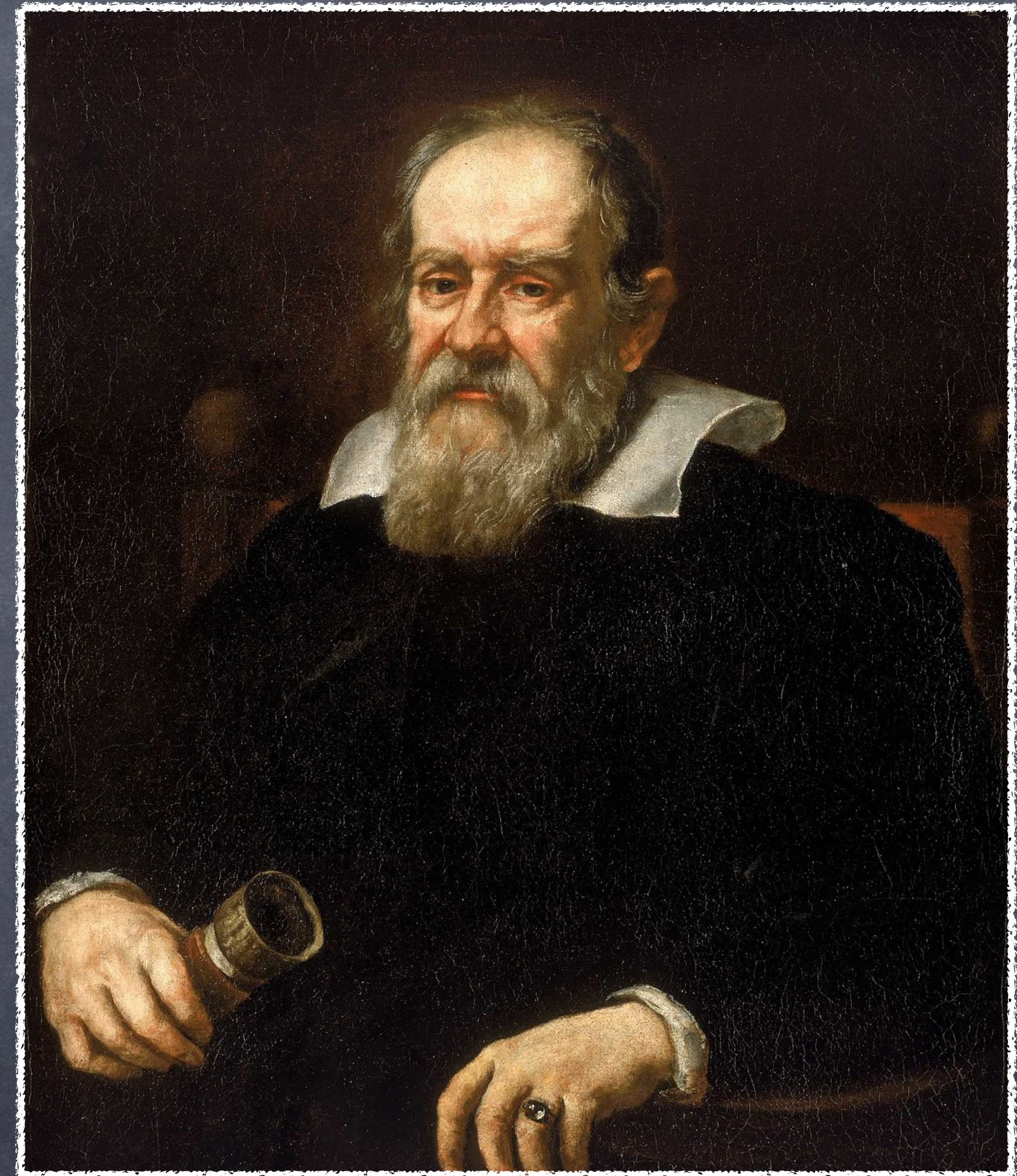


Najväčší Galileov objav

čo je fyzika

mechanika 2

Galileo Galilei (1564-1642)
objavil pohoria na Mesiaci,
škvrny na Sluku, fázy Venuše,
mesiace Jupitera, niečo pri
Saturne, hviezdy v Mliečnej
dráhe, princíp relativity,
zákon zotrvačnosti, zákon
voľného pádu, ale nič z toho
nebolo jeho najväčším
objavom. Jeho najväčším
objavom bol objav fyziky.



súčasníci

William Shakespeare, Peter Paul Rubens, kardinál Richelieu, šogun Tokugawa, Pocahontas

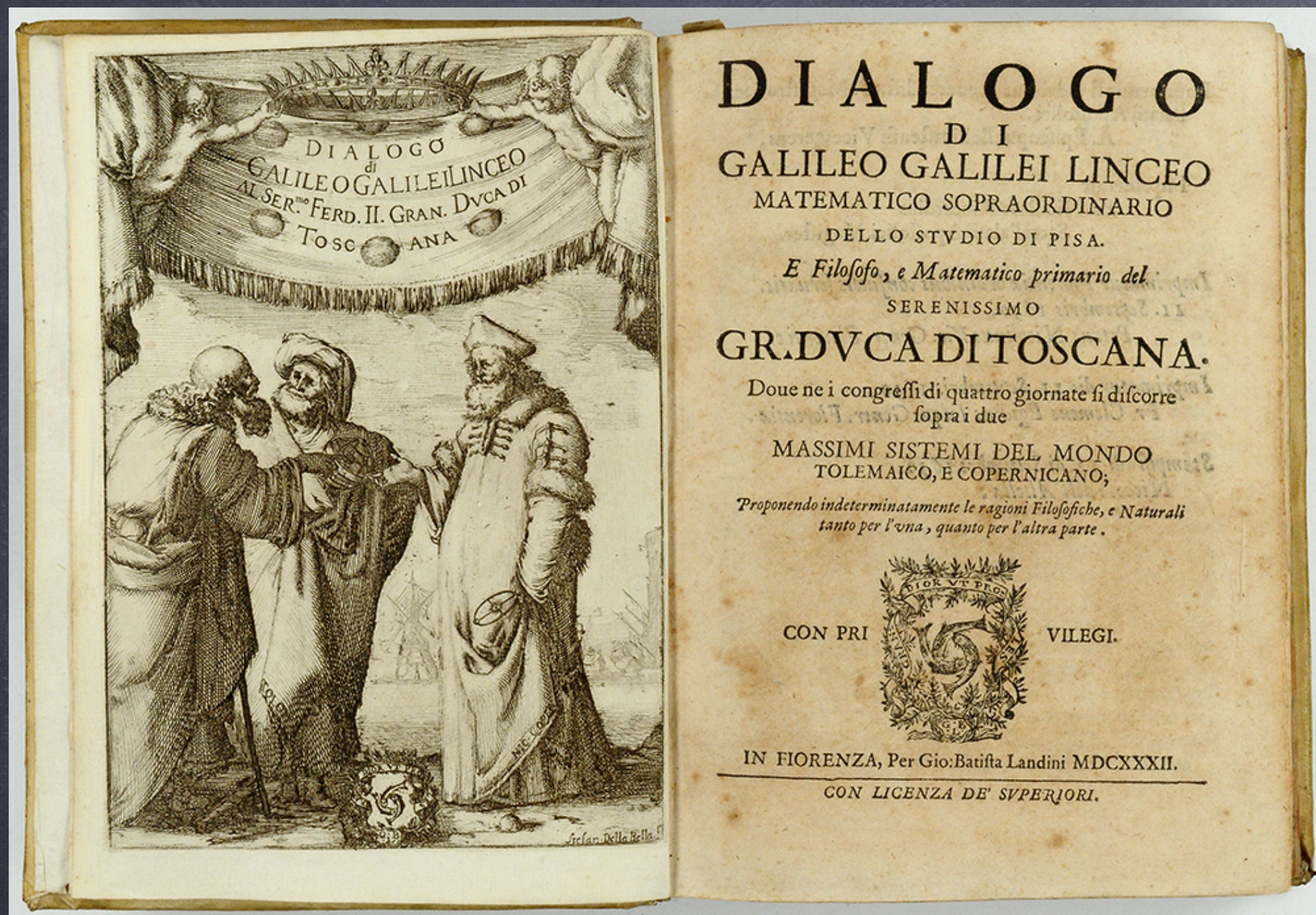
Piazza dei Miracoli, Pisa

Kyvadlo

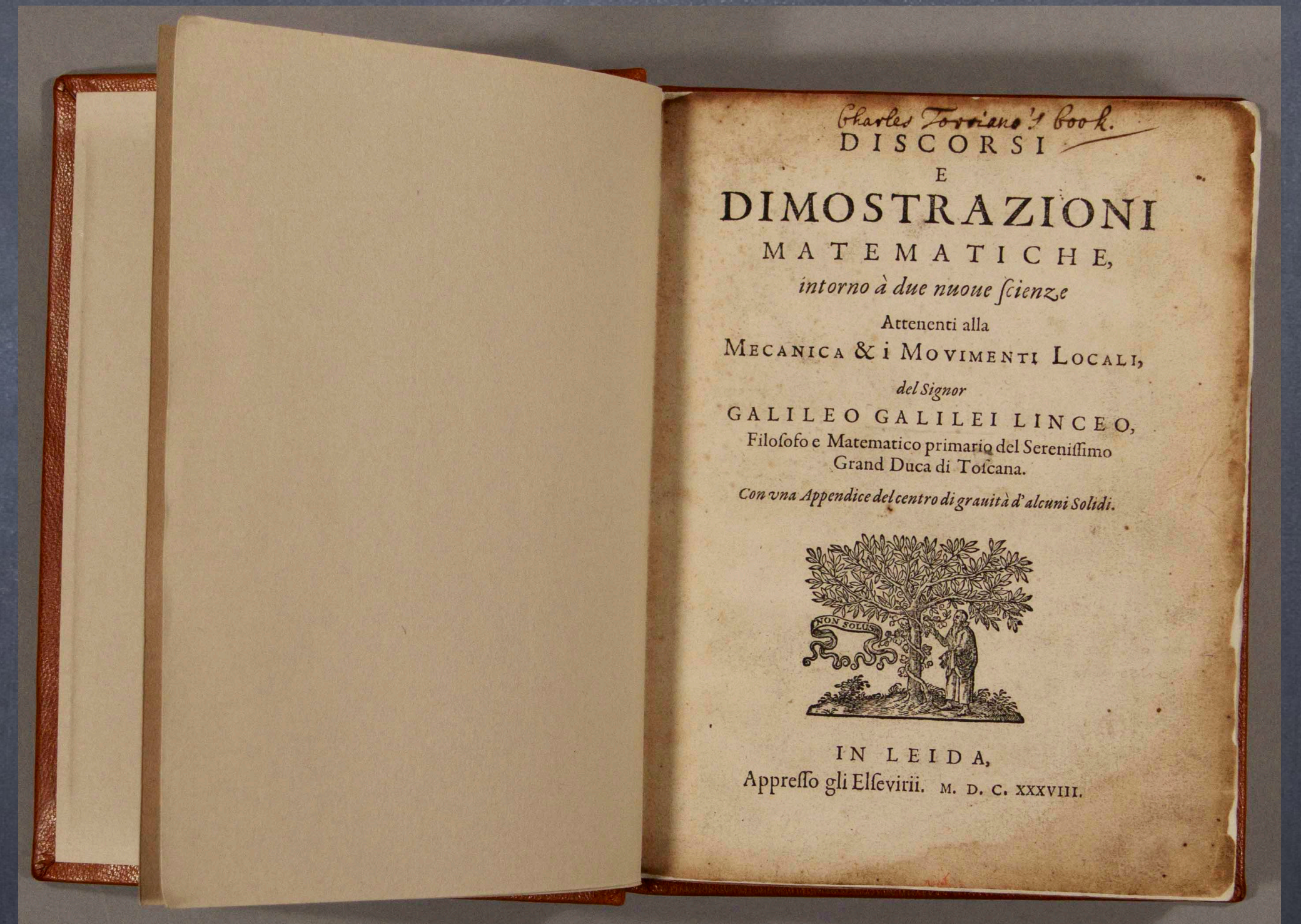
Volný pád



dve důležité knihy



Dialog o dvoch systémoch sveta
táto je slávnejšia



Rozpravy o dvoch nových vedách
o tejto bude reč

17-ročný Galileo a kyvadlo

- Pozorovanie kývajúceho sa lustra počas bohoslužby
- Prekvapenie: perióda nezávisí od amplitúdy
(zmeny amplitúdy asi kvôli rôznej intenzite prievanu, čas asi najprv len ako rytmus, potom meraný tepom)
- Prečo prekvapenie? Porovnajme s voľným pádom.
Tam by analogickým javom bol pád z rôznych výšok za rovnaký čas. A to by bolo fakt prekvapko.

pozorovanie a experiment

- ◉ Experiment: cielene pripravená situácia, kde mám všetko podstatné pod kontrolou a meraním viem získavať číselné výsledky
- ◉ Galileove experimenty (kliniec, lanko, guľička):
 - ◉ Porovnáva stovky kmitov dvoch kyvadiel naraz (nemusí merať čas, ktorý dosť presne merať nevie)
 - ◉ zostávajú synchronizované pri rôznych amplitúdach
 - ◉ zostávajú synchronizované pri rôznych hmotnostiach

matematické ponaučenia

- Experiment zisťuje veci presnejšie ako pozorovanie
- Často sa to deje na hranici meracích možností (ak neviem merať čas, musím to nejako obísť)
- Umožní mi spresniť veci, ktoré som pozoroval (nezávislosť periódy kmitov od amplitúdy)
- Umožní mi zistiť veci, ktoré som nepozoroval (nezávislosť periódy kmitov od hmotnosti)

porovnanie s voľným pádom

čas "pádu" od	počiatočnej výšky	hmotnosti
pri kyvadle (Galileo)	nezávisí	nezávisí
pri voľnom páde (Aristoteles)	závisí	závisí



toto sa ale Galileovi nepáčilo

Vacuo non si farebbe il moto, la posizione del Vacuo assolutamente presa, e non in relazione al moto, non vien destrutta, mà per dire quel che per auventura potrebbè rispondere quegli antichi, acciò meglio si scorga, quanto concluda la dimostrazione d' Aristotele, mi par che si potrebbe andar contro à gli assunti di quello, negandogli amendue. E quanto al primo: io grandemente dubito, che Aristotele non sperimentasse mai quanto sia vero, che due pietre vna più graue dell' altra dieci volte lasciate nel medesimo instante cader da vn altezza, v. gr. di cento braccia fusser talmente differenti nelle lor velocità, che all' arriuo della maggior in terra l' altra si trouasse non hauere nè anco sceso dieci braccia.

Simp. Si vede pure dalle sue parole, ch' ei mostra d'hauerlo sperimentato, perche ei dice: Veggiamo il più graue: hor quel veder si accenna l'hauerne fatta l'esperienza.

Sagr. Mà io S. Simp. che n' hò fatto la proua, vi assicuro, che vna palla d' artiglieria, che pesi cento, dugento, e anco più libbre, non anticiperà di vn palmo solamente l'arriuo in terra della palla d'un moschetto, che ne pesi vna mezza, venendo anco dall' altezza di dugento braccia.

Salu. Mà senz' altre esperienze con breue, e concludente dimostrazione possiamo chiaramente prouare non esser vero, che vn mobile più graue si muoua più velocemente d'un' altro men graue, intendendo di mobili dell' istessa materia; & in somma di quelli de i quali parla Aristotele. Però ditemi S. Simp. se voi ammettete, che di ciascheduno corpo graue cadente sia vna da natura determinata velocità; si che l'accrescergliela, ò diminuirgliela non si possa se non con vsargli violenza, ò opporgli qualche impedimento.

Simp. Non si può dubitare, che l'istesso mobile nell' istesso mezzo habbia vna statuita, e da natura determinata velocità, la quale non se gli possa accrescere se non con nuouo impeto conferitogli, ò diminuirgliela saluo che con qualche impedimento che lo ritardi.

Salu. Quando dunque noi haessimo due mobili, le naturali velo-

Simplicio (aristotelcián)

Podľa Aristotela telesá rôznej váhy sa v rovnakom prostredí hýbu rôznymi rýchlosťami, ktorých vzájomný pomer je rovnaký ako pomer ich váh. Takže teleso desaťkrát ťažšie ako iné teleso sa bude pohybovať desaťkrát rýchlejšie.

Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze
attinenti alla meccanica e movimenti locali

Sagredo (neustranný)

Ale ja, drahý Simplicius, som to otestoval
a môžem ťa uistiť, že delová guľa vážiaca
sto alebo dvesto libier, alebo aj viac,
nedopadne na zem o toľko skôr ako
mušketová guľka vážiaca pol libry, ak ich
obidve pustíš z rovnakej výšky dvesto lakt'ov.

Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze
attinenti alla meccanica e movimenti locali

Salviati (galileovec)

Ak vezmeme dve telesá, ktorých prirodzené rýchlosti sú rôzne, potom je jasné, že ak ich spojíme, rýchlejšie teleso bude čiastočne spomalené pomalším a pomalšie čiastočne zrýchlené rýchlejším. Ale dva spojené kamene vytvoria spolu kameň ešte väčší než bol väčší z pôvodných kameňov. Takže ťažšie teleso sa pohybuje pomalšie ako ľahšie teleso, v spore s vaším predpokladom.

Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze
attinenti alla meccanica e movimenti locali

kritické pochopenia

- Nie vždy je rozumné slepo dôverovať autoritám.
- Ak teória hovorí niečo iné ako (bezchybný) experiment, treba ju zavrhnuť.
- Ak je teória vnútorne nekonzistentná (vedie k sporu), treba ju zavrhnuť.

Ako vlastne prebieha voľný pád?

- Mení sa jeho rýchlosť?
- Akým spôsobom sa mení?
- Vieme to zistiť pozorovaním?
- Vieme to zistiť nejako inak?

MOTU LOCALI.

DE subjecto vetustissimo novissimam promovemus scientiam. MOTU nil forte antiquius in Natura; & circa eum volumina nec pauca, nec parva à Philosophis conscripta reperiuntur. Symptomatum tamen, quæ complura, & scitu digna insunt in eo adhuc inobservata, necdum indemonstrata comperio. Leviora quædam adnotantur: ut gratia exempli, naturalem motum gravium descendantium continue accelerari. Verum juxta quam proportionem ejus fiat acceleratio, proditum hucusque non est: nullus enim, quod sciam, demonstravit, spatia à mobili descendente ex quiete peracta in temporibus æqualibus eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes. Observatum est, missilia, seu projecta, lineam qualitercunque curvam designare; veruntamen eam esse Parabolam nemo prodidit. Hæc ita esse, & alia non pauca, nec minus scitu digna, à me demonstrabuntur: & quod pluris faciendum censeo, aditus, & accessus ad amplissimam, præstantissimamque scientiam, cujus hi nostri labores erunt elementa, recludet: in qua ingenia meo perspicaciora abditiores recessus penetrabunt.

Tripartito dividimus hanc tractationem. In prima parte consideramus ea quæ spectant ad Motum æquabilem, seu uniformem. In secunda de Motu naturaliter accelerato scribimus. In tertia de Motu violento, seu de projectis.

pozoruhodné pozorovanie

- Pozorovaním nezistíme o rýchlosti voľného pádu takmer nič. (Nevidno ani len to, či je pohyb nejako zrýchlený.)
- Isté prejavy zrýchlenia môžeme pozorovať nepriamo. (Väčšiu jamku v piesku zanechá guľička po dopade z väčšej výšky. Zrejme preto, lebo má väčšiu rýchlosť.)
- Galileov postup: skúsím nejakú hypotézu, preskúmam jej dôsledky, a tie sa potom pokúsím experimentálne potvrdiť alebo vyvrátiť

prvá hypotéza (mladý Galileo)

- rýchlosť je úmerná prejdenej vzdialenosti: $v = k \cdot h$
- pre jednoduchosť uvažujme $k = 1 [1/s]$
- geniálna (a úplne nečakaná) Galileiho otázka:
za aký čas prejde teleso **druhý polmeter?**
- keď neprešlo prvý meter, má rýchlosť $v < 1 \text{ m/s}$
- touto rýchlosťou mu to trvá viac ako pol sekundy

> 0,5s



prvá hypotéza (pokračovanie)

- za aký čas prejde teleso **druhý štvrt' meter?**
- kým neprešlo pol metra, má rýchlosť $v < 1/2 \text{ m/s}$
- touto rýchlosťou mu to trvá viac ako pol sekundy
- za aký čas prejde teleso **druhú osminu metra?**
- kým neprešlo štvrt' metra, má rýchlosť $v < 1/4 \text{ m/s}$
- touto rýchlosťou mu to trvá viac ako pol sekundy

>0,5s

>0,5s

>0,5s



prvá hypotéza (dokončenie)

- tento postup teraz opakujeme s druhou $1/16$ metra, s druhou $1/32$ metra, ...
- vždy dostaneme, že prejdienie daného úseku trvá viac ako pol sekundy
- celkove teda trvá prejdienie prvého metra nekonečne dlho
- to je ale v evidentnom spore s pozorovaním
- prvú hypotézu teda musíme odvrhnúť

$>0,5s$

$>0,5s$

$>0,5s$



druhá hypotéza (starší Galileo)

- rychlost' je úměrná uplynutému času $v = a \cdot t$
- přejetá dráha = průměrná rychlost' · čas
- průměrná rychlost' = průměr počáteční a konečné
 $= (0 + a \cdot t) / 2$
- čiže

$$s = \frac{1}{2} a t^2$$

jemnosti odvodenia

- priemerná rýchlosť = priemer počiatočnej a konečnej (toto neplatí pre každý pohyb)
- Aká je napríklad priemerná rýchlosť v prípade, že prvú polovicu času teleso rovnomerne zrýchľovalo a druhú polovicu času už rýchlosť nemenilo?
- Prečo to pre rovnomerne zrýchlený pohyb platí? (Galileo to formuluje ako teorému s dôkazom.)

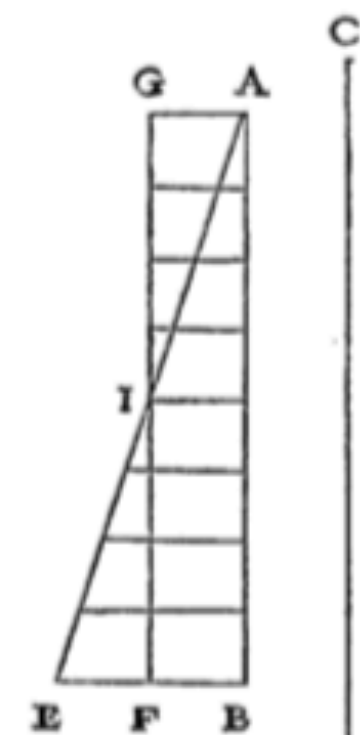
úplne nepovinná domáca úloha

Kto chce, môže si sám prečítať
Galileovu argumentáciu k tejto
veci. Je na stranách 169-170
originálneho vydania.
(Asi lepšie bude neskôr vydané
anglické vydanie, ktoré sa dá
ľahko nájsť na nete.)

170

DIALOGO TERZO

tibus temporis AB maximus & ultimus representetur per E
 B , utcumque super AB constituta: junctæque AE lineæ, om-



nes ex singulis punctis lineæ AB ipsi
 BE æquidistanter actæ crescentes
velocitatis gradus post instans A re-
presentabunt. Divisa deinde BE
bifariam in F , ductisque parallelis FG ,
 AG , ipsis BA , BF ; Parallelogram-
mum $AGFB$ erit constitutum trian-
gulo AEB æquale, dividens suo la-
tere GF , bifariam AE in I : quod-
si parallelæ trianguli AEB usque ad
 IGF extendantur, habebimus ag-
gregatum parallelarum omnium in
quadrilatero contentarum æqua-
lem aggregatui comprehensarum in
triangulo AEB . quæ enim sunt in
triangulo IEF , paria sunt cum con-
tentis in triangulo GIA ; cæ vero
quæ habentur in trapezio $AIFB$,

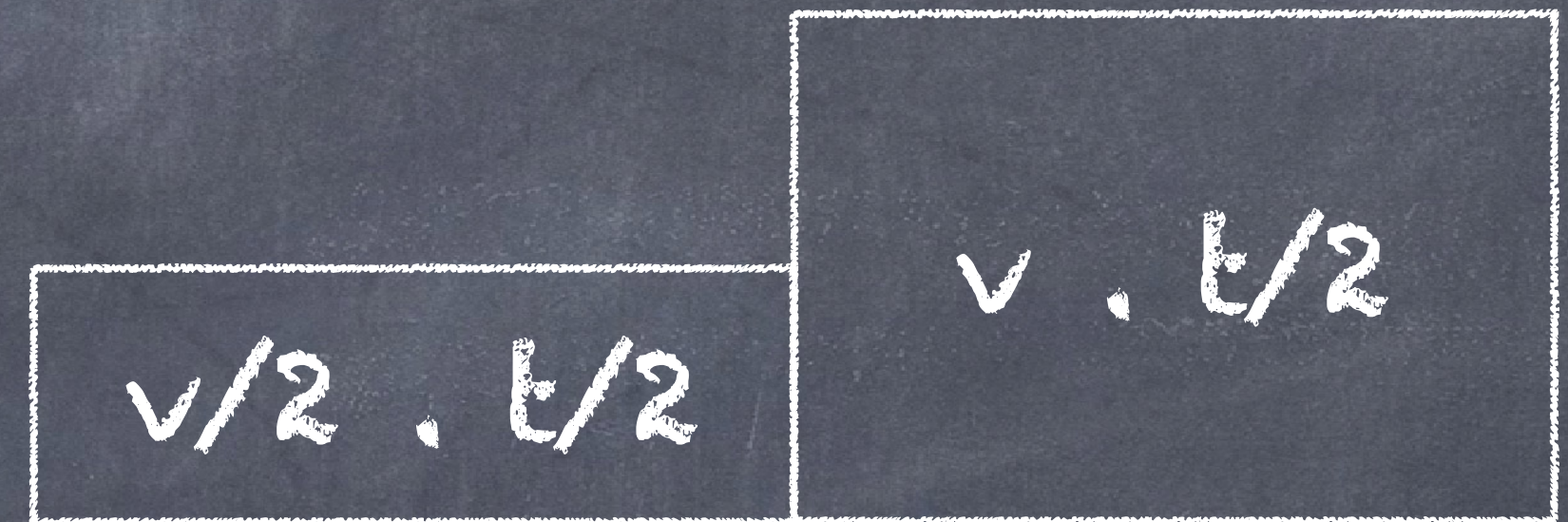
communes sunt. Cumque singulis & omnibus instantibus
temporis AB respondeant singula & omnia puncta lineæ AB ,
ex quibus actæ parallelæ in triangulo AEB comprehensæ
crescentes gradus velocitatis adactæ representant; paralle-
læ vero intra parallelogrammum contentæ totidem gradus
velocitatis non adactæ, sed æquabilis, itidem representent:
apparet totidem velocitatis momenta absumpta esse in mo-
tu accelerato juxta crescentes parallelas trianguli AEB , ac
in motu æquabili juxta parallelas parallelogrammi GB : quod
enim momentorum deficit in prima motus accelerati me-
diate, (deficiunt enim momenta per parallelas trianguli
 AGI representata,) reficitur à momentis per parallelas
trianguli IEF representatis. Patet igitur, æqualia futura esse
spatia

morálne poučenia

- Ani géniovia nemajú len samé dobré nápady ($v = k.s$)
- Zlé nápady je dobré vedieť odhaliť a odhodiť.
- Nie všetko sa dá zistiť pozorovaním a experimentom.
- Je rozumné skúšať rôzne hypotézy a skúmať ich dôsledky. V tomto sú nenahraditeľnými nástrojmi logika a matematika.

iné odvodenie

- Polovica času rýchlosť $v/2$, druhá polovica rýchlosť v
 $s = v/2 \cdot t/2 + v \cdot t/2$

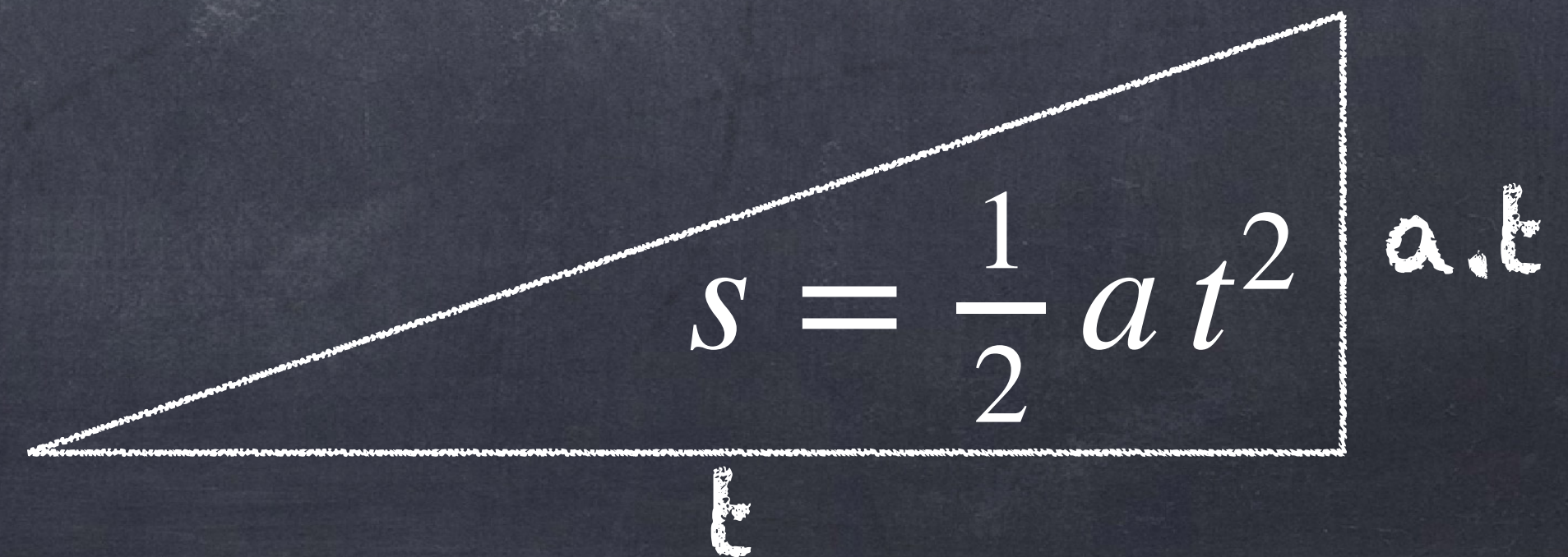


- Analogicky so štvrtinami času



- .
- .
- .

- Rovnomerne sa meniaci rýchlosť



základná otázka

- No fajn, tak vieme koľko prejde teleso za nejaký čas, ak sa pohybuje rovnomerne zrýchlene. Ale čo nám to hovorí o voľnom páde? Odkiaľ vieme, či je voľný pád naozaj rovnomerne zrýchlený pohyb? Respektíve, či by bol, keby nepôsobil odpor vzduchu?
- Na toto sa zrejme dá odpovedať len experimentom. Treba jednoducho odmerať, koľko trvá voľný pád z rôznych výšok. Lenže to také jednoduché nie je.

základný problém



toto sú stopky
17. storočia

nerovinná úloha na záver

- rozmyslite si, ako by ste odmerali dobu voľného pádu v 17. storočí (toto je veľmi ťažká úloha, nabudúce si povieme o tom, ako si s ňou poradil Galileo)
- rozmyslite si, ako by ste ju merali dnes a odmerajte ju (ak nechcete riskovať ublíženie na zdraví a väzenie, tak radšej bez púšťania vecí z vysokých poschodí)