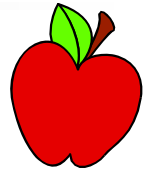
Szabadesés, súlytalanság



- Vizsgálja a különböző sűrűségű testek különféle közegekben végzett mozgásait, majd ezekből mintegy általánosítva, szinte szabályos határátmenettel eljutott ahhoz az alapvető tételhez, hogy a vákuumban minden testnek, sűrűségétől és alakjától függetlenül egyforma gyorsulással kell esnie. A következőt írja: „ ha a közeg ellenállását teljesen megszüntetnénk, minden test azonos sebességgel zuhanna.”
- „ a szabad és természetes esés során a kisebb kő nem nehezedik rá a nagyobbra, következésképpen nem növeli meg annak súlyát, mint nyugalmi állapotban teszi.”

A mozgás axiomatikus tárgyalása, latin nyelven (könyv a könyvben)

- Egyenes vonalú egyenletes mozgás.
- „A természet szerint gyorsuló mozgás”.



„DEL MOTO NATURALMENTE ACCELERATO”

Először definíciót keres, mely a következő miatt szükséges:

„ mert az ebből általunk levezett jelenségek láthatóan megfelelnek és megegyeznek azokkal, amelyeket a természetes kísérletek mutatnak az érzékeknek.”

„egy mozgást akkor nevezünk egyenletesen gyorsulónak, ha a nyugalomból induló test sebessége egyenlő időintervallumok alatt egyforma sebességmomentumokkal növekszik.”

Új jelölés, a $v(t)$ „függvény”

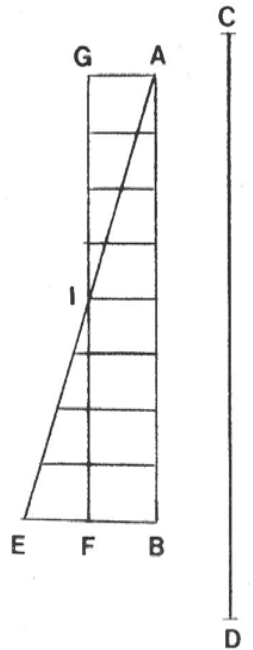
Szabadesést végző test, CD távolság

Hosszúságok aránya

- Idő – hosszúság, AB
- Sebesség – hosszúság, EB a végsebesség
- Sebesség – idő függvény

A korszak tudományos kérdése:

$v(t)$ vagy $v(s)$ egyenletes?



A négyzetes úttörvény

Az utak arányának kiszámítása a közepes sebességek használatával, mely a legnagyobb sebesség fele:

$$s_1 = \frac{v_1 \cdot t_1}{2}$$

$$s_2 = \frac{v_2 \cdot t_2}{2}$$

Majd a kettő aránya:

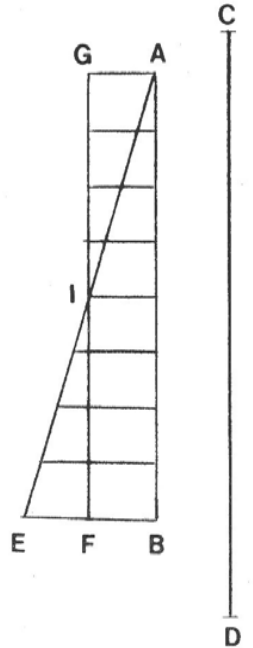
$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_1 \cdot t_1}{v_2 \cdot t_2}$$

Vegyük figyelembe a sebességek időszerinti egyenletes változását:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_1}{t_2}$$

Ezt behelyettesítjük az utak arányát leíró összefüggésbe:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$





Eredetei megfogalmazások

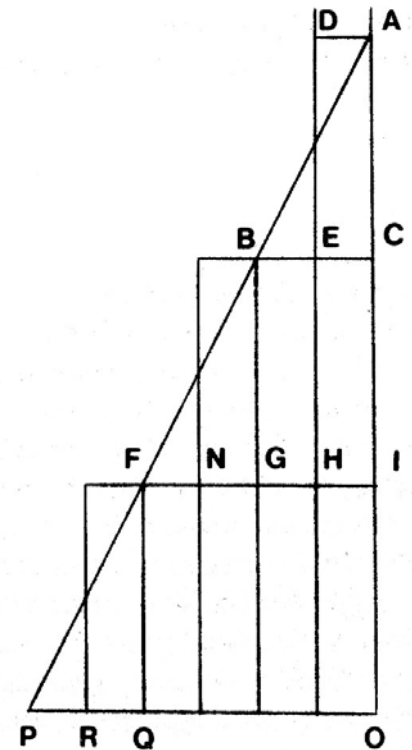
- ... két test által egyenletes mozgással megtett utak úgy aránylanak egymáshoz, mint a sebességek hányadosának és a mozgáshoz szükséges idők hányadosának szorzata. Ebben az esetben azonban a sebességek aránya megegyezik az időintervallumok arányával.”
- „Világos tehát, hogy a megtett utak aránya a mozgáshoz szükséges idők arányának négyzete”

A $v(t)$ függvény grafikus „integrálása”

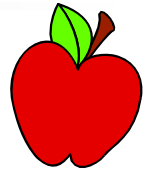
- Az AC, CI és IO időegységek egyformák. Az első időegység (AC) alatt megtett út az ACB terület, mely megegyezik az ACDE területtel. A második időegység alatt (CI) megtett út kiszámításához szintén az időintervallum alatti közepes sebességet veszi, mely láthatóan háromszorosa az elsőnek.

Az időintervallum kezdetén meglévő sebességgel két egységnyi utat tenne meg, de ehhez hozzáadódik még egy egység a gyorsulás miatt.

- A harmadik (IO) időintervallum alatt ötszöröse a megtett út az elsőnek, mely az előzőhöz hasonlóan látható. És ezek valóban az egymás után következő páratlan számok.



Szabadesés



- Egy téglalap „területe”: 5 m.
- Első időegység: 5 m.
- Következőkben 10 m a növekedés.
- Ez az egyenes meredeksége, a sebesség-idő függvény *deriváltja*, vagyis a **gyorsulás!**
- A görbe alatti terület: út, *integrálás!*

Először Galilei az, aki leírt egy ténylegesen elvégezhető és feltehetően általa ténylegesen elvégzett kísérletet.

Simplicio kérésére Salviati mondja el:

- „Kerestünk egy körülbelül tizenkét rőf hosszú, fél rőf széles, háromujnyi vastag lécet, illetve deszkát, hosszában (az éle mentén) rendkívül egyenes, ujjnyi széles csatornát vájtunk.....
- A léc egyik végét rögzítettük, a másikat pedig tetszésünk szerint egy- vagy kétrőfnyire a [vízszintes fölé emeltük](#), és hagytuk, hogy a golyó végigguruljon a csatornában; gondosan [megmértük a teljes mozgáshoz szükséges időt](#)
- Miután a kísérletet sokszor elvégeztük, és az eredmény mindig ugyanaz volt, úgy intéztük, hogy a golyó csupán a csatorna negyed részén gurulhasson le; ismét megmértük a mozgáshoz szükséges időt, és megállapítottuk, hogy a lehető legpontosabban fele az előzőnek. A [kísérletet különböző rész-utakkal](#) is elvégeztük, a teljes út megtételéhez szükséges időt előbb a fél, majd a kétharmad és a háromnegyed úthoz szükséges idővel hasonlítottuk össze, valamint más osztásokkal is; a méréseket legalább százszor megismételtük, és mindig az volt az eredmény, hogy [a megtett utak úgy aránylanak egymáshoz, mint idők négyzetei](#).....
- Az időt pedig a következő módszerrel mértük: felakasztottunk egy nagy, vízzel teli dézsát, amelyből a fenekébe illesztett csövecskéken keresztül vékony sugárban [csordogált a víz](#); a kicsorgó vizet poharakban fogtuk fel mindaddig, amíg a vizsgált mozgás (a teljes csatorna vagy annak egy része mentén) tartott; az így összegyűjtött vizeket időről időre megmértük egy rendkívül pontos mérlegen.....”
-



A természettudományos megismerés módszertana

- Modellalkotás

A fizika történetében Galilei volt az, aki első ízben beszélt a mellékes hatások elhanyagolásának szükségességéről, elképzelte, hogy milyen is lehet az úgynevezett „ideális” eset. Ő volt az, aki ezzel bevezette modellalkotást a természettudományos jelenségek leírásához, mely kiemeli a lényeges elemeket és a többit elhanyagolja, egyszerűsít, és ezzel a jelenséget hozzáférhetővé teszi a matematikai tárgyalás számára.

- Matematika és empíria összhangja.
- Napjainkban ez kiegészül a különböző számítógépes szimulációs programokkal.





Galilei szavaival:

- „Minthogy a súly, sebesség és az alak végtelen sokféleképp változhat, ezeket a jelenségeket nem tudjuk szigorú törvényekbe foglalni, ha tehát mégis tudóshoz méltóan akarjuk tárgyalni anyagunkat, el kell vonatkoztatni tőlük, majd miután felismertük és bebizonyítottuk az összes zavaró körülménytől elvonatkoztatott tulajdonságokat, a mindennapi tapasztalat megtanít, hogy törvényeink milyen korlátozások mellett érvényesek a gyakorlatban.”

Miként is fedezhette fel Galilei az időnégyzetes törvényt?

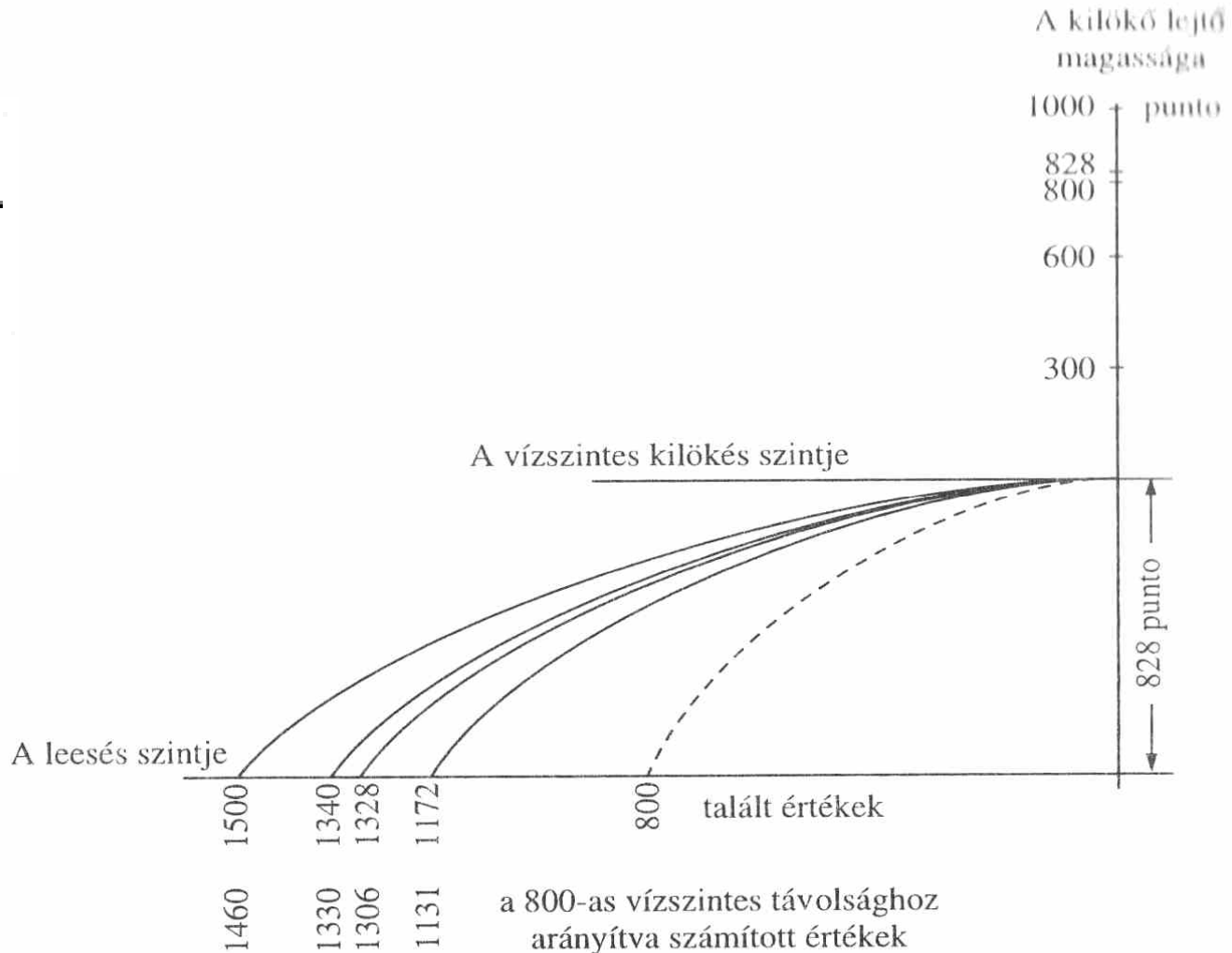
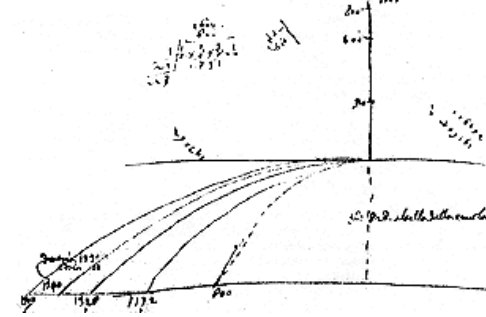
- Valószínűleg előbb a vízszintes hajítás parabola pályáját vette észre, és ebből következtetett vissza a szabadesés időnégyzetes összefüggésére.

Erre jegyzeteiből lehet következtetni, melyek közül több kísérleti leírást és mérési eredményeket is tartalmaz.

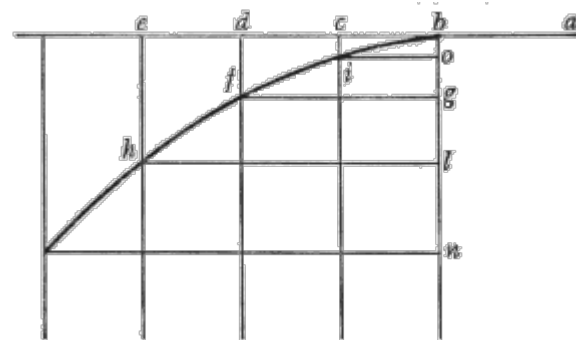
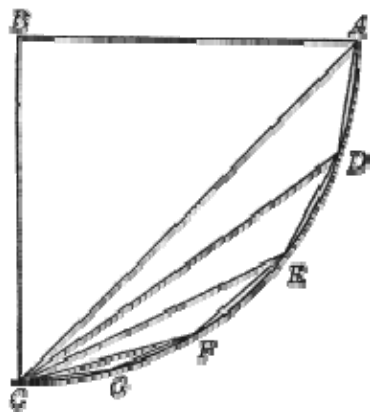
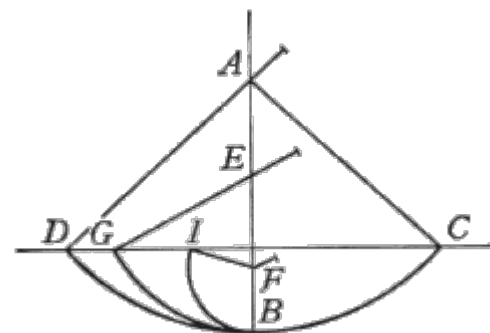
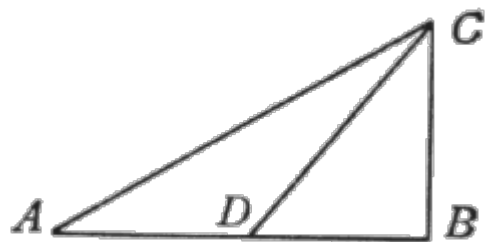
- De könyvében mégsem így írta le!!!!
- A hajítások tanításának didaktikáját is megalkotta számunkra!!



A 116-os kísérlet vázlatja Galilei kézírataiból.



Néhány ábra könyvből



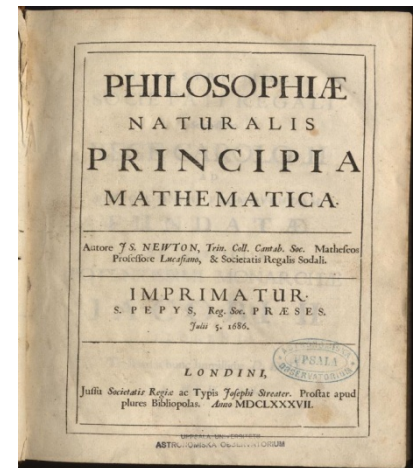
Tovább lépés

- Galilei számára kevés volt az „egyszerű” kísérleti tapasztalat (az út az idő négyzetével arányos), **mélyebb összefüggést** keresett. A $v(t)$ függvényt „integrálta” + elhanyagolások „művészete”.

- Descartes
Mechanisztikus materializmus

- Newton
 $v(t)$, majd $a(t)$ függvények integrálása,
Oksági kapcsolatok

Mozgásegyenlet*mai fizika kialakulása*



Firenze





Hol lehet olvasni a témáról?

- Németh László (1953-56): Galilei, dráma négy felvonásban
 - Galileo Galilei (1632/1983): *Párbeszéddek. A két legnagyobb világrendszerrel a ptolemaiosziról és a kopernikusziról.* Kriterion Könyvkiadó. Bukarest. Fordította: M. Zemplén Jolán.
 - Galileo Galilei (1638/1986): *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből.* Európa Könyvkiadó. Budapest. Fordította: Dávid Gábor. Jegyzetek: Gazda István. Utószó: Vekerdi László.
 - Koestler, Arthur (1956/1996): *Alvajárók.* Európa Kiadó, Budapest.
 - Simonyi Károly (1978): *A fizika kultúrtörténete.* Gondolat Kiadó, Budapest.
 - Vekerdi László (1997): *Így él Galilei.* Typotex Elektronikus Kiadó, Budapest.
 - White, Michael (2007/2010): *Galilei, az Antikrisztus.* Alexandra. Pécs.
 - Sobel, Dava (1999/2010): *Galilei lánya.* Alexandra. Pécs.
- Radnóti Katalin (2009): Galilei szerepe a mai, modern világképünk kialakulásában – I-II. *Fizikai Szemle.* LIX. évfolyam 1. szám 15-20. oldalak, és 2. szám 59-61. oldalak





KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

rad8012@helka.iif.hu
<http://members.iif.hu/rad8012/>