

Università degli Studi di Parma

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica, Elettronica e delle Telecomunicazioni

anno accademico 2015-2016

Fisica Generale 1



Prof. Marisa Bonini,
titolare del corso

Dr. Emilia Livioti,
esercitazioni

1 marzo 2016

Avvisi di servizio

Orari: martedì.....8:45-10:30

mercoledì.....14:45-16:30

giovedì.....10:45-12:30

Esercitazioni: lunedì.....16:30

**mercoledì 14:45-16:30 (al posto della
lezione)**

Questa settimana non ci saranno le esercitazioni

Ricevimento:

Orario ufficiale ricevimento: mercoledì 16:45–18.00

presso il

Dipartimento di Fisica

(ufficio di fronte all'aula Einstein

primo piano lato sud-est)

oppure in altri orari su appuntamento

0521 905226

marisa.bonini@unipr.it

Informativa sulle modalità di esame

- ❑ Prova scritta: consiste in una serie di problemi da risolvere in due ore selezionati dal programma di meccanica, idrodinamica e termodinamica.
- ❑ Il superamento della prova permette di accedere alla prova orale o in alternativa, nel caso il voto sia considerato soddisfacente, l'esame è registrato con il voto della prova scritta.
- ❑ Ci sarà una prova intermedia ai primi di maggio comprendente argomenti della prima parte (meccanica). Ove il risultato sia positivo la successiva prova scritta riguarderà solo la seconda parte del programma.
- ❑ Ci saranno sette appelli di esame scritto: in giugno (2), luglio (1), settembre (2), gennaio (1) e febbraio (1).
- ❑ iscrizioni su esse3 sia allo scritto che all'orale (verbalizzante)
- ❑ anche per la prova intermedia bisogna iscriversi su esse3

Libri di testo consigliati

Halliday-Resnick-Krane, Fisica 1

Gettys, fisica 1, *meccanica e termodinamica*

Serway-Jewett, FISICA, *Vol. 1 per Scienze e Ingegneria*

(qualunque altro testo di fisica generale a livello universitario)

**Materiale didattico a disposizione appena prima
delle lezioni (di norma) sulla piattaforma Elly
<http://elly.dii.unipr.it>
per accedere **BISOGNA ISCRIVERSI AL CORSO****

Troverete via rete tutto il materiale di cui sono costituite queste lezioni, gli esercizi, i testi e soluzioni delle prove scritte degli appelli precedenti e ad altra documentazione importante per la comprensione delle lezioni.

Tutte le comunicazioni relative al corso appariranno qui: controllare spesso

Gli iscritti al corso riceveranno gli avvisi del corso via mail al loro indirizzo di posta universitario

Requisiti

Essenziale per poter apprendere le basi della Fisica è una buona conoscenza della Matematica che costituisce parte integrante del linguaggio. In pratica: è importante che abbiate appreso i concetti e le tecniche di

Analisi Matematica 1

(limiti, derivate, integrali, studio di funzione, ...)

Introduzione

Nei due corsi di Fisica Generale studierete la **Fisica "classica"** che ha avuto il suo pieno sviluppo nel XIX secolo:

La **Fisica Newtoniana** ha retto per due secoli e ha raggiunto l'obiettivo principale di padroneggiare tutti i fenomeni legati al movimento, dai più piccoli oggetti sulla Terra fino al moto di pianeti e satelliti nel sistema solare. La meccanica di Newton raggiunge un grado di raffinatezza tale da poter **prevedere** piccole anomalie nel moto dei pianeti, l'esistenza di Urano, Nettuno e Plutone, tre nuovi pianeti sconosciuti al tempo di Newton e Laplace.

Nello studio dei sistemi liquidi e gassosi la termodinamica basata sull'applicazione della meccanica di Newton a sistemi con un grande numero di gradi di libertà rende conto dei fenomeni della propagazione, dello scambio e della trasformazione del calore

Nel prossimo corso di fisica studierete:

I **fenomeni elettrici e magnetici** vengono unificati in una singola teoria che prevede e descrive correttamente la propagazione di onde elettromagnetiche, praticamente la base indispensabile per la società delle comunicazioni.

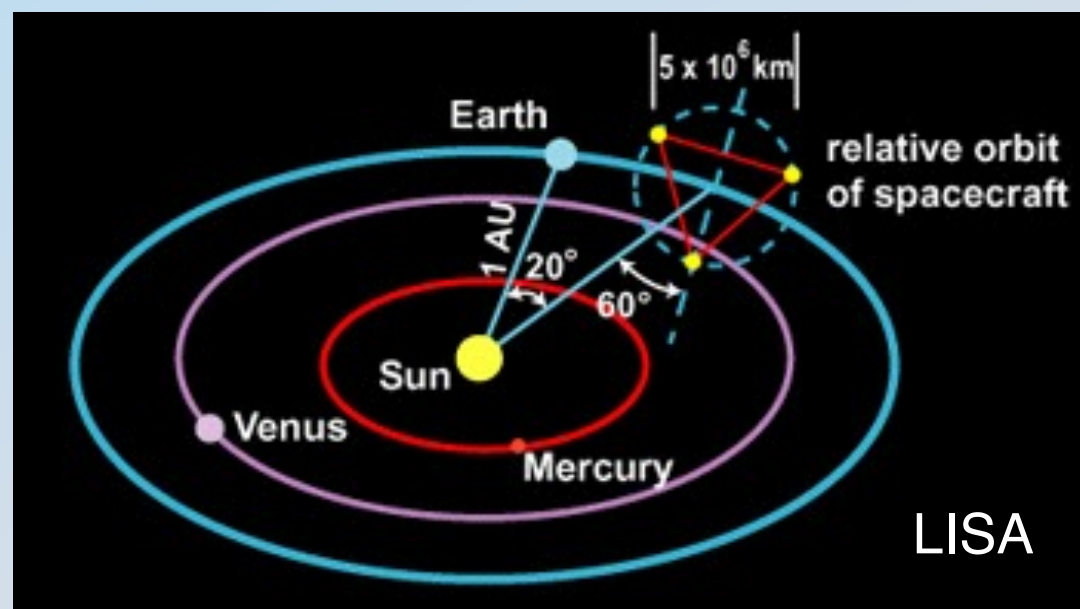
Quello che **non affronterete** in questi due corsi di fisica generale è la Fisica del XX secolo che ha costituito una delle più emozionanti fasi del progresso scientifico:

a cento anni dalla originaria formulazione della **Relatività Generale** e della **Fisica quantistica** entrambe queste componenti della Fisica sono entrate nel mondo della tecnologia (laser, NMR, GPS, nanotech, Bio,...) per cui anche l'Ingegnere che operi in un campo avanzato della ricerca tecnologica non può ignorarle.

Solo un rapido cenno...

1915-2015

- La rivoluzione Einsteiniana: una revisione alla radice della concezione stessa di spazio e tempo. La teoria della Relatività Generale costituisce il fondamento della fisica della gravitazione



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

Relatività

- ❑ Deviazione della luce da parte dei corpi celesti
- ❑ spiegazione di talune anomalie astronomiche
- ❑ onde gravitazionali
- ❑ rallentamento dello scorrere del tempo dovuto al campo gravitazionale

1915-2015

Sono alcuni dei fenomeni previsti dalla teoria di Einstein con tale precisione da avere retto per 100 anni senza alcuna necessità di revisione e senza l'introduzione di nuove costanti, ... e poi

- ❑ Buchi neri, stelle di neutroni
- ❑ Cosmologia
- ❑ Fondo cosmico di radiazione infrarossa
(CMB=cosmic microwave background)

Relatività

La Relatività “speciale”: si basa su un principio, quello secondo cui la velocità della luce nel vuoto è la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali. Ciò obbliga a eliminare il concetto di tempo assoluto e rende la contemporaneità di due eventi un concetto relativo al sistema di riferimento.

La meccanica di Newton rimane valida all'interno di un errore sistematico dell'ordine di $(v/c)^2$ che per un jet di linea è circa 10^{-12} , trascurabile a tutti gli effetti pratici, ma pur sempre misurabile.

Fisica quantistica

La Fisica dei Quanti: addentrandosi nel mondo microscopico (a livello atomico) si è scoperto che le leggi della Meccanica e dell'Elettrodinamica dovevano essere profondamente riformate.

Emerge un quadro che implica una natura essenzialmente statistica delle leggi fisiche e una limitazione assoluta alla precisione di misure fisiche (principio di indeterminazione).

Fisica quantistica

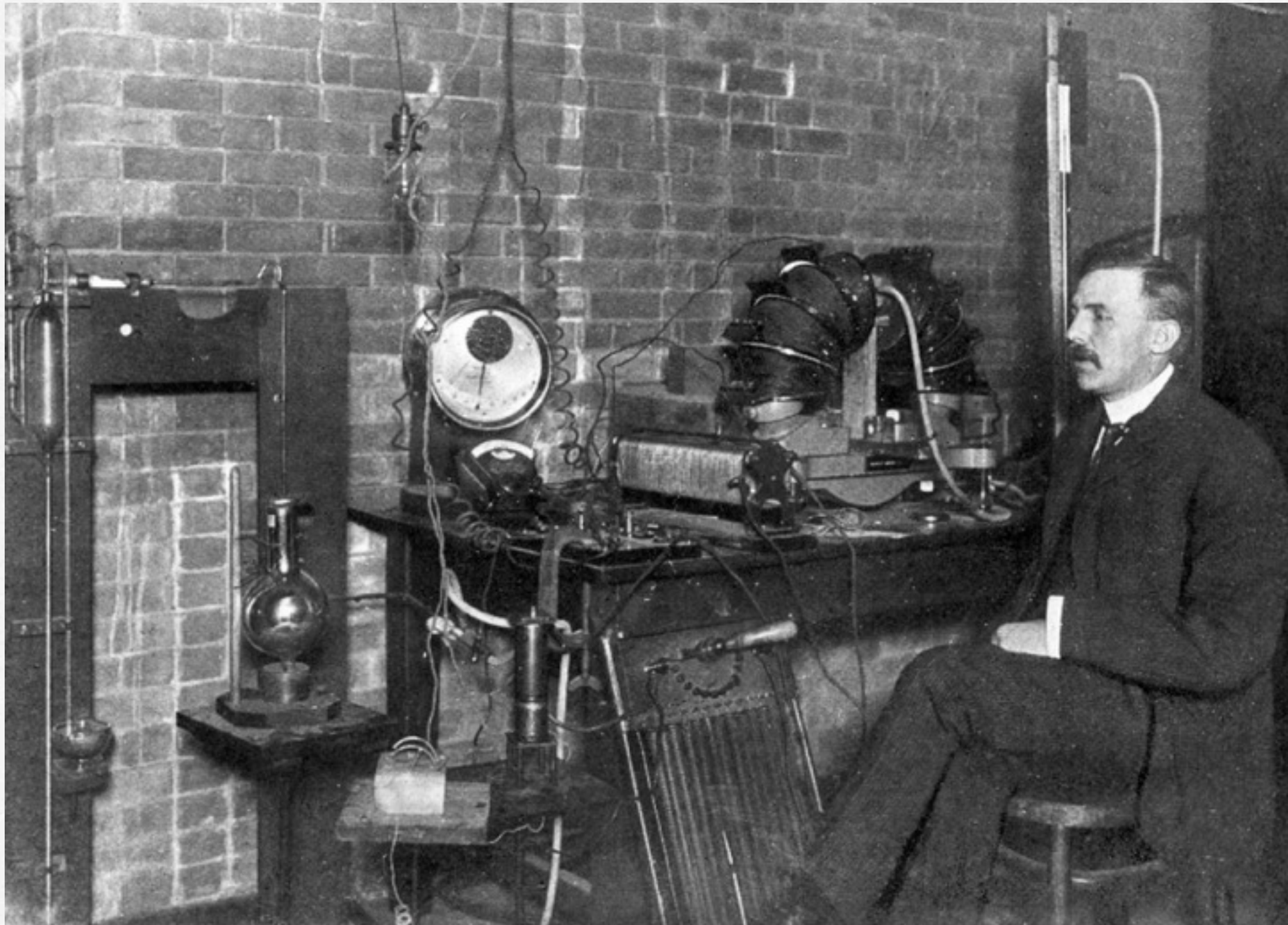
Il principio di indeterminazione è il cuore della fisica quantistica. Afferma che esiste un limite di natura alla precisione di una misura simultanea di posizione e velocità: per un'auto in corsa a 100 km/h con un'incertezza di ± 5 km/h la posizione non può essere nota con precisione superiore a 10^{-37} m - del tutto insignificante e neppure misurabile, niente su cui poter fondare un ricorso contro l'autovelox...

tuttavia se $m=10^{-30}$ kg (quella di un elettrone) e l'energia cinetica è quella che un elettrone acquista accelerato in una differenza di potenziale di 10V, l'incertezza sulla posizione sale a circa 10^{-10} m, ossia 1 Å (Angstrom) il che significa che non possiamo pretendere di sapere dove stia l'elettrone in un atomo.

LE SFIDE DELLA FISICA NEL III MILLENNIO

- *Onde gravitazionali*☒ 2016
- *Particella di Higgs*☒ 2012
- *Particelle supersimmetriche...* ☐
- *Di cosa è fatto l'Universo?...* ☐
- *Nuovi materiali (quantum computing)* ☐
-

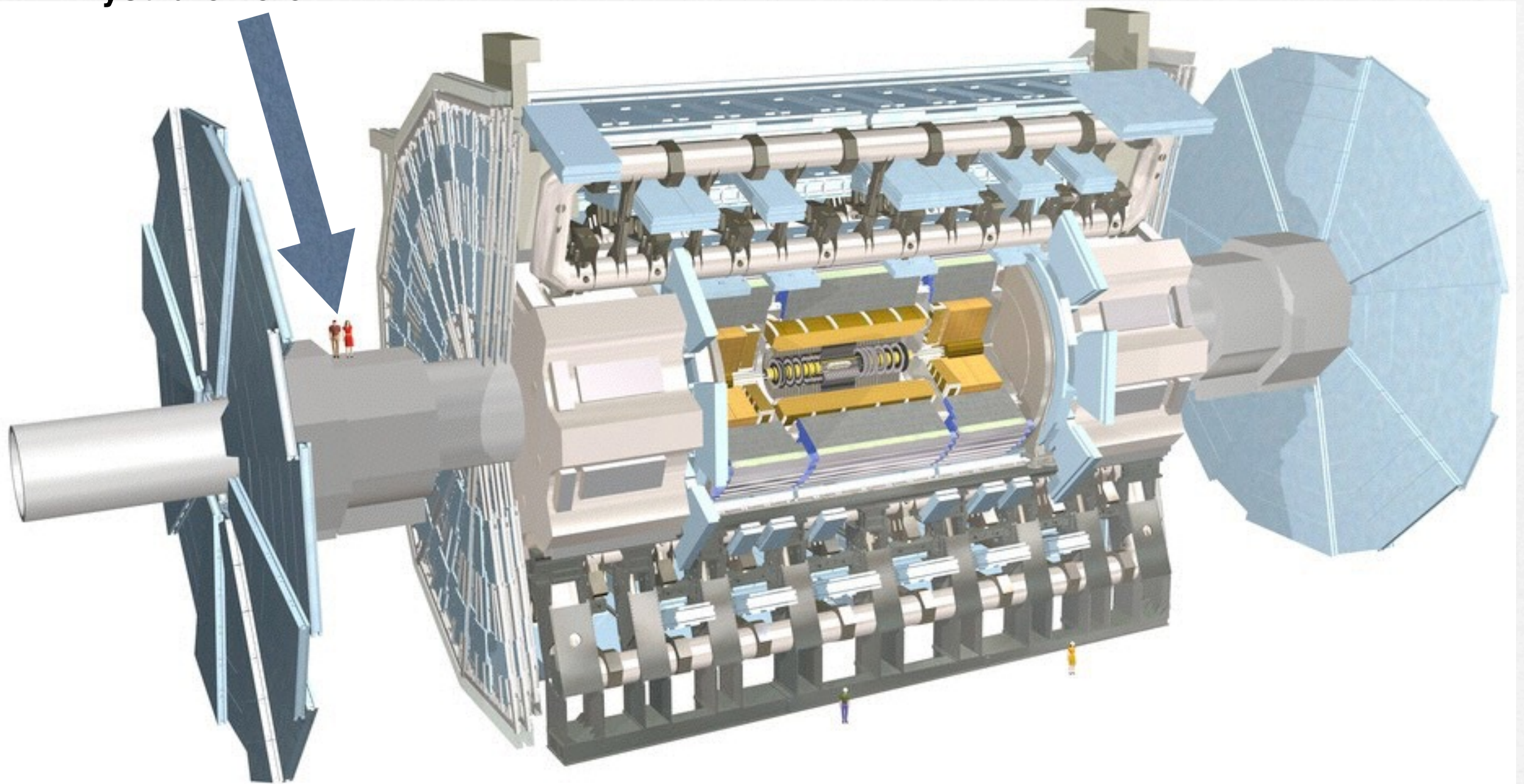
Si può dire che tutta la fisica atomica iniziò così



E. Rutherford, 1905

mentre oggi...

you are here



Il rivelatore ATLAS (CERN-LHC)

Galileo ha sostenuto, anche sotto tortura, che il Sole, i Pianeti, la Luna, le lune di Giove sono costituite della stessa sostanza di cui è costituita la Terra.

Oggi scopriamo che in realtà *la materia che conosciamo costituisce solo il 5% della massa presente nell'Universo*. Galileo non aveva indizi relativi a questo fatto. Ma oggi la “materia oscura” è un campo di forte impegno di ricerca e ci sono forti indizi della sua presenza nella nostra stessa galassia



Fisica Generale 1

Prima Lezione

1 MARZO 2016

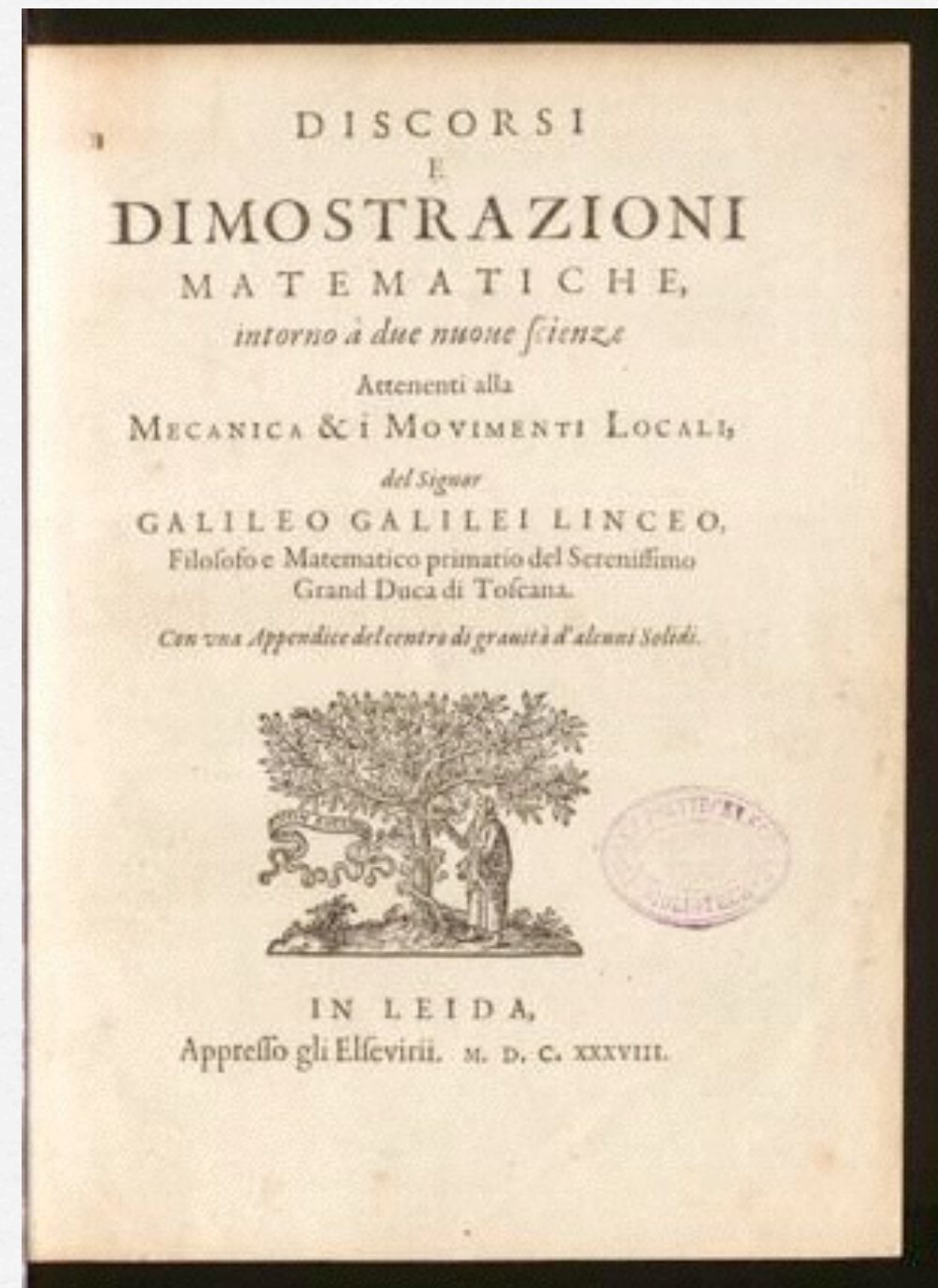
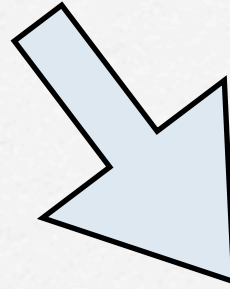
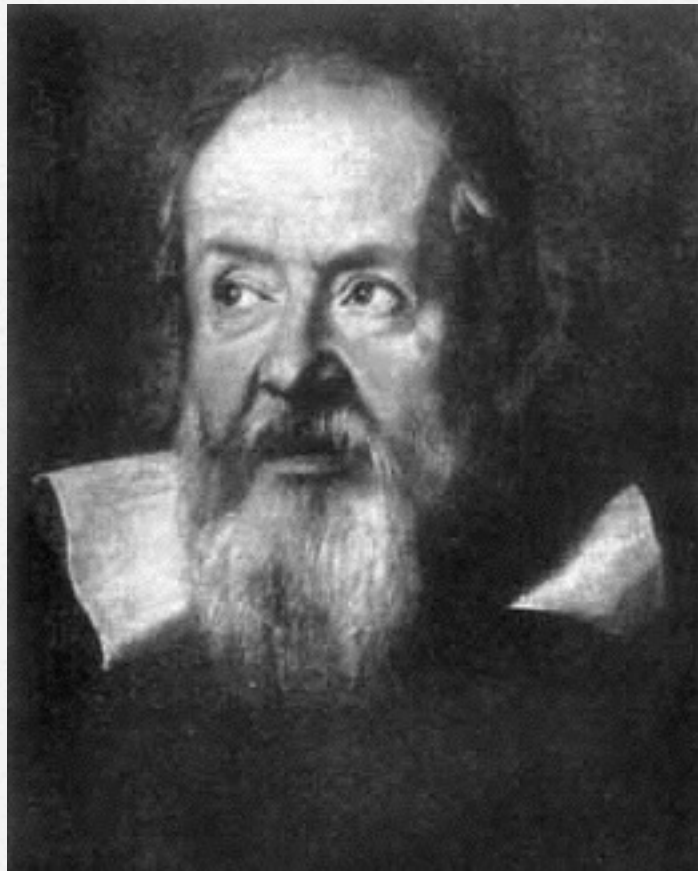
Argomenti della prima lezione

- ❑ **Il Metodo Scientifico**
- ❑ **Unità di misura fondamentali**
- ❑ **Sistemi di unità di misura**
- ❑ **Dimensioni fisiche, unità e cifre significative**

Il Metodo scientifico

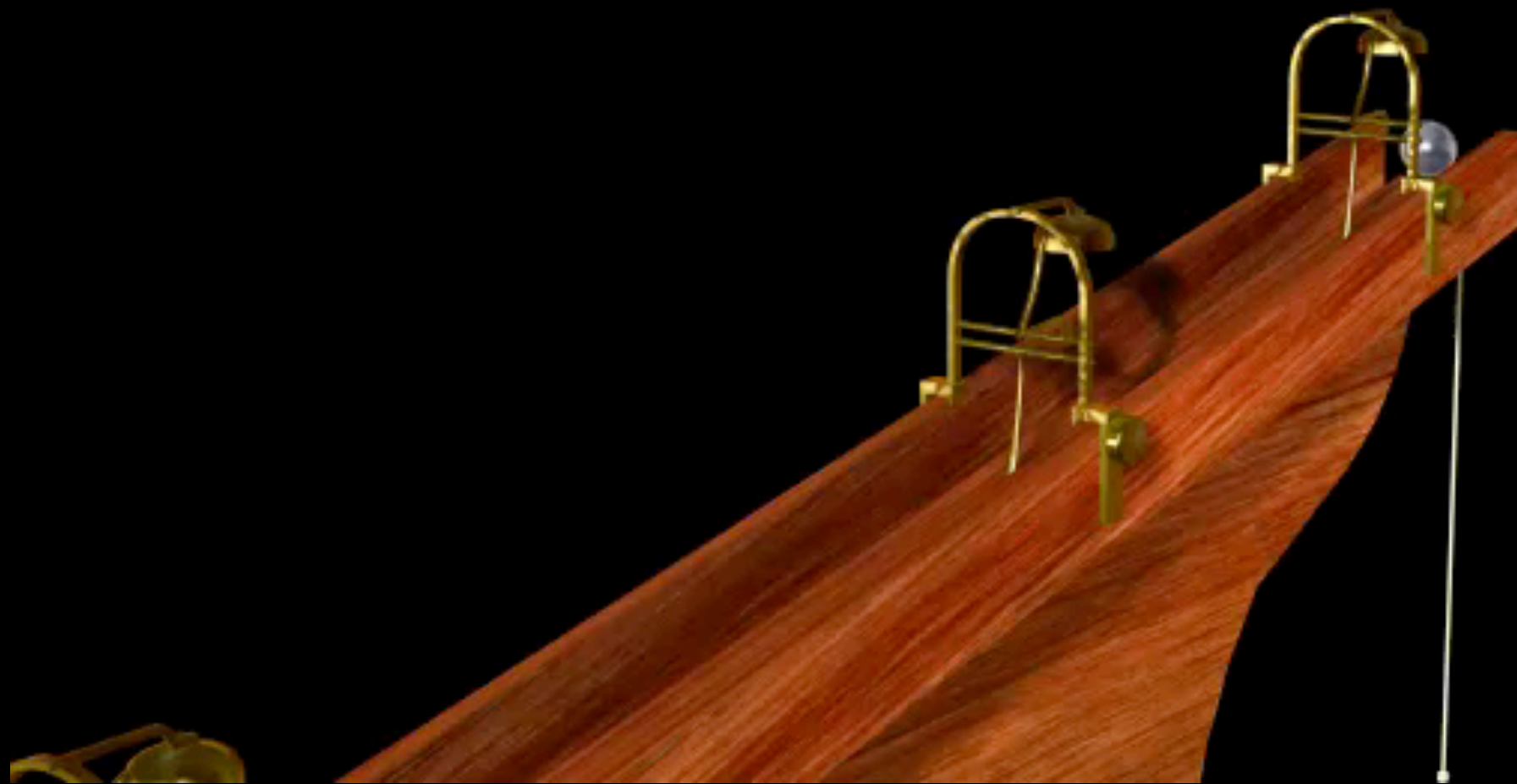
- ☐ Misure
- ☐ Esperimenti
- ☐ Ricerca di correlazioni
- ☐ Ipotesi di lavoro e congetture
- ☐ Formulazione di una legge e sue verifiche
- ☐ Riproducibilità

Galileo Galilei



- **Piano inclinato con traguardi**

- Distanza dei traguardi in proporzione **1:3:5:7...** in modo che la distanza tra il punto di partenza e l'n-esimo traguardo cresca come il quadrato di n
- La sfera che cade e tocca le campanelle posizionate sui traguardi esibisce ritmo costante, il che suggerisce una relazione quadratica tra spazio percorso e tempo.
- Ipotesi → apparato sperimentale → sensibilità dello strumento
- *"Quanto poi alla misura del tempo, si teneva una gran secchia piena d'acqua, attaccata in alto, la quale per un sottil cannellino, saldatogli nel fondo, versava un sottil filo d'acqua, che s'andava ricevendo con un piccol bicchiere per tutto 'l tempo che la palla scendeva nel canale e nelle sue parti: le particelle poi dell'acqua, in tal guisa raccolte, s'andavano di volta in volta con esattissima bilancia pesando, dandoci le differenze e proporzioni de i pesi loro le differenze e proporzioni de i tempi; e questo con tal giustezza, che, come ho detto, tali operazioni, molte e molte volte replicate, già mai non differivano d'un notabil momento"*



Galileo e il piano inclinato la legge del moto dei gravi

- Avendo a disposizione delle cellule fotoelettriche le misurazioni di posizione si possono rendere automatiche e l'ipotesi può essere sottoposta a ulteriori verifiche e conferme. (Pensare alla precisione, 1/1000 sec, nella misura di una gara di sci!)
- Per rendere l'esperimento riproducibile è necessario specificare la natura della guida, il grado di rifinitura, il materiale di cui è costituita la sfera, il suo peso, etc.

Unità di misura fondamentali

Ogni grandezza fisica è esprimibile in termini di grandezze fondamentali.

In meccanica, cioè la Fisica che si occupa del movimento dei corpi tutto è esprimibile in termini di

lunghezza = $[L]$

massa = $[M]$

tempo = $[T]$

nelle parentesi $[]$ si mette la dimensione della grandezza fisica

Grandezze fisiche derivate

Il volume V di una scatola è una grandezza fisica che ha le dimensioni di $[L^3]$

La velocità di un oggetto, che esprime lo spazio percorso in un dato tempo $v=s/t$, ha dimensione $v=[LT^{-1}]$

L'accelerazione, che rappresenta la variazione della velocità in un dato tempo $a=v/t$ ha dimensione $a=[LT^{-2}]$

Il rapporto di due grandezze che hanno la stessa dimensione e' una grandezza adimensionale, come ad es. gli angoli misurati in radianti (rapporto tra arco di circonferenza e raggio)

In fisica si possono confrontare solo grandezze omogenee:

si può scrivere $A=B$ solo se A e B hanno le stesse dimensioni

due grandezze A e B si possono sommare solo se hanno le stesse dimensioni

Gli argomenti di funzioni trascendenti devono essere adimensionali

La sola considerazione della dimensione fisica può talvolta offrire informazioni importanti sulle varie grandezze.

Prendiamo ad esempio un **pendolo semplice**, cioè un filo di lunghezza L a cui è appesa una massa m . Vogliamo determinare il **periodo dell'oscillazione** della massa.

L'oscillazione del pendolo dipende dalla gravità, che è caratterizzata dalla **accelerazione di gravità g** . Il periodo del pendolo potrà a priori dipendere dalle tre grandezze **L , m , g** .

Quale combinazione di queste ha la dimensione $[T]$?

Possiamo considerare una combinazione arbitraria

$$T \propto L^{\alpha} m^{\beta} g^{\gamma}$$

e richiedere che $[T]$ abbia la giusta dimensione. Ora si trova

$$[L]^{\alpha} [M]^{\beta} [LT^{-2}]^{\gamma} = [L^{\alpha+\gamma} M^{\beta} T^{-2\gamma}]$$

e perciò

$$\gamma = -\frac{1}{2}$$

$$\alpha = -\gamma = \frac{1}{2}$$

$$\beta = 0$$

Il che significa

$$T = K \sqrt{\frac{L}{g}}$$

1. La costante K è arbitraria ed è una quantità adimensionale
2. La formula non ci dice qual è il periodo di uno specifico pendolo, ma ci dice che
 1. NON DIPENDE DALLA MASSA
 2. raddoppia se si moltiplica la lunghezza per quattro
 3. sulla Luna sarà due volte e mezzo più lungo in quanto l'accelerazione di gravità vale 1.625 contro 9.8 m/s^2

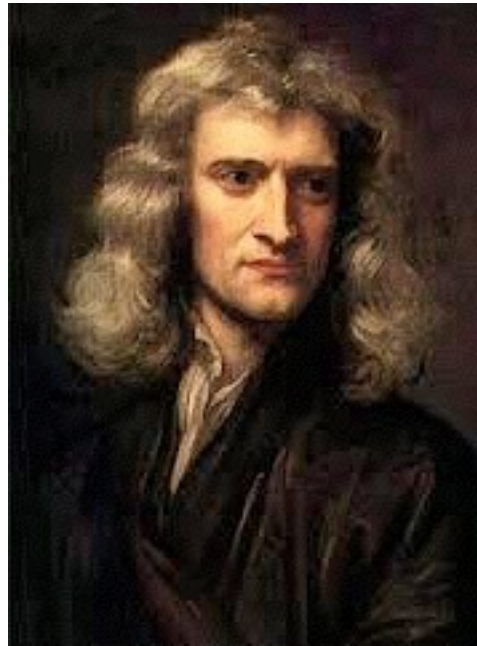
In realtà ragionando così abbiamo trascurato un fatto importante: **esiste un'altra variabile che può entrare nel determinare il periodo di oscillazione, l'ampiezza di oscillazione**, ossia l'angolo iniziale da cui facciamo partire il pendolo. L'angolo è una grandezza adimensionale (è il rapporto tra l'arco di circonferenza e il raggio) e quindi la sola conclusione rigorosa riguardo il periodo in base a pure considerazioni dimensionali sarà

$$T(\vartheta, \ell, g) = \sqrt{\frac{\ell}{g}} \Phi(\vartheta)$$

dove la funzione Φ è a priori arbitraria! Galileo tentò a lungo di dimostrare $\Phi = \text{costante}$, senza successo, perchè in effetti ciò è falso! Impareremo più avanti come si esegue il calcolo corretto.

Comunque $\Phi \approx 2\pi$ per angoli piccoli (≤ 5 gradi)

Esempio dal moto dei pianeti



Il periodo di rivoluzione T dei pianeti può dipendere dal raggio dell'orbita a

e dal prodotto $G M$ (costante di Newton $\times$ massa del Sole), infatti GMm/r^2 è la forza di Newton e quindi GM ha dimensioni $[L^3 T^{-2}]$. Infatti, anticipando la legge $F=ma$

$$\left[\frac{GM_{\odot} m}{r^2} \right] = [ma] = M L T^{-2}$$
$$[GM_{\odot}] = \left[\frac{r^2}{m} \right] M L T^{-2} = L^3 T^{-2}$$

$$\frac{a^3}{T^2} = K GM_{\odot}$$

*per qualche costante adimensionale K .
Questa è la **III legge di Keplero!***

Le leggi del moto di Newton naturalmente non lasciano nulla di indeciso, le costanti che non sono determinate dall'analisi dimensionale vengono calcolate esattamente in base alle equazioni del moto - ma questo lo vedremo molto più avanti!

Anche in questo caso l'argomento ha un difetto. Tra le caratteristiche delle orbite dei pianeti c'è la forma ellittica caratterizzata dalla **eccentricità** (rapporto tra i due assi principali) che è zero per il caso perfettamente circolare, ma diversa da zero per tutti i pianeti. Dato che l'eccentricità è adimensionale la formula più corretta sarebbe

$$\frac{a^3}{T^2} = K(\varepsilon) G M_{\odot}$$

In realtà l'eccentricità è piccola per tutti i pianeti, e quindi la III legge di Keplero non risente di questa possibilità – e infine il calcolo basato sulle leggi di Newton dimostrerà che $K = \text{costante}$.

Sistemi di unità di misura

Per misurare le grandezze fisiche è necessario definire le unità di misura per **lunghezza, massa, tempo**

Diversi sistemi di unità di misura:

- ★ cgs: **cm, grammo, sec**
- ★ **MKS (S.I.): metro, kg, sec**  quello che useremo
- ★ pollice, libbra, ...(UK)
- ★ pertiche, braccia da legno, ... (Ducato)
- ★ Unità astronomiche (LYears, parsec)
- ★ Unità atomiche ($\text{\AA}$, eV, ...)
- ★ Unità nucleari (fm, GeV, ...)

Nel 1971 alla "Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure" sono state selezionate 7 (a noi interessano solo 3) grandezze fondamentali del S.I. I campioni delle unità di misura devono rimanere inalterati nel tempo e accessibili.

L'unità di misura della lunghezza è il metro

Il metro, storicamente, è definito come la decimillesionesima parte della distanza tra polo e equatore lungo la linea meridiana passante per Parigi. Fino a poco tempo fa il metro era definito a partire dalla lunghezza d'onda del colore rosso emesso dagli atomi di cripton. Oggi il metro è definito come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a $1/299\,792\,458$ secondi.

Il campione di lunghezza è una sbarra di platino iridio (materiale poco deformabile) tenuta a 0°C e sostenuta meccanicamente in modo da non subire deformazioni.

L'unità di misura della massa è il chilogrammo: il campione di massa è un cilindro di platino-iridio, conservato presso l'Ufficio Internazionale di pesi e misure, al quale è stata assegnata per convenzione internazionale la massa di 1kg.

L'unità di misura della tempo è il secondo: Qualsiasi fenomeno periodico può essere usato per definire una unità di misura del tempo: ad esempio il moto di rotazione della terra, le oscillazioni sincrone di un pendolo o di un cristallo di quarzo.
Fino al 1956, si è usato il giorno solare medio $1s = 1/86400$ giorno solare medio
Oggi un secondo è il tempo necessario alla luce (di una data lunghezza d'onda) emessa da un atomo di cesio-133 per effettuare 9 192 631 770 oscillazioni.

A.3 Sistemi anglosassoni

Nella tabella sono elencate alcune tra le più comuni unità di misura anglosassoni. Alcune unità, pur avendo nome uguale, hanno valore diverso in Gran Bretagna (UK) e negli Stati Uniti d'America (USA).

G.Dalba P.Fornasini

	<i>Grandezza</i>	<i>Unità</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Conversione</i>
	Lunghezza	inch (<i>pollice</i>)	in	25.4 mm
		foot (<i>pie</i> de)	ft	304.8 mm
		yard (<i>iarda</i>)	yd	0.9144 m
		statute mile (<i>miglio</i>)	mi	1609.344 m
		nautical mile (<i>miglio marino</i>)	naut mi	1853.184 m
	Volume	cubic inch (<i>pollice cubo</i>)	in ³	16.387 cm ³
		fluid ounce UK (<i>oncia fluida</i>)	fl oz UK	28.413 cm ³
		fluid ounce USA (<i>oncia fluida</i>)	fl oz USA	29.574 cm ³
		pint UK (<i>pinta</i>)	pt	568.261 cm ³
		liquid pint USA (<i>pinta</i>)	liq pt	473.176 cm ³
		gallon UK (<i>gallone</i>)	gal UK	4.5461 dm ³
		gallon USA (<i>gallone</i>)	gal USA	3.7854 dm ³
		oil barrel (<i>barile</i>)		158.987 dm ³
	Massa	ounce (<i>oncia</i>)	oz	28.349 g
		pound (<i>libbra</i>)	lb	0.4536 kg
	Forza	pound-force	lbf	4.448 N
	Pressione	pound-force/square-inch	psi	6894.76 Pa
	Energia	pound-force foot	lbf ft	1.3557 J
		British thermal unit	Btu	1054.5 J
		therm	therm	105.506 MJ
	Potenza	horse power	hp	745.7 W
	Temperatura	degree Fahrenheit	°F	(5/9) K

Le unità di misura vanno scelte in maniera opportuna a seconda di quali grandezze si vogliono misurare. Ad esempio:

- per misurare distanze astronomiche non è sensato usare il metro e si sceglie l'anno-luce (pari alla distanza che la luce percorre in un anno) $1LY = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$.
- per distanze atomiche è conveniente usare l'angstrom $1A = 10^{-10} \text{ m}$.

Per esprimere numeri molto grandi o molto piccoli si usa la **notazione scientifica** che utilizza le potenze del 10.

Inoltre si utilizzano prefissi per le unità di misura per moltiplicare per il relativo fattore.

Esempio: $3\,560\,000\,000 \text{ m} = 3.56 \times 10^9 \text{ m} = 3.56 \text{ Gm}$

I prefissi più comunemente usati sono:



Tabella 1.1 Prefissi per le unità del SI

Simbolo	Nome	Valore
E	exa	10^{18}
P	peta	10^{15}
T	tera	10^{12}
G	giga	10^9
M	mega	10^6
k	chilo	10^3
↓	↓	↓
m	milli	10^{-3}
μ	micro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}
f	femto	10^{-15}
a	atto	10^{-18}
Prefissi non SI accettati:		
h	etto-	10^2
da	deca-	10^1
d	deci-	10^{-1}
c	centi	10^{-2}

Precisione

In Fisica una misura di qualunque tipo è espressa come

$$A = x.xxx(yy) \times 10^z$$

ad esempio la massa dell'elettrone e il raggio di Bohr dell'atomo di H

$$m_e = 9.1093897(54) \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$a_B = 0.529177249(24) \times 10^{-10} \text{ m}$$

Le cifre tra () indicano l'errore della misura

Ogni misura è affetta da un errore. Ripetendo la stessa misura più volte si ottengono risultati che possono sempre differire per le cause più disparate. Ogni esperimento raggiunge il suo obiettivo se è in grado di indicare un valore centrale per la misura e una stima accurata dell'errore statistico. Misure indipendenti con strumentazioni e tecniche diverse sono ***“compatibili entro gli errori”*** quando le ***“barre di errore”*** si sovrappongono almeno in parte. (Vedi esempio seguente)

$$[G M_{\odot} m_{\oplus} / R^2] = [ma] = M L T^{-2}$$

$$[G] = L^3 M^{-1} T^{-2} \quad 6.67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

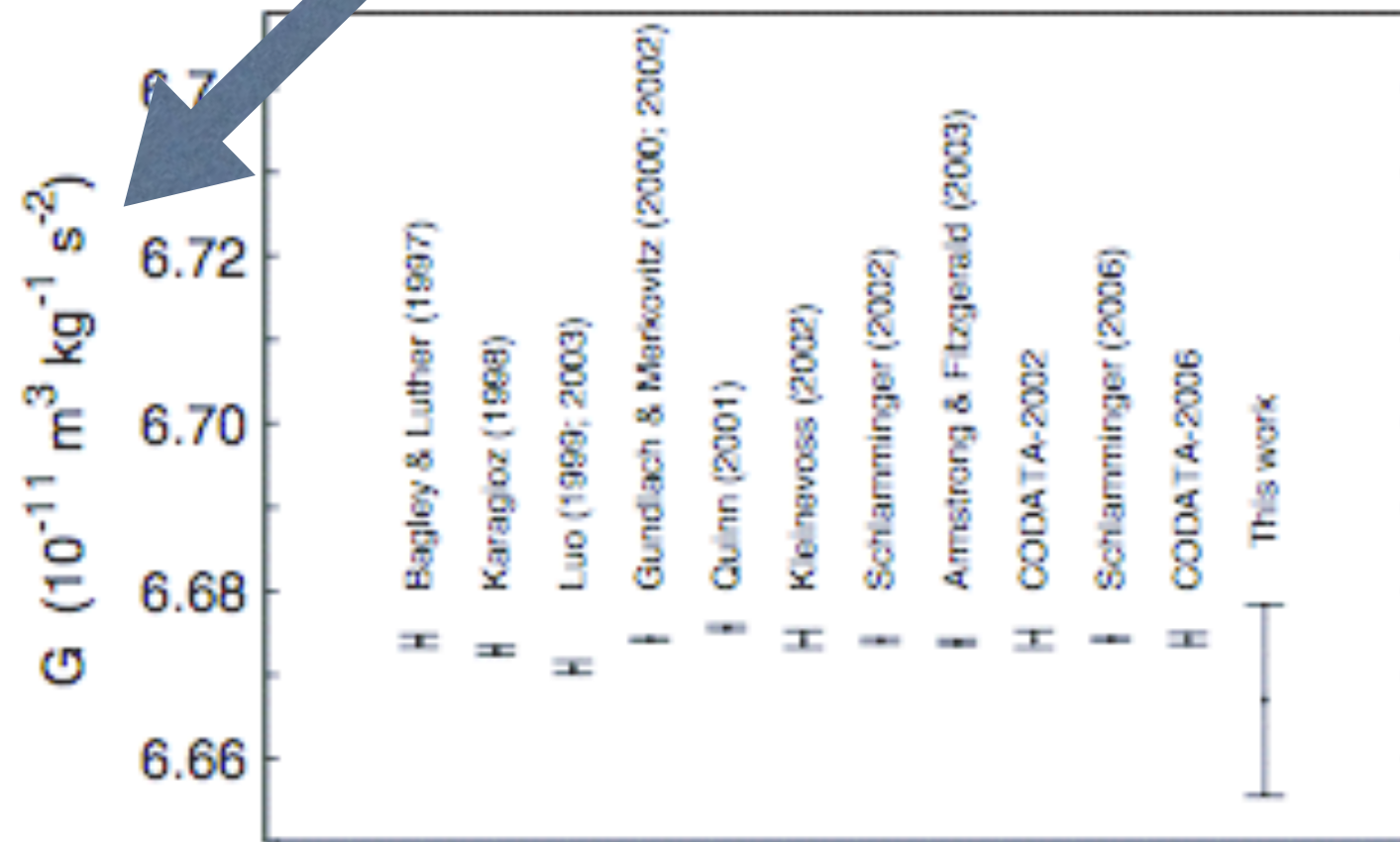


FIG. 4. Our result of the Newtonian gravitational constant compared to the most precise G measurements recently obtained and to CODATA recommended values.

sorgente: Lamporesi et al, PRL 100(2008)

TEORIA DEGLI ERRORI

Non avremo modo di approfondire l'argomento.

Solo alcuni concetti fondamentali.

Le cause che influenzano l'esito di un esperimento sono spesso in grande numero, agiscono indipendentemente le une dalle altre e prese singolarmente non avrebbero un effetto apprezzabile. Tuttavia l'accumularsi di queste cause alla fine determina le cosiddette "fluttuazioni statistiche" che rendono ogni misurazione un evento a sè.

Il Fisico ne è consapevole e cerca di interpretarne l'impatto sulla misura utilizzando le tecniche della "matematica statistica".

Quesiti Capitolo I

1. Quali sono le dimensioni del volume di un cubo? Quelle del volume di una sfera? E quelle del rapporto tra il volume di una sfera e il volume di un cubo il cui spigolo è uguale al diametro della sfera?
2.
3.

Attenzione: talvolta un quesito è formulato in modo ambiguo per via della differenza tra il significato corrente di una parola e quello **strettamente scientifico**. *Dimensione è un esempio. Noi intenderemo sempre “dimensione fisica” e inoltre NON sfrutteremo mai l’ambiguità linguistica per mettere in difficoltà...*