Šikmý vrh u Galilea

chvála experimentálnej fyziky

mechanika 3

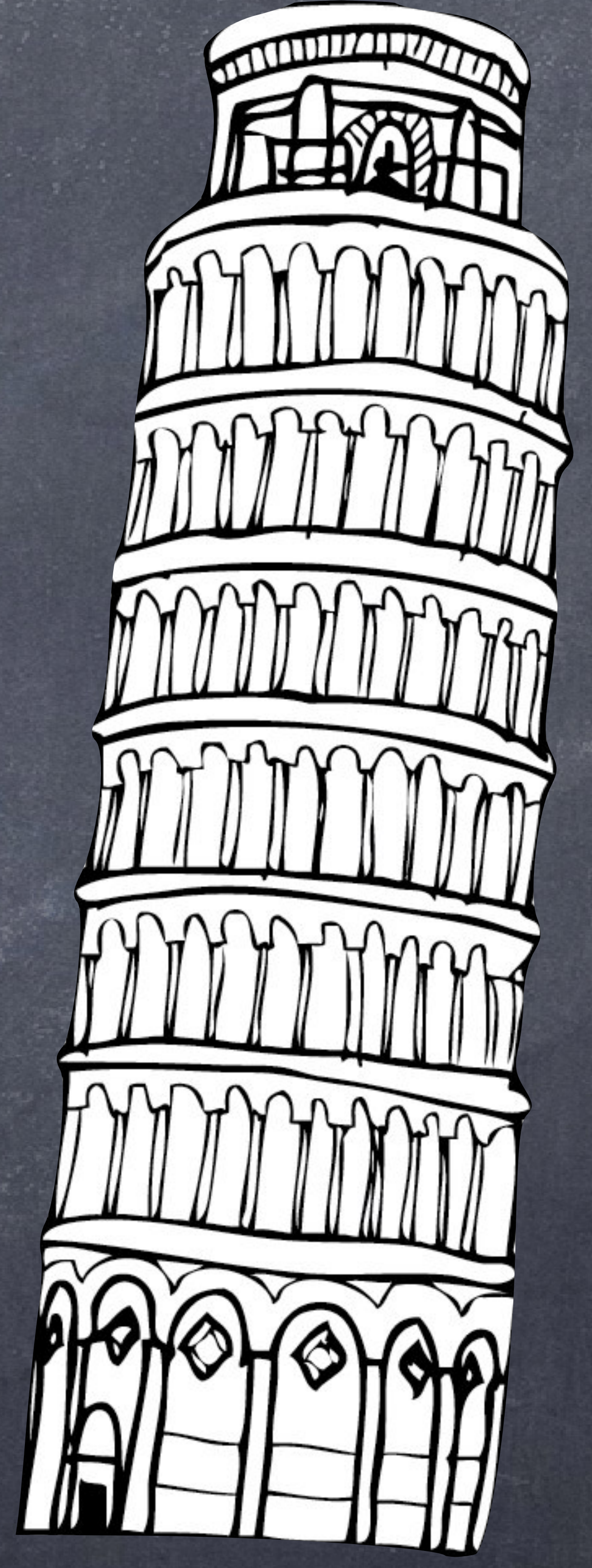
in the previous episode

ako merať dobu
voľného pádu?

toto sú stopky
17. storočia

experimentálna fyzika

- ako odmerať dobu voľného pádu?
- voľný pád z výšky 3m trvá asi 1s, to presýpacími hodinami neodmeriame
- nepomôže ani šikmá veža v Pise (60m) z ktorej trvá voľný pád asi 3.5s
- overiť, či je voľný pád zrýchlený pohyb (ako si to predstavoval Galileo) to bola v 17. storočí úloha na hranici (dokonca za hranicou) experimentálnych možností



hlavný nástroj experimentátora

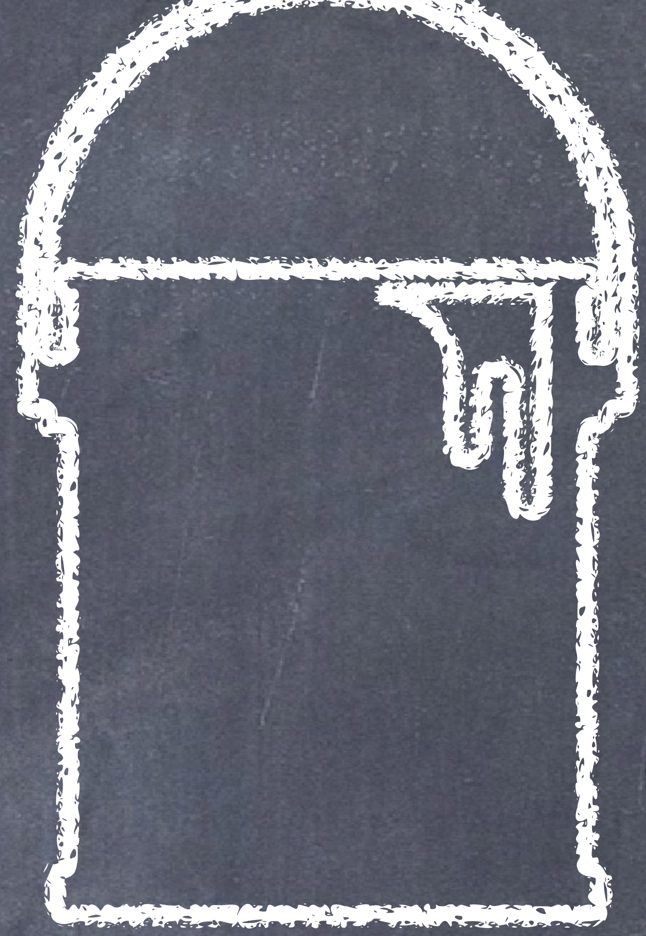
zďaleka nielen ruky

podstatne dôležitejšia je hlava

Galileove riešenie

spomalený film
(naklonená rovina)

púšťal guličky,
aby znížil trenie



zrýchlené stopky
(deravé vedro s vodou)

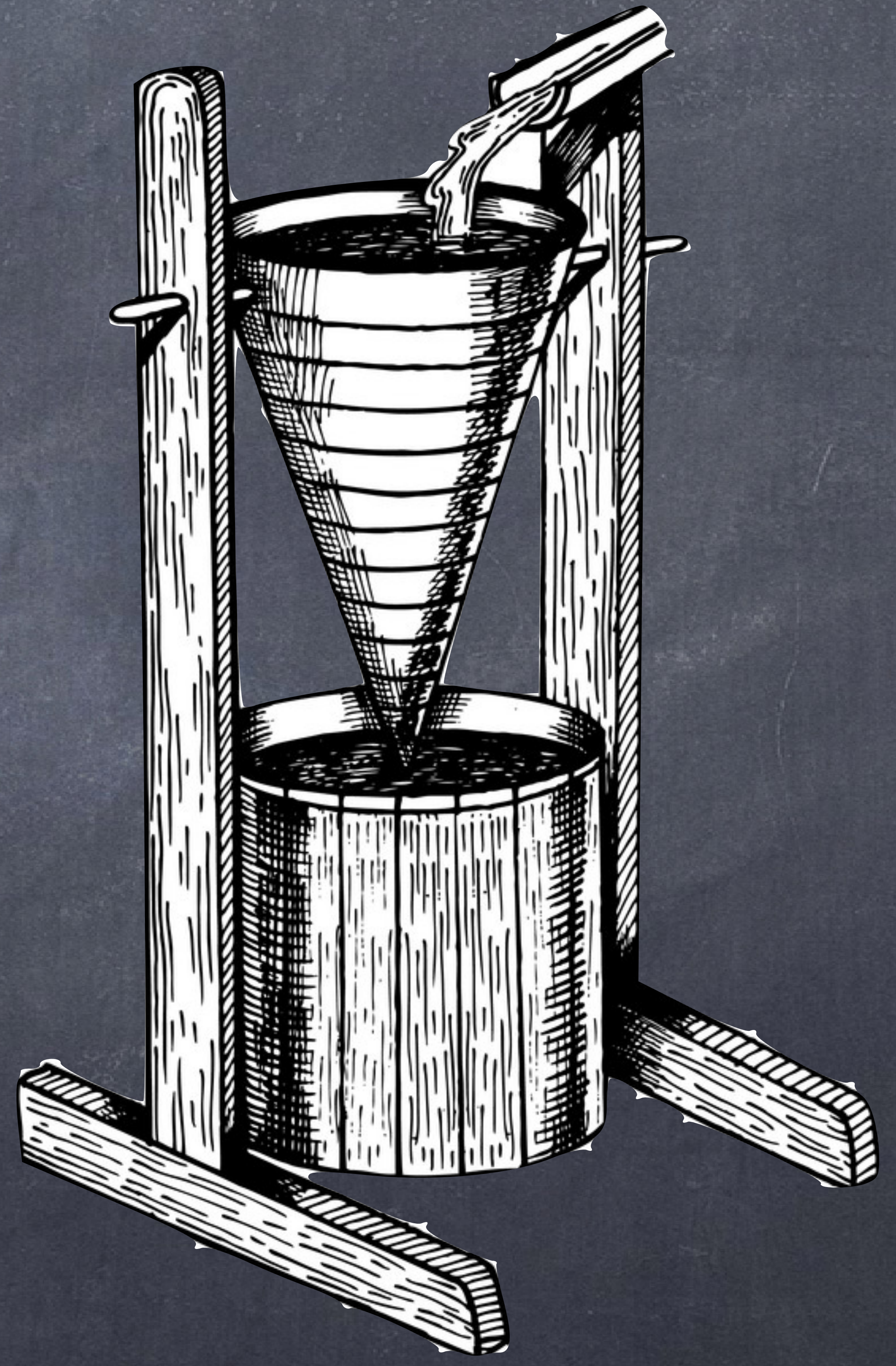
vodu vážil,
aby zvýšil presnosť

a to sa môže?

- mám merať voľný pád, ale ten je moc rýchly, tak ho nahradím naklonenou rovinou
- super nápad alebo úplná blbosť?
- na túto otázku je veľmi ťažké odpovedať v čase, keď tomu ešte dosť dobre nerozumieme
- ale vždy to môžeme vyskúšať a potom premýšľať o výsledkoch

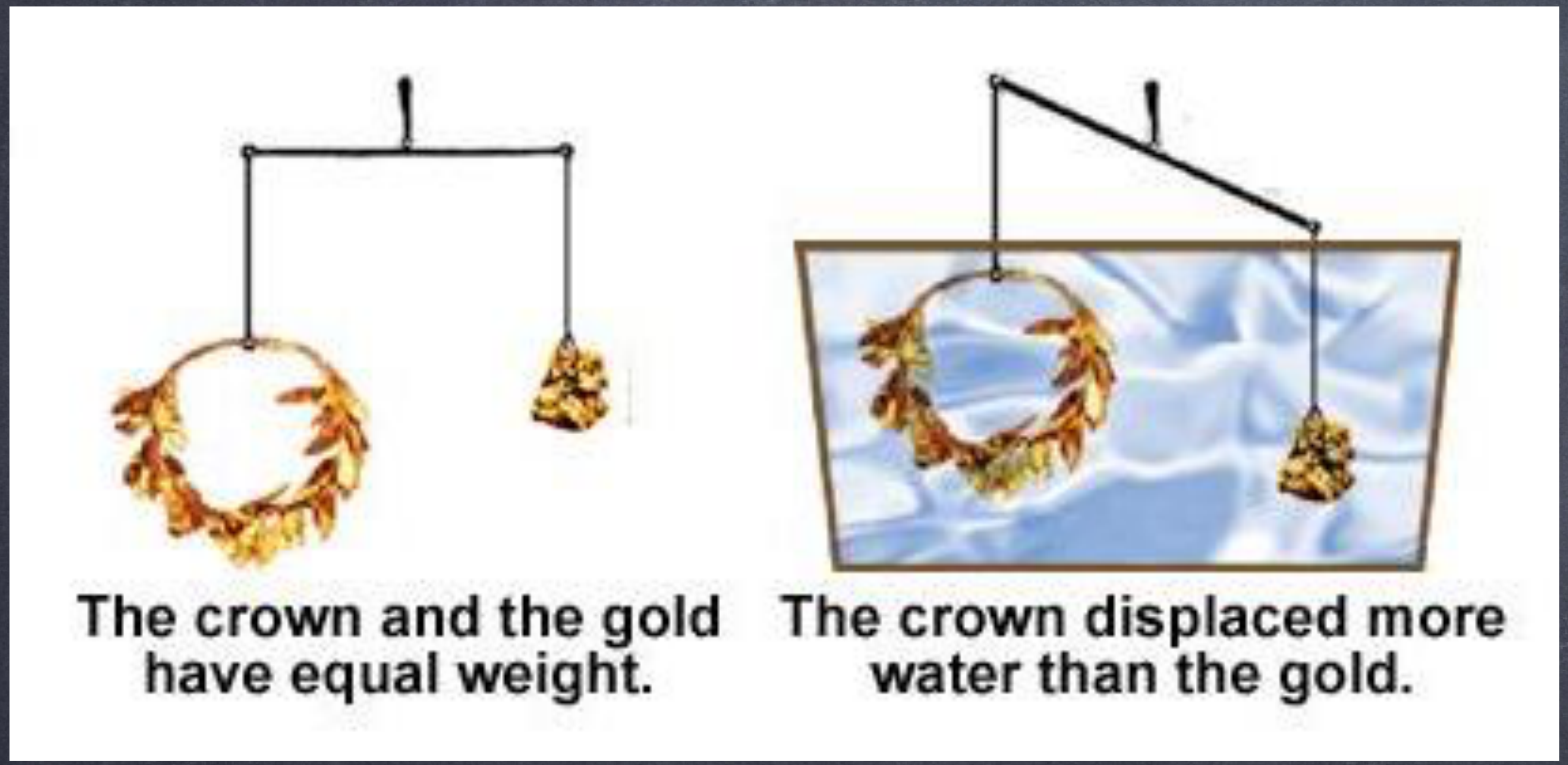
prečo bolo lepšie čas vážiť?

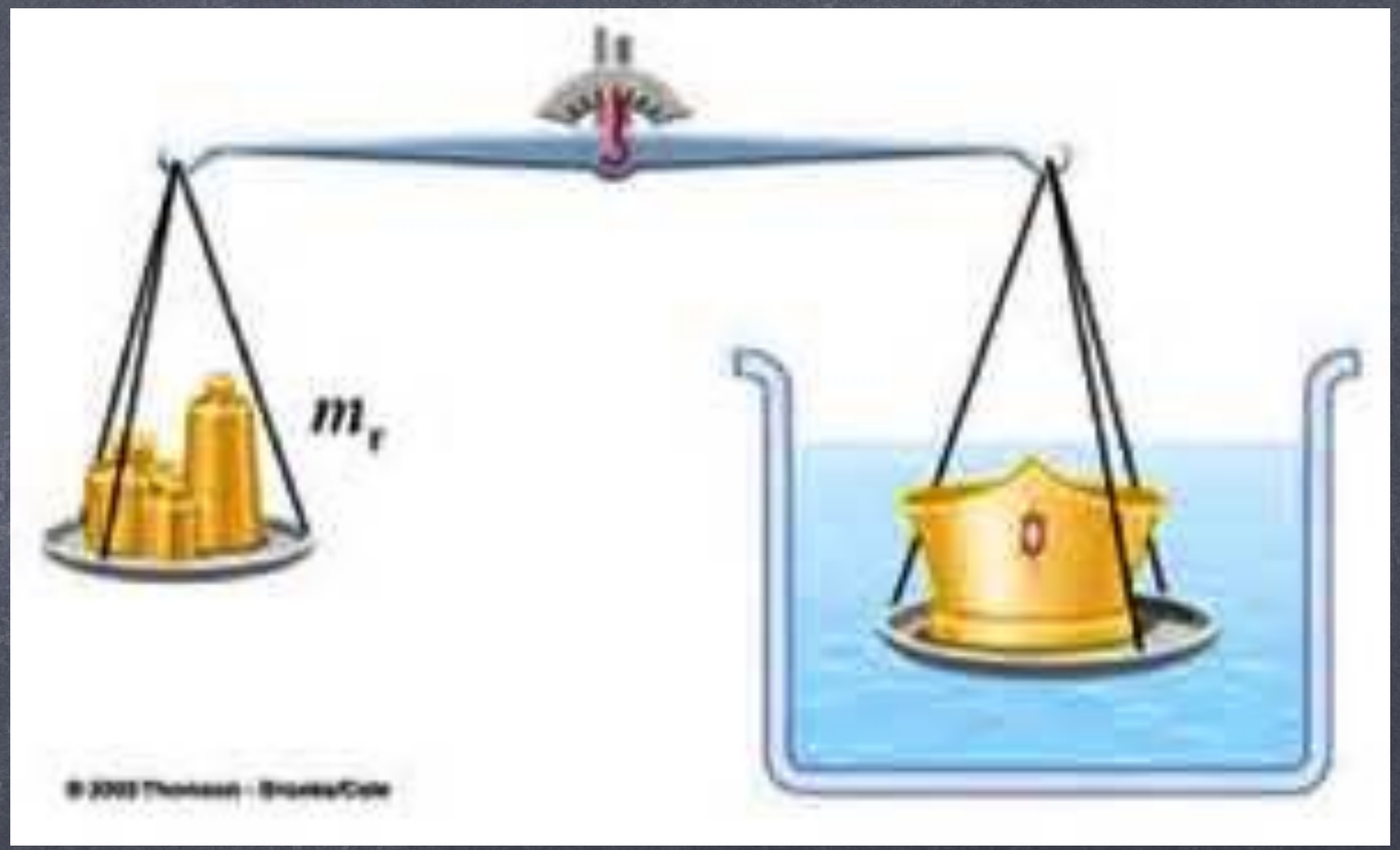
- ak majú byť "prelievacie hodiny" čo najpresnejšie, ich hornú časť vyrobíme tak, aby voda vytekala stále rovnakým tempom (preto sa snažíme udržať hore stálu hladinu tým, že tam necháme vodu stále pritekať)
- ak má byť meranie množstva vody v dolnej časti čo najpresnešie, tak treba merať hmotnosť, nie objem



malá odbočka k Archimedovi

ktorý obrázok najlepšie vystihuje to, čo Archimedes naozaj urobil (predpokladajme, že bol šikovný a robil to najlepšie, ako sa len dalo)



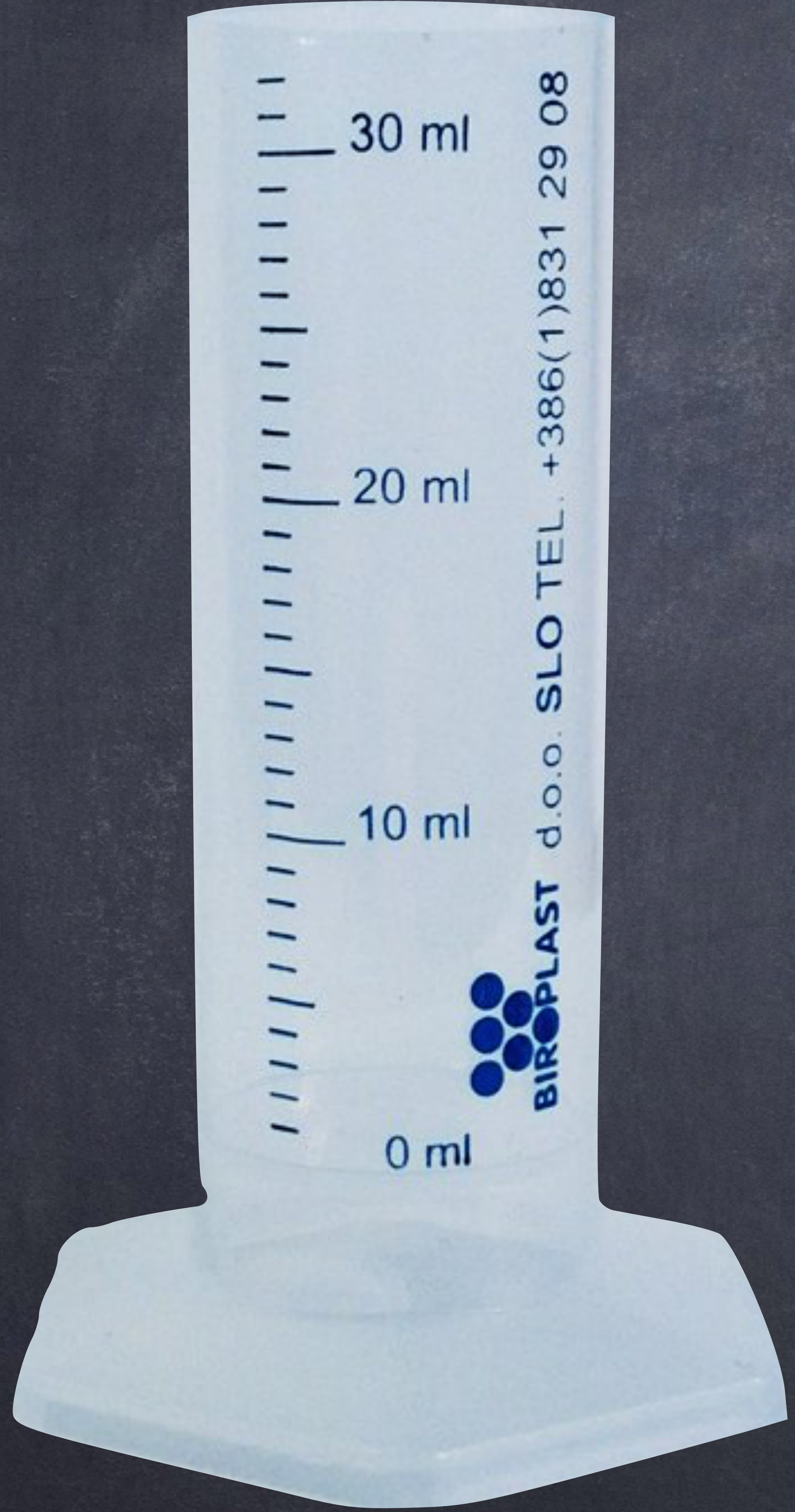


toto len ukazuje, že koruna nie je iba zo zlata (prečo?)

toto meria objem a umožňuje vypočítať podiel zlata (ako?)

toto meria objem a teda aj podiel zlata oveľa presnejšie

presnosť merania



porovnajte presnosť merania objemu vody odmerným valcom a hmotnosti váhami so sadou závaží, z ktorých najmenšie má hmotnosť 10 mg

$$\frac{0.5\ \text{ml}}{1\ \text{l}} \qquad \frac{10\ \text{mg}}{1\ \text{kg}}$$

$$5 \times 10^{-4} \qquad 1 \times 10^{-5}$$

a späť ku Galileovi

- Dráha guľky na naklonenej rovine naozaj bola priamo úmerná druhej mocnine času
- Predpoklad o rovnomernom zrýchlení pri voľnom páde sa teda podarilo prinajmenšom nepriamo potvrdiť.
- To stačilo na presvedčenie mnohých, hoci nie všetkých (napr. Descartes tomu neveril)

Giuseppe Bezzuoli, 1839

mravné ponaučenia

- Vedecké experimentovanie sa často deje na hranici meracích možností, pričom bežne treba tieto možnosti zvýšiť vylepšením prístrojov a/alebo meracích metód
- Ak sa teoretická predpoveď nedá experimentálne overiť priamo, sú cenné aj nepriame overenia
- Niekedy je ťažké presvedčiť iných, a to aj vtedy, keď máte pravdu

ďalší nečakaný objav

- ak za naklonenú rovinu umiestnime druhú, opačne naklonenú rovinu, gulička vybehne do takej výšky, z akej svoj pohyb začala (toto hovorí experiment)

- Ak bude uhol druhej naklonenej roviny menší, dostane sa do väčšej vodorovnej vzdialenosti (aj toto je experimentálny fakt)
- Ak bude uhol druhej naklonenej roviny nulový, pôjde zrejme donekonečna (ak ju nezastaví trenie)

- Galileov zákon zotrvačnosti: v horizontálnom smere, v ktorom nepôsobí gravitácia, sa v prípade bez trenia telesá pohybujú stále rovnakou rýchlosťou

silný dôsledok: vrhy

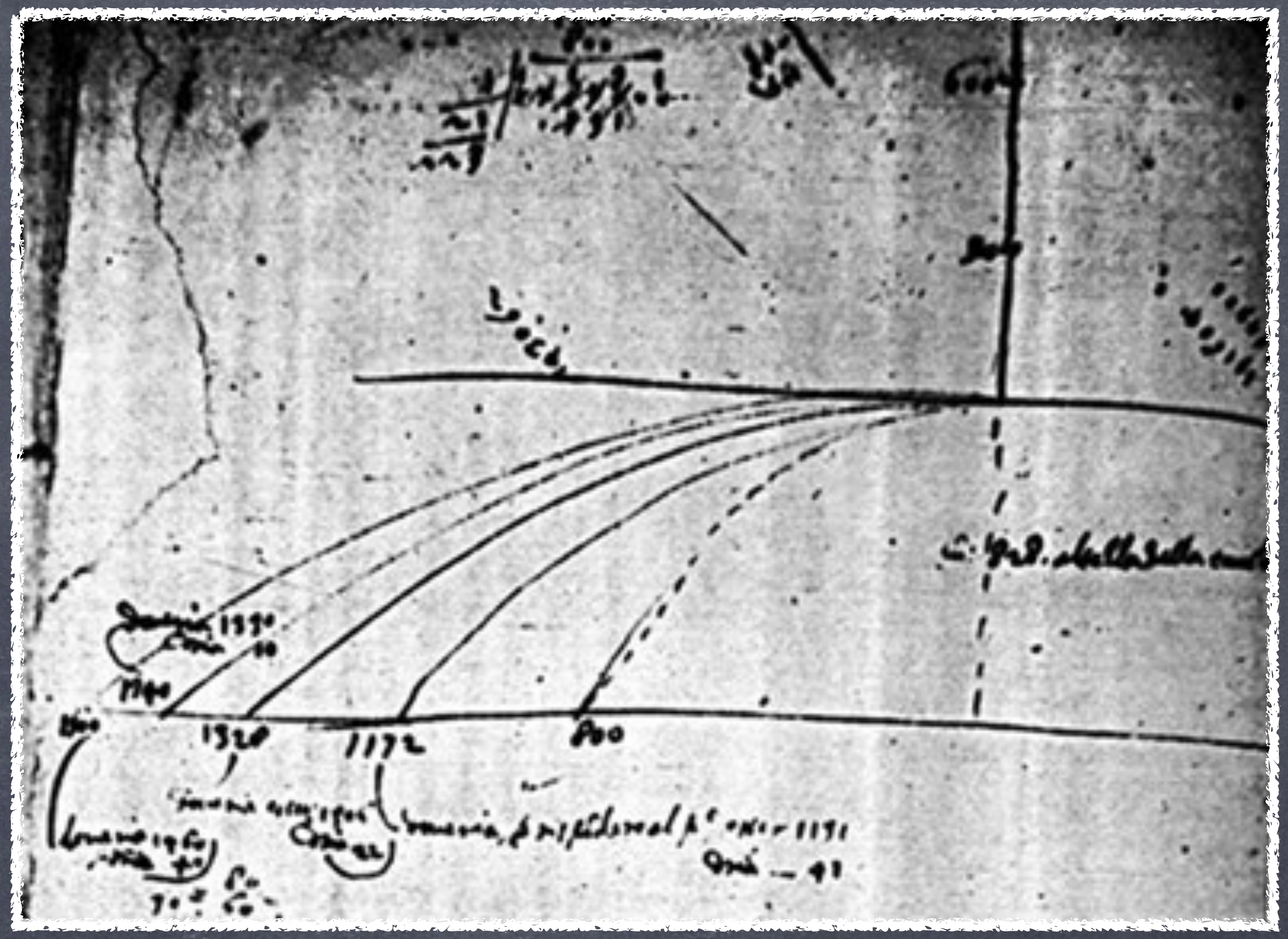
- V horizontálnom smere rovnomerný pohyb
- Vo vertikálnom smere rovnomerne zrýchlený pohyb
- Kombinácia týchto dvoch pohybov: parabola (hneď si povieme prečo)
- Parabolickú trajektóriu hodeného telesa považoval vraj Galileo Galilei za svoj úplne najväčší vedecký objav (ktorý platí, ak sú trenie a odpor vzduchu zanedbateľné)

prečo parabola

- V horizontálnom smere x~t ($x = v\,t$)
- Vo vertikálnom smere z~t^2 ($z = \frac{1}{2} g t^2$)
- z prvej rovnice vyjadríme t cez x a dosadíme do druhej čím dostaneme z~x^2 ($z = \frac{1}{2}\frac{g}{v^2}x^2$)
- nuž a grafom kvadratickej funkcie je parabola (toto by malo byť známe zo stredoškolskej matematiky)

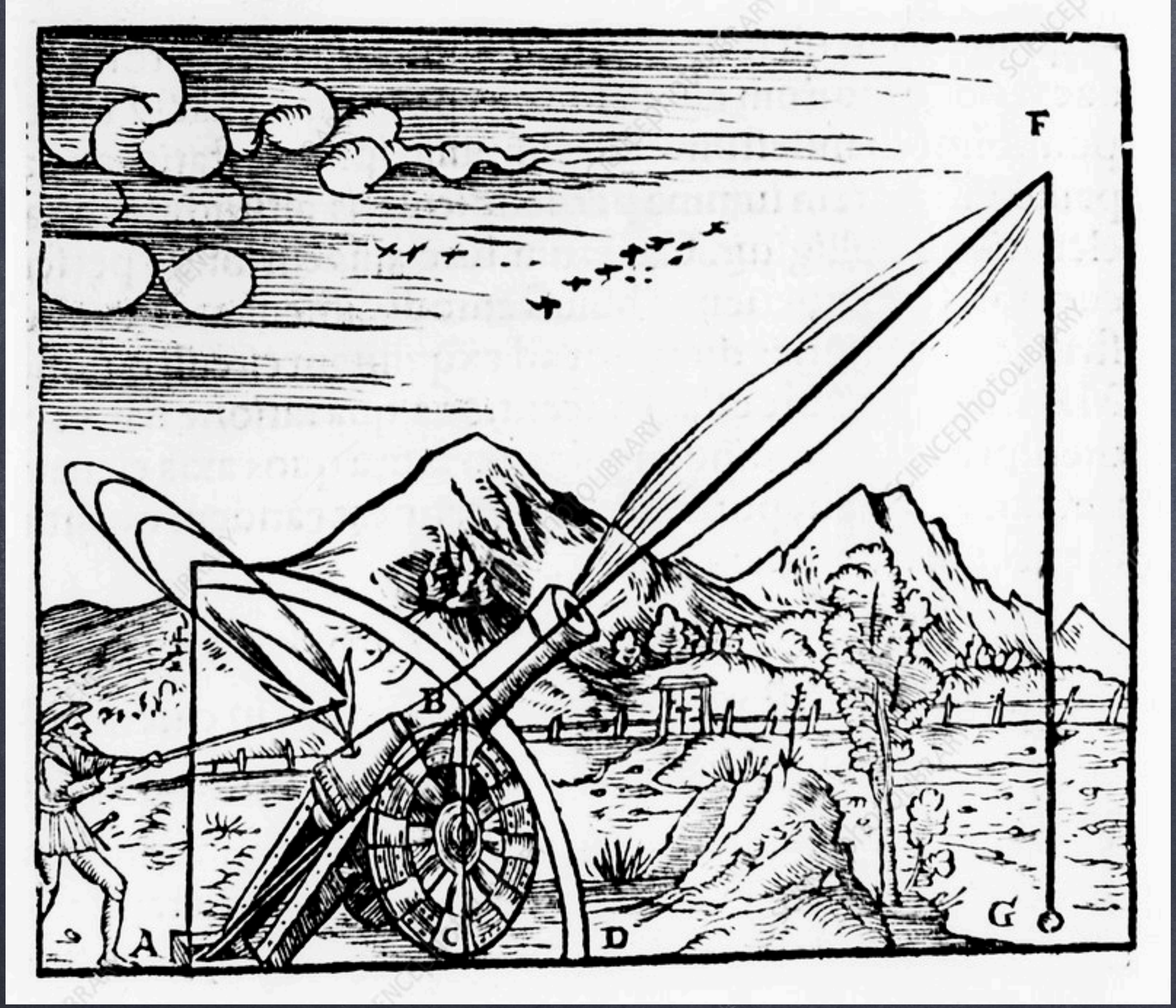
história vs. logika fyziky

- Galileo nepoznal dnešnú stredoškolskú matematiku
- naša argumentácia bola založená na Descartových súradniciach, lenže v čase Galileovho objavu bol René Descartes len malý chlapček
- naše rozprávanie o histórii nie je historicky verné, ale snaží sa byť verné v logike základných argumentov

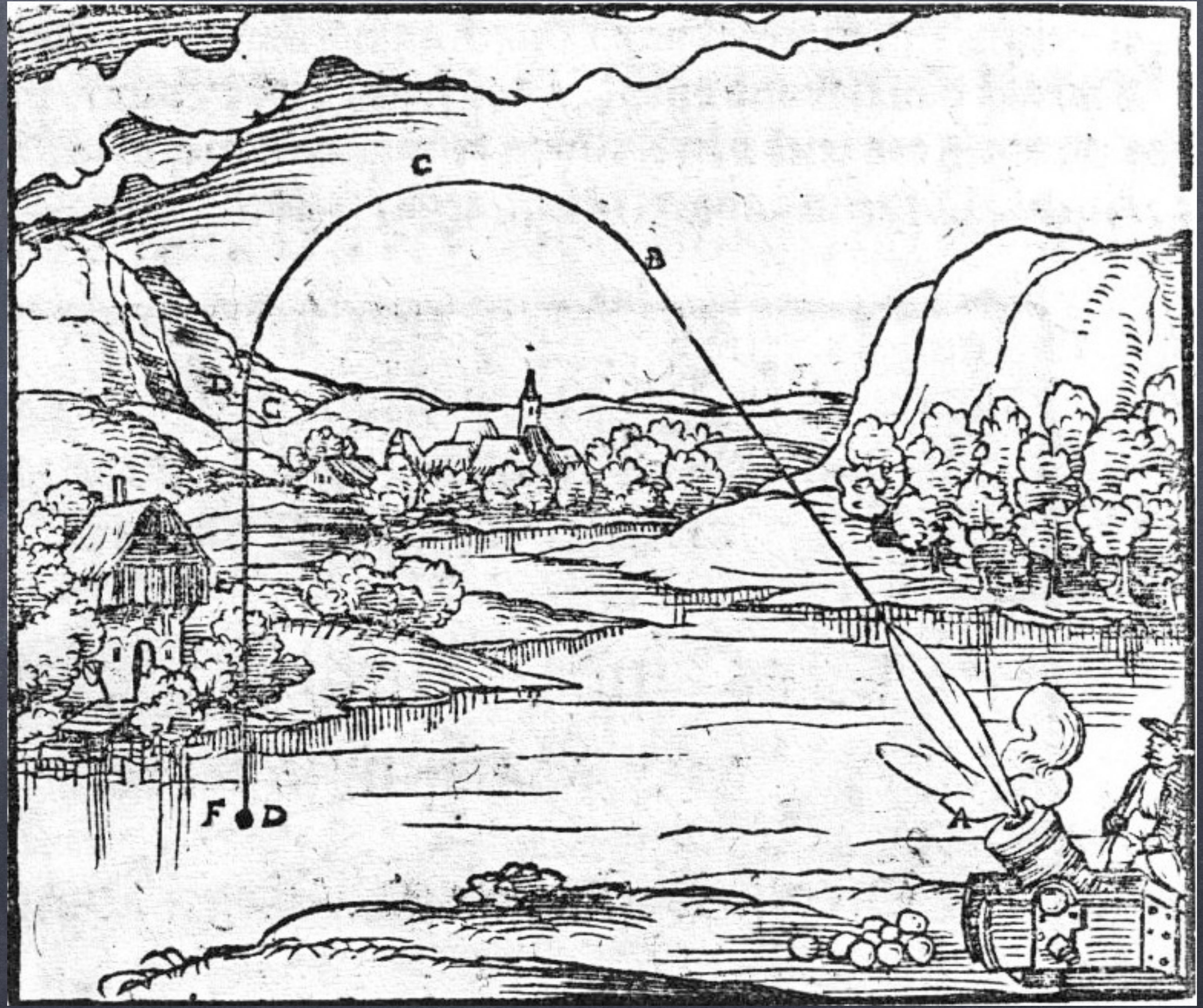


Galileove paraboly neboli kartézskymi grafmi kvadratických funkcií

šikmý vrh pred Galileom



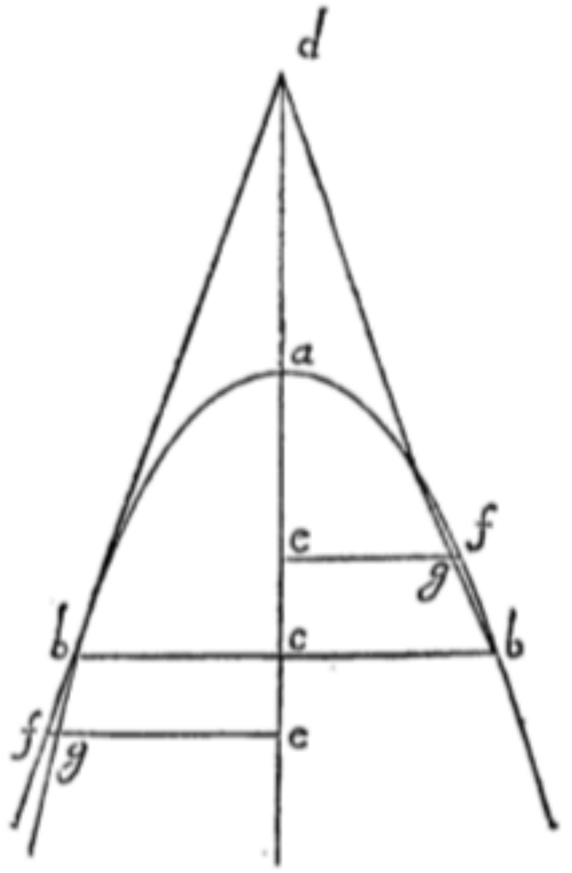
1561



1582

šikmý vrh u Galilea

tro ſegandola ſopra, ò prolungata ſegandola ſotto. Et in eſſa ſia preſo qualſiuoglia punto g *per il quale paſſi la retta* f g e. *E perche il quadrato* f e *è maggiore del quadrato* g e, *maggior proporzione haurà eſſo quadrato* f e *al quadrato* b c, *che'l quadrato* g e *al medeſimo* b c. *E perche per la precedente il quadrato* f e *al quadrato* b c *ſtà come la* e a *alla* a c, *adunque maggior proporzione hà la* e a *alla* a c, *che'l quadrato* g e *al quadrato* b c, *cioè, che'l quadrato* e d *al quadrato* d c. (*eſſendo che nel triangolo* d g e *come la* g e *alla parallela* b c, *così ſtà* e d *a* d c.) *mà la linea* e a *alla* a c, *cioè, alla* a d, *hà la medeſima proporzione, che 4 rettangoli* e a d *a 4 quadrati di* a d, *cioè al quadrato* c d *(che è eguale a 4 quadrati di* a d. *) adunque 4 rettangoli* e a d *al quadrato* c d *haranno maggior proporzione che il quadrato* e d *al quadrato* d c. *adunque 4 rettangoli* e a d *ſaranno maggiori del quadrato* e d: *il che è falſo, perche ſon minori: imperò che le parti* e a, a d, *della linea* e d, *non ſono eguali. Adunque la linea* d b *tocca la Parabola in* b, *e non la ſega. il che ſi doueua dimoſtrare.*



Simpl. *Voi procedete nelle voſtre dimoſtrazioni troppo alla grande; & andate ſempre, per quanto mi pare, ſupponendo che*

tutte

Amplitudines Semiparabolarum ab eodem impetu deſcriptarum.

Gradus Elevationum.

Gr.		Gr.
45	10000	
46	9994	44
47	9976	43
48	9945	42
49	9902	41
50	9848	40
51	9782	39
52	9704	38
53	9612	37
54	9511	36
55	9396	35
56	9272	34
57	9136	33
58	8989	32
59	8829	31
60	8659	30
61	8481	29
62	8290	28
63	8090	27
64	7880	26
65	7660	25
66	7431	24
67	7191	23
68	6944	22
69	6692	21
70	6428	20
71	6157	19
72	5878	18
73	5592	17
74	5300	16
75	5000	15
76	4694	14
77	4383	13
78	4067	12
79	3746	11
80	3420	10
81	3090	9
82	2756	8
83	2419	7
84	2079	6
85	1736	5
86	1391	4
87	1044	3
88	698	2
89	349	1

Altitudines Semiparabolarum quarum impetus ſit idem.

Gradus Elevationum.

Gr.		Gr.	
1	3	46	5173
2	13	47	5346
3	28	48	5523
4	50	49	5698
5	76	50	5868
6	108	51	6038
7	150	52	6207
8	194	53	6379
9	245	54	6546
10	302	55	6710
11	365	56	6873
12	432	57	7033
13	506	58	7190
14	585	59	7348
15	670	60	7502
16	760	61	7649
17	855	62	7796
18	955	63	7939
19	1060	64	8078
20	1170	65	8214
21	1285	66	8346
22	1402	67	8474
23	1527	68	8597
24	1685	69	8715
25	1786	70	8830
26	1922	71	8940
27	2061	72	9045
28	2204	73	9144
29	2351	74	9240
30	2499	75	9330
31	2653	76	9415
32	2810	77	9493
33	2967	78	9567
34	3128	79	9636
35	3289	80	9698
36	3456	81	9755
37	3621	82	9806
38	3793	83	9851
39	3962	84	9890
40	4132	85	9924
41	4302	86	9951
42	4477	87	9972
43	4654	88	9987
44	4827	89	9998
45	5000	90	10000

Tabula

mravné ponaučenia

- Skúmanie nejakých javov (napr. pohybu v zvislom smere) vedie často k celkom neočakávaným objavom týkajúcim sa iných javov (napr. pohybu vo vodorovnom smere)
- Základný výskum zdanlivo nepraktických akademických problémov (napr. ako sa mení rýchlosť pri voľnom páde) môže viesť k významným praktickým aplikáciám (napr. k výraznému zlepšeniu presnosti delostrelectva, čo je veľmi užitočné, ak strieľajú naši)

slovo na záver

- Všetky mravné ponaučenia v minulej aj v tejto prednáške sa týkali jednak Galileových objavov a jednak celej fyziky
- Je až fascinujúce uvedomiť si, ako veľa z fyziky a jej metód sa dá ilustrovať na celkom základných Galileových objavoch z mechaniky