

Giovanni Organtini

DIPARTIMENTO DI FISICA



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**A TASTE OF**



**ALTERNATIVE TEACHING**

# La fisica e il resto

The screenshot shows a web browser window with the URL `phys.libretexts.org/Bookshelves/...`. The page features the LibreTexts logo and navigation options. The main content area is titled "1.1: The Basics of Physics" and includes a navigation bar with links for "1: The Basics of Physics", "1.2: Units", "Downloads", "Submit Adoption Report", "Peer Review", and "Donate". Below this, there is a logo for "Boundless (now LumenLearning)" and the text "Boundless". The section is titled "Introduction: Physics and Matter" and contains the text: "Physics is a study of how the universe behaves." A blue box labeled "learning objectives" contains a bullet point: "• Apply physics to describe the function of daily life". Below this, a paragraph states: "Physics is a natural science that involves the study of matter and its motion through space and time, along with related concepts such as energy and force. More broadly, it is the study of nature in an attempt to understand how the universe behaves."

1.1: The Basics of Physics - Physics (Boundless)

phys.libretexts.org/Bookshelves/...

LibreTexts™  
PHYSICS

Choose Language ▾

How can we help you?

Home » Bookshelves » University Physics » Physics (Boundless)

## 1.1: The Basics of Physics

1: The Basics of Physics | 1.2: Units | PDF | Downloads | Submit Adoption Report | Peer Review

Boundless (now LumenLearning)  
Boundless

### Introduction: Physics and Matter

Physics is a study of how the universe behaves.

#### learning objectives

- Apply physics to describe the function of daily life

Physics is a natural science that involves the study of matter and its motion through space and time, along with related concepts such as energy and force. More broadly, it is the study of nature in an attempt to understand how the universe behaves.

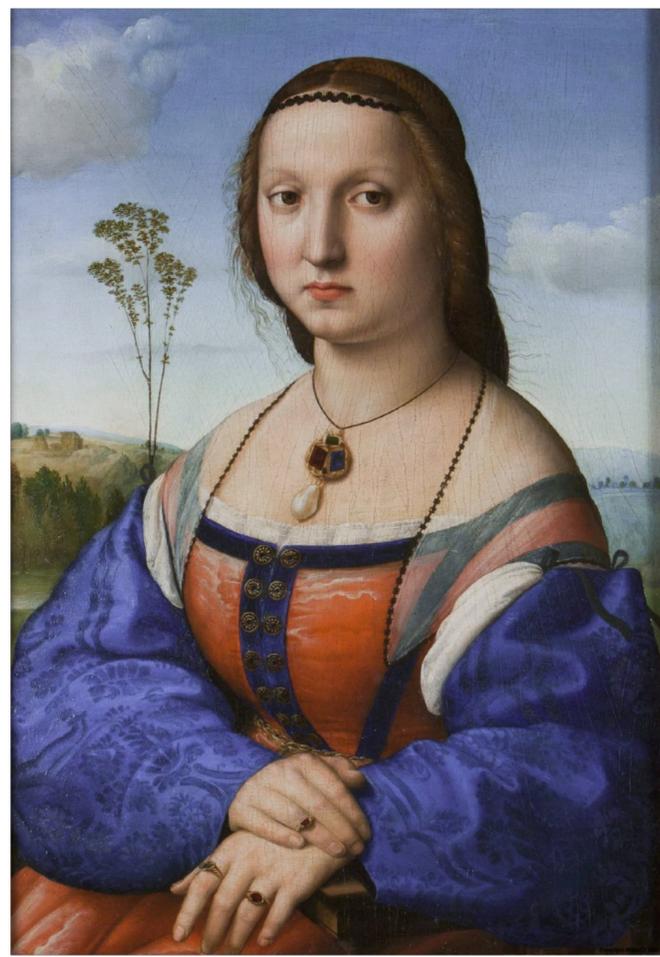
capitolo 1

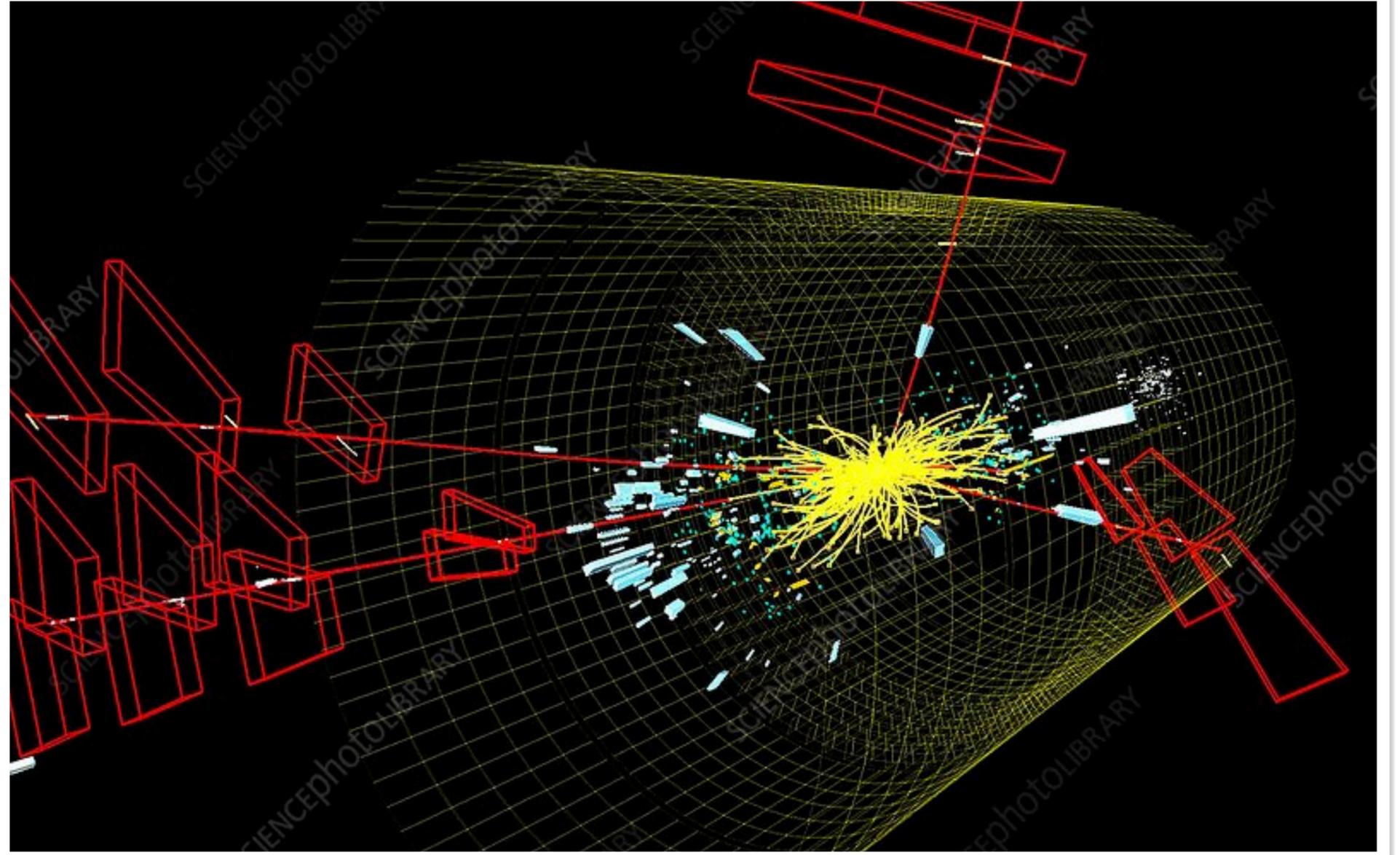
# Metodo scientifico

## 1.1. Introduzione

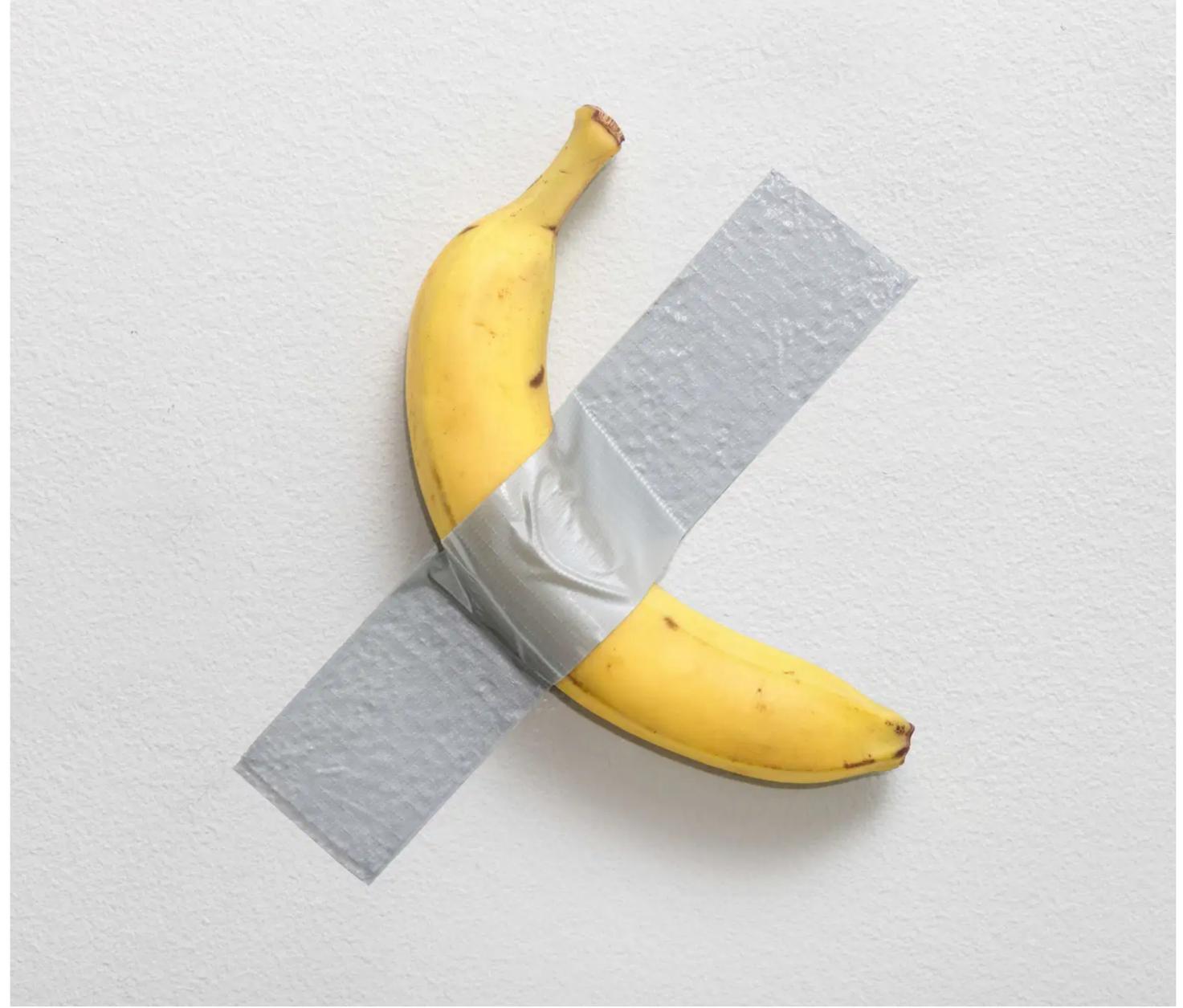
La fisica si occupa di descrivere e interpretare i fenomeni naturali usando il *metodo scientifico*. Il metodo scientifico, le cui basi furono poste da Galileo Galilei, procede sostanzialmente attraverso i seguenti passi:

METODO SCIENTIFICO













Succede purtroppo che spesso i fatti smentiscono le ingegnose e confortevoli teorie mentre non si sono mai viste teorie che smentiscono i fatti  
L.Malerba, "La Superficie di Eliane"



# Il linguaggio



La filosofia naturale è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi, io dico l'universo, ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua e conoscer i caratteri nei quali è scritto. Egli è scritto in lingua **matematica**, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.

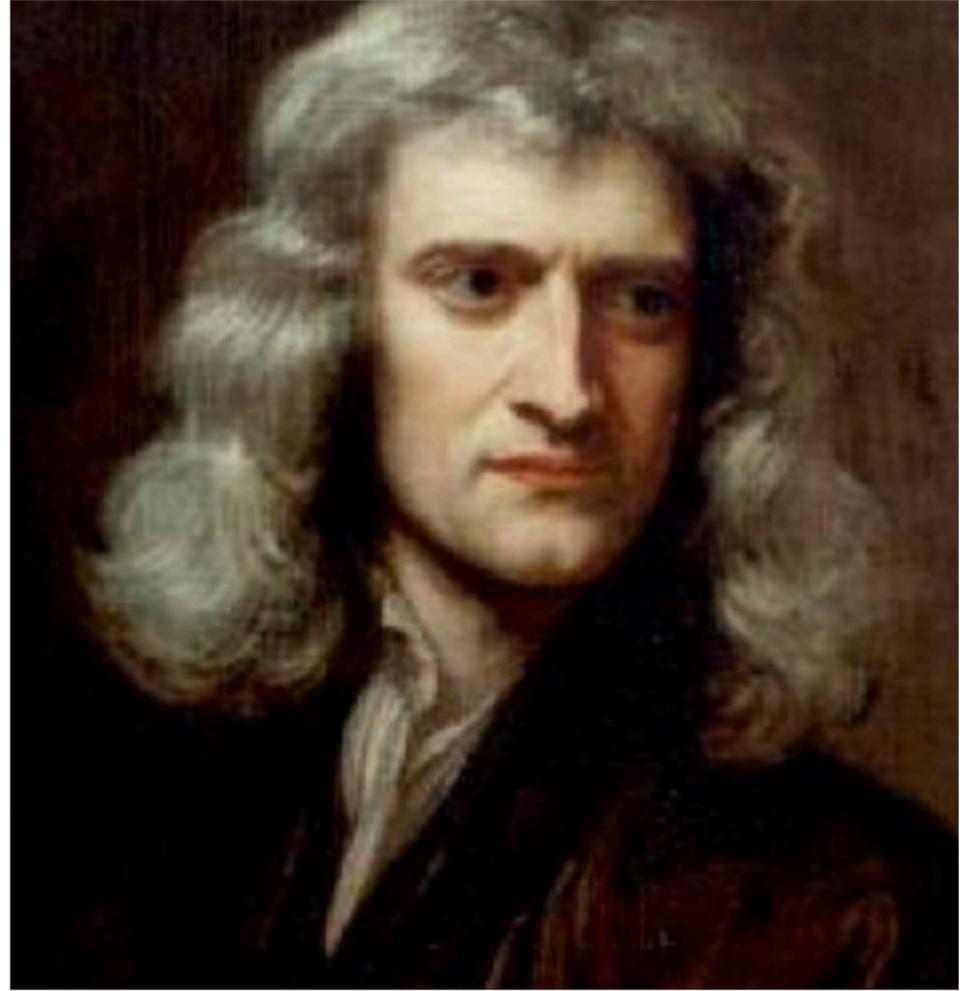
## L'importanza della matematica nell'ambito delle discipline STEM

Perché la matematica è così importante per la società attuale? La risposta più naturale, ma anche più banale, è che è utile. Questa risposta, però, è ingenerosa oltre che parziale. D'altra parte, sorprendentemente, la matematica è *il linguaggio in cui è scritto il gran libro della natura*<sup>6</sup>.

Da sempre la matematica si è sviluppata in relazione alle esigenze della vita quotidiana: il calcolo per fornire una risposta a problemi quali lo studio di un moto, il calcolo di aree e volumi, le equazioni dell'aerodinamica, ecc..

Grazie alla matematica, alla fisica e alle scienze sperimentali, l'uomo è stato capace di intervenire sull'ambiente che lo circonda. Tutta la tecnologia prodotta è figlia di questo azzardo, della scommessa che gli uomini *non sono fatti a viver come bruti, ma per seguir virtute e canoscenza*<sup>7</sup>.

Tutte le scienze fisiche e sperimentali seguono l'approccio matematico. Spinoza descriveva il metodo scientifico come un processo induttivo-deduttivo: dall'osservazione, tramite l'induzione, si arriva alla formulazione di leggi universali che, tramite un processo deduttivo, si applicano in altre situazioni.



$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}$$

[ 12 ]

---

# AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS

---

Lex. I.

*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*

**P**rojectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohærendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.

Lex. II.

*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur, si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo oblique adjicitur, & cum eo secundum utriusq; determinationem componitur.

Lex. III.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur status illum mutare.

Mutationem motus proportionalem esse vis motrici impressæ, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.



$$\frac{ds}{dt} = np \frac{t}{M}$$

# VECTOR ANALYSIS

A TEXT-BOOK FOR THE USE OF STUDENTS  
OF MATHEMATICS AND PHYSICS

*FOUNDED UPON THE LECTURES OF*

J. WILLARD GIBBS, PH.D., LL.D.

*Professor of Mathematical Physics in Yale University*

BY

EDWIN BIDWELL WILSON, PH.D.

*Instructor in Mathematics in Yale University*

NEW YORK: CHARLES SCRIBNER'S SONS

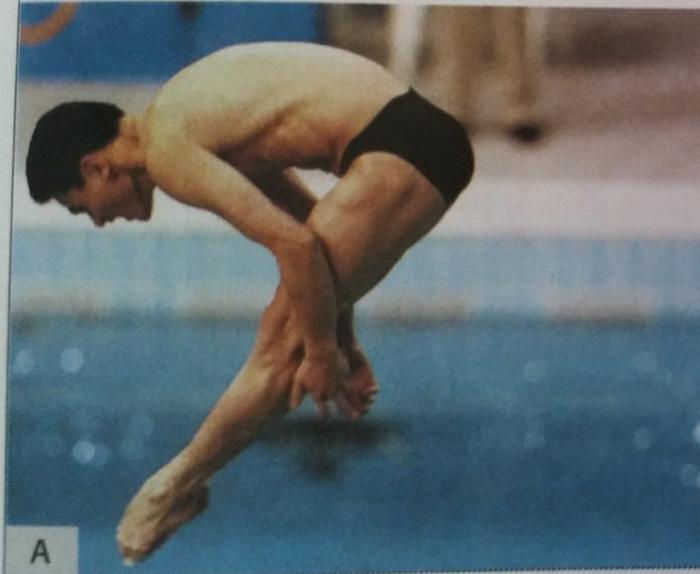
LONDON: EDWARD ARNOLD

1901

## 1. Le forze cambiano la velocità ?

L'idea di forza è legata allo sforzo muscolare. Infatti quando spingiamo, tiriamo o solleviamo un oggetto, esercitiamo una forza. Tuttavia, ci sono anche forze che non dipendono dai muscoli.

- ▶ La forza di gravità della Terra attrae il tuffatore.



- ▶ La forza magnetica della calamita attrae oggetti di ferro.



- Alcune sono **forze di contatto**, come quella del vento sulla vela o la forza che spinge un carrello del supermercato.

## 1. Le forze cambiano la velocità ?

L'idea di forza è legata allo sforzo muscolare. Infatti quando spingiamo...

## 3. Le forze sono vettori ?

Le forze hanno caratteristiche vettoriali, come una direzione, un verso e una intensità. Ma questo non basta per dire che la forza è un vettore. Bisogna anche controllare sperimentalmente in che modo le forze si sommano quando si vuole determinare la forza totale, che chiamiamo **forza risultante**.

Se la forza risultante si ottiene con il metodo punta-coda (o con quello del parallelogramma), anche l'ultima condizione è verificata e potremo affermare che la forza è un vettore.

- Alcune sono **forze di contatto**, come quella del vento sulla vela o la nostra forza che spinge un carrello del supermercato.

$$|\mathbf{x}', \mathbf{v}'\rangle = \mathcal{O} |\mathbf{x}, \mathbf{v}\rangle$$

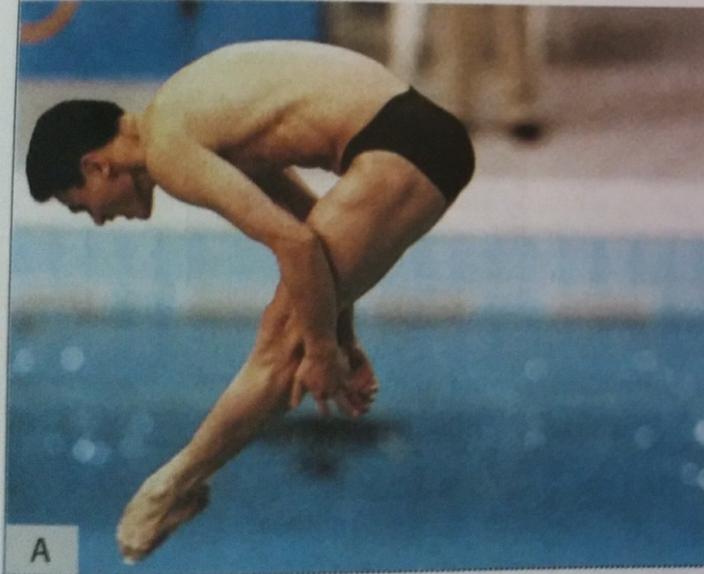
$$|\mathbf{x}', \mathbf{v}'\rangle = \mathcal{O} |\mathbf{x}, \mathbf{v}\rangle$$

$$|p', V', T'\rangle = \mathcal{O} |p, V, T\rangle$$

## 1. Le forze cambiano ~~la velocità~~ <sup>lo stato</sup>

L'idea di forza è legata allo sforzo muscolare. Infatti quando spingiamo, tiriamo o solleviamo un oggetto, esercitiamo una forza. Tuttavia, ci sono anche forze che non dipendono dai muscoli.

- ▶ La forza di gravità della Terra attrae il tuffatore.



- ▶ La forza magnetica della calamita attrae oggetti di ferro.



- Alcune sono **forze di contatto**, come quella del vento sulla vela o la forza che spinge un carrello del supermercato.

$$|\mathbf{x}', \mathbf{v}'\rangle = \mathcal{O} |\mathbf{x}, \mathbf{v}\rangle$$

$$|p', V', T'\rangle = \mathcal{O} |p, V, T\rangle$$

$$|E', J', J'_z\rangle = \mathcal{O} |E, J, J_z\rangle$$

## 7. Le forze fondamentali

Tutti i fenomeni fisici, la caduta di una foglia da un albero, i buchi neri, i fulmini durante un temporale, sono dovuti solamente a quattro forze fondamentali:

1. la forza gravitazionale;
2. la forza elettromagnetica;
3. la forza nucleare forte;
4. la forza nucleare debole.

Di queste, la forza gravitazionale e la forza elettromagnetica fanno parte della nostra esperienza diretta e quotidiana.

- La **forza gravitazionale** è attrattiva e agisce fra tutti gli oggetti che hanno una *massa*. Delle quattro forze è quella di intensità più debole, ha raggio d'azione infinito e i suoi effetti sono tanto più evidenti quanto più grandi sono le masse coinvolte e quanto minore è la loro distanza. È la forza responsabile dei moti delle stelle e dei pianeti. La forza-peso è l'effetto dell'attrazione gravitazionale che la Terra esercita sugli oggetti che si trovano nelle sue vicinanze.

riche opposte. È responsabile sia dei fulmini (→ figura a sinistra) sia dei legami di atomi e molecole.

La forza nucleare forte e la forza nucleare debole invece agiscono fra i componenti subatomici della materia e non ne abbiamo esperienza diretta.

- La **forza nucleare forte** è attrattiva e agisce fra i componenti che costituiscono il nucleo atomico (protoni e neutroni, detti collettivamente «nucleoni»), garantendo la stabilità del nucleo. È la più intensa delle quattro interazioni fondamentali per distanze pari alle dimensioni del nucleo atomico, cioè dell'ordine di  $10^{-15}$  m. All'aumentare della distanza fra le particelle, diminuisce molto rapidamente e diventa trascurabile a distanze maggiori di  $10^{-14}$  m.
- La **forza nucleare debole** è responsabile di alcuni tipi di decadimenti radioattivi, in particolare dell'emissione spontanea di elettroni da parte di molti nuclei. Regola le reazioni nucleari che avvengono nel centro del Sole (→ figura a sinistra) e delle stelle.

La → tabella riassume gli ordini di grandezza delle intensità delle quattro forze fondamentali fra due nucleoni all'interno del nucleo, cioè posti a una distanza dell'ordine di  $10^{-15}$  m. Abbiamo assunto come riferimento l'intensità della forza nucleare forte, ponendola uguale a 1.

### INTENSITÀ DELLE QUATTRO FORZE FONDAMENTALI

Forza

Intensità relativa

## 7. Le forze fondamentali

Tutti i fenomeni fisici, la caduta di una foglia da un albero, i buchi neri, i fulmini durante un temporale, sono dovuti solamente a quattro forze fondamentali:

1. la forza gravitazionale;
2. la forza elettromagnetica;
3. la forza nucleare forte;
4. la forza nucleare debole.

Di queste, la forza gravitazionale e la forza elettromagnetica fanno parte della nostra esperienza diretta e quotidiana.

- La **forza gravitazionale** è attrattiva e agisce fra tutti gli oggetti che hanno una *massa*. Delle quattro forze è quella di intensità più debole, ha raggio d'azione infinito e i suoi effetti sono tanto più evidenti quanto più grandi sono le masse coinvolte e quanto minore è la loro distanza. È la forza responsabile dei moti delle stelle e dei pianeti. La forza-peso è l'effetto dell'attrazione gravitazionale che la Terra esercita sugli oggetti che si trovano nelle sue vicinanze.

È responsabile sia dei fulmini (→ figura a sinistra) sia dei legami di atomi e molecole.

La forza nucleare forte e la forza nucleare debole invece agiscono fra i componenti subatomici della materia e non ne abbiamo esperienza diretta.

- La **forza nucleare forte** è attrattiva e agisce fra i componenti che costituiscono il nucleo atomico (protoni e neutroni, detti collettivamente «nucleoni»), garantendo la stabilità del nucleo. È la più intensa delle quattro interazioni fondamentali per distanze pari alle dimensioni del nucleo atomico, cioè dell'ordine di  $10^{-15}$  m. All'aumentare della distanza fra le particelle, diminuisce molto rapidamente e diventa trascurabile a distanze maggiori di  $10^{-14}$  m.
- La **forza nucleare debole** è responsabile di alcuni tipi di decadimenti radioattivi, in particolare dell'emissione spontanea di elettroni da parte di molti nuclei. Regola le reazioni nucleari che avvengono nel centro del Sole (→ figura a sinistra) e delle stelle.

La → tabella riassume gli ordini di grandezza delle intensità delle quattro forze fondamentali fra due nucleoni all'interno del nucleo, cioè posti a una distanza dell'ordine di  $10^{-15}$  m. Abbiamo assunto come riferimento l'intensità della forza nucleare forte, ponendola uguale a 1.

### INTENSITÀ DELLE QUATTRO FORZE FONDAMENTALI

Forza

Intensità relativa

## 7. Le forze fondamentali

Tutti i fenomeni fisici, la caduta di una foglia da un albero, i buchi neri, i fulmini durante un temporale, sono dovuti solamente a quattro forze fondamentali:

1. la forza gravitazionale;
2. la forza elettromagnetica;
3. la forza nucleare forte;
4. la forza nucleare debole.

Di queste, la forza gravitazionale e la forza elettromagnetica fanno parte della nostra esperienza diretta e quotidiana.

- La **forza gravitazionale** è attrattiva e agisce fra tutti gli oggetti che hanno una *massa*. Delle quattro forze è quella di intensità più debole, ha raggio d'azione infinito e i suoi effetti sono tanto più evidenti quanto più grandi sono le masse coinvolte e quanto minore è la loro distanza. È la forza responsabile dei moti delle stelle e dei pianeti. La forza-peso è l'effetto dell'attrazione gravitazionale che la Terra esercita sugli oggetti che si trovano nelle sue vicinanze.

riche opposte. È responsabile sia dei fulmini (→ figura a sinistra) sia dei legami di atomi e molecole.

La forza nucleare forte e la forza nucleare debole invece agiscono fra i componenti subatomici della materia e non ne abbiamo esperienza diretta.

- La **forza nucleare forte** è attrattiva e agisce fra i componenti che costituiscono il nucleo atomico (protoni e neutroni, detti collettivamente «nucleoni»), garantendo la stabilità del nucleo. È la più intensa delle quattro interazioni fondamentali per distanze pari alle dimensioni del nucleo atomico, cioè dell'ordine di  $10^{-15}$  m. All'aumentare della distanza fra le particelle, diminuisce molto rapidamente e diventa trascurabile a distanze maggiori di  $10^{-14}$  m.

La **forza nucleare debole** è responsabile di alcuni tipi di decadimenti radioattivi, in particolare dell'emissione spontanea di elettroni da parte di molti nuclei. Regola le reazioni nucleari che avvengono nel centro del Sole (→ figura a sinistra) e delle stelle.

La → tabella riassume gli ordini di grandezza delle intensità delle quattro forze fondamentali fra due nucleoni all'interno del nucleo, cioè posti a una distanza dell'ordine di  $10^{-15}$  m. Abbiamo assunto come riferimento l'intensità della forza nucleare forte, ponendola uguale a 1.

### INTENSITÀ DELLE QUATTRO FORZE FONDAMENTALI

Forza

Intensità relativa

$$|\mathbf{x}', \mathbf{v}'\rangle = \mathcal{O} |\mathbf{x}, \mathbf{v}\rangle$$

$$|p', V', T'\rangle = \mathcal{O} |p, V, T\rangle$$

$$|E', J', J'_z\rangle = \mathcal{O} |E, J, J_z\rangle$$

$$|p, e^-, \bar{\nu}_e\rangle = \mathcal{O} |n\rangle$$

# Le parole sono importanti

**Le parole**

**Forza elettromotrice**

**Esponenziale**

**Moto**

# Le parole

Forza elettromotrice

## Esponenziale



Di un fatto o un fenomeno che procede con progressione molto rapida: aumento, crescita e., sviluppo e.; con i cellulari il traffico telefonico è aumentato in modo esponenziale.

# Le parole

Forza elettromotrice

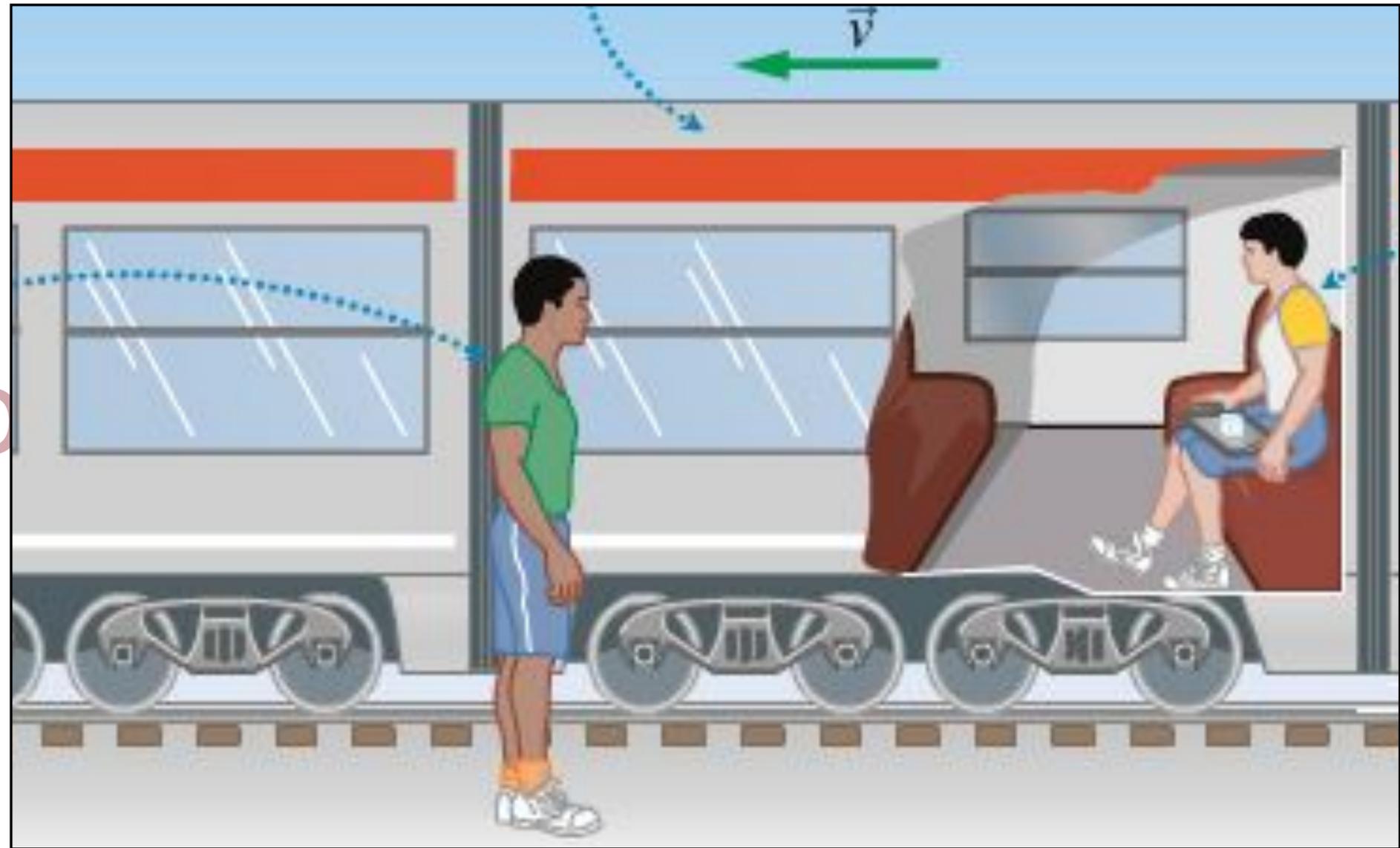
Esponenziale

Moto

Le parole

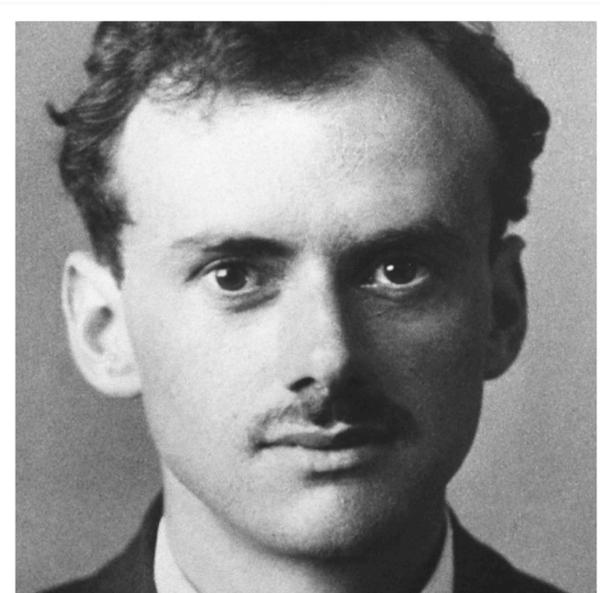
Forza elettro

Moto



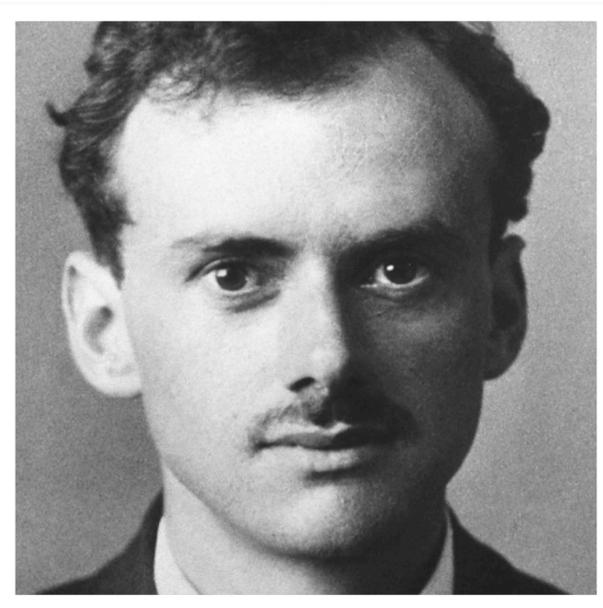
# La relazione con la bellezza

[L'idea dello spin] è scaturita effettivamente solo grazie alle manipolazioni delle equazioni che stavo studiando; non stavo cercando di introdurre idee fisicamente plausibili. Gran parte del mio lavoro del resto consiste nel lavorare con le equazioni per vedere cosa se ne può ricavare. La seconda quantizzazione, per esempio, è nata così. **Non credo che questo abbia senso per gli altri fisici**; penso sia una mia peculiarità il fatto che mi piace lavorare con le equazioni, soltanto alla ricerca di relazioni matematiche interessanti che **magari non hanno alcun significato fisico**. Succede, però, che a volte ce l'hanno.



Interview of P. A. M. Dirac by Thomas S. Kuhn on 1963 May 7  
Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics  
College Park, MD USA  
[www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4575-3](http://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4575-3)

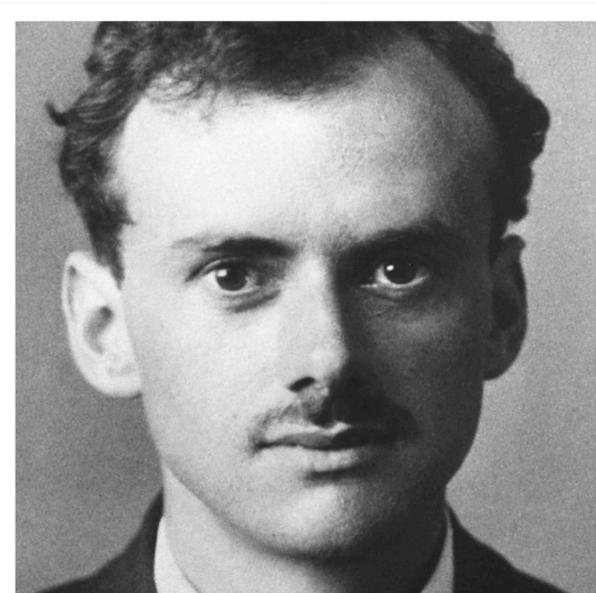
Una delle caratteristiche fondamentali della natura sembra essere che le leggi fisiche fondamentali sono descritte in termini di una teoria matematica di grande bellezza e potenza. Potremmo forse descrivere la situazione dicendo che Dio è un matematico sopraffino, cui è piaciuto usare una matematica molto avanzata nella costruzione dell'universo. A me sembra che se si lavora allo scopo di perseguire la bellezza nelle proprie equazioni, con una buona intuizione, si è di sicuro sulla buona strada.



P. A. M. Dirac "Pretty Mathematics"  
Int. J. Theor. Phys. 21, 603-605 (1982)

Si direbbe essere una delle caratteristiche fondamentali della natura che le leggi fisiche fondamentali siano descritte in termini di una teoria matematica di grande bellezza e potenza [...] si potrebbe forse descrivere la situazione dicendo che Dio è un matematico sopraffino, che ha usato una matematica molto avanzata nella costruzione dell'universo.

A me sembra che, se si lavora dal punto di vista di ottenere la bellezza nelle proprie equazioni, e se si ha davvero una solida intuizione, ci si trova senza dubbio sulla strada giusta.



P. A. M. Dirac  
“The evolution of the Physicist’s Picture of Nature”  
Scientific American vol. 208, n. 5 (1963)

will be limited sheets, terminating in the electric circuit as their common edge or boundary. The number of these will be equal to the pole in going round the current, and this by the ordinary value of the current.

These surfaces, therefore, are connected with the electric circuit as their common edge or boundary. The number of these will be equal to the pole in going round the current, and this by the ordinary value of the current.

PART III.—GENERAL EQUATIONS OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD.

(53.) Let us assume three rectangular directions in space, and let all quantities having direction be expressed in terms of these directions.

*Electrical Currents* ( $p, q, r$ ).

(54) An electrical current consists in the transmission of electricity from one body to another. Let the quantity of electricity which passes through a unit of area perpendicular to the axis of  $x$  be called the current at that place in the direction of  $x$ .

We shall use the letters  $p, q, r$  to denote the current in the directions of  $x, y, z$ .

*Electrical Displacements* ( $\alpha, \beta, \gamma$ ).

(55) Electrical displacement consists in the motion of a molecule or particle of a body which may or may not pass through the body. Let the quantity of electricity which passes through an element  $dx, dy, dz$  cut from the body be called the displacement parallel to  $x$ . We shall use the letters  $\alpha, \beta, \gamma$  to denote the displacements parallel to  $x, y, z$  respectively.

The variations of the electrical displacement must be such that the total motion of electricity, which we may call  $p', q', r'$ , is zero.

$$\left. \begin{aligned} p' &= p + \frac{df}{dt}, \\ q' &= q + \frac{dg}{dt}, \\ r' &= r + \frac{dh}{dt}, \end{aligned} \right\}$$

*Electromotive Force* ( $P, Q, R$ ).

(56) Let  $P, Q, R$  represent the components of the electromotive force. Then  $P$  represents the difference of potential

*Coefficient of Magnetic Induction* ( $\mu, \mu', \mu''$ ).

(60) Let  $\mu$  be the ratio of the magnetic induction to the magnetizing force, then the number of lines of magnetic force perpendicular to  $x$  will be  $\mu\alpha$  ( $\mu$  is a quantity depending on the nature of the substance and its temperature, the amount of magnetization already existing, and the direction).

(61) Expressing the electric momentum of small elements in this notation, we obtain the following

*Equations of Magnetism*

$$\left. \begin{aligned} \mu\alpha &= \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}, \\ \mu\beta &= \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}, \\ \mu\gamma &= \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}. \end{aligned} \right\}$$

*Equations of Currents*

(62) It is known from experiment that the motion of a magnetic field in a closed circuit cannot generate work. Hence the motion of a magnetic field describes a closed curve round an electric current. Hence the motion of a magnetic field is perpendicular to the electric currents,

$$\alpha dx + \beta dy + \gamma dz = d\phi$$

a complete differential of  $\phi$ , the magnetic potential.

The quantity  $\phi$  may be susceptible of an indefinite increase or decrease, according to the number of times that the exploring point passes round a current of strength  $c$  being  $4\pi c$ .

Hence if there is no electric current,

$$\frac{d\beta}{dy} - \frac{d\gamma}{dz} = 0;$$

but if there is a current  $p'$ ,

$$\frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} = 4\pi p'.$$

Similarly,

$$\frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} = 4\pi q',$$

$$\frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} = 4\pi r'.$$

We may call these the Equations of Currents.

will be increased by the following increments,

$$\left. \begin{aligned} &+ a \left( \frac{dF}{dx} \frac{dx}{dt} + \frac{dF}{dy} \frac{dy}{dt} + \frac{dF}{dz} \frac{dz}{dt} \right), \\ &- a \frac{ds}{dt} \left( \frac{dF}{dx} \frac{dx}{ds} + \frac{dG}{dy} \frac{dy}{ds} + \frac{dH}{dz} \frac{dz}{ds} \right), \end{aligned} \right\}$$

The total increment will therefore be

$$a \left( \frac{dF}{dy} - \frac{dG}{dx} \right) \frac{dy}{dt} - a \frac{ds}{dt} \left( \frac{dF}{dx} \frac{dx}{ds} + \frac{dG}{dy} \frac{dy}{ds} + \frac{dH}{dz} \frac{dz}{ds} \right)$$

or, by the equations of Magnetic Force (8),

$$- a \left( \mu\gamma \frac{dy}{dt} - \mu\beta \frac{dz}{dt} \right).$$

If  $P$  is the electromotive force in the moving element of length, then the actual electromotive force is the electromotive force less the decrement of the electromagnetic momentum due to motion will be

$$P = \mu\gamma \frac{dy}{dt} - \mu\beta \frac{dz}{dt}$$

(65) The complete equations of electromotive force may be written as follows:—

*Equations of Electromotive Force*

$$\left. \begin{aligned} P &= \mu \left( \gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right) \\ Q &= \mu \left( \alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right) \\ R &= \mu \left( \beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right) \end{aligned} \right\}$$

The first term on the right-hand side of each equation represents the electromotive force arising from the motion of the conductor perpendicular to the direction of motion and the direction of the magnetic induction. The second term represents the electromotive force arising from the motion of the conductor parallel to the direction of motion and the direction of the magnetic induction. The third term represents the electromotive force arising from the motion of the conductor in the direction of the magnetic induction.

The second term in each equation indicates the effect of the motion of the conductor in the direction of the magnetic induction.

The third term shows the effect of the motion of the conductor in the direction of the magnetic induction.

*Electric Elasticity.*

(66) When an electromotive force acts on a dielectric, it puts every part of the dielectric into a polarized condition, in which its opposite sides are oppositely electrified. The amount of this electrification depends on the electromotive force and on the nature of the substance, and, in solids having a structure defined by axes, on the direction of the electromotive force with respect to these axes. In isotropic substances, if  $k$  is the ratio of the electromotive force to the electric displacement, we may write the

*Equations of Electric Elasticity,*

$$\left. \begin{aligned} P &= kf, \\ Q &= kg, \\ R &= kh. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (E)$$

*Electric Resistance.*

(67) When an electromotive force acts on a conductor it produces a current of electricity through it. This effect is additional to the electric displacement already considered. In solids of complex structure, the relation between the electromotive force and the current depends on their direction through the solid. In isotropic substances, which alone we shall here consider, if  $\epsilon$  is the specific resistance referred to unit of volume, we may write the

*Equations of Electric Resistance,*

$$\left. \begin{aligned} P &= -\epsilon p, \\ Q &= -\epsilon q, \\ R &= -\epsilon r. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (F)$$

*Electric Quantity.*

(68) Let  $e$  represent the quantity of free positive electricity contained in unit of volume at any part of the field, then, since this arises from the electrification of the different parts of the field not neutralizing each other, we may write the

*Equation of Free Electricity,*

$$e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0. \dots \dots \dots (G)$$

(69) If the medium conducts electricity, then we shall have another condition, which may be called, as in hydrodynamics, the

*Equation of Continuity,*

$$\frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} = 0. \dots \dots \dots (H)$$

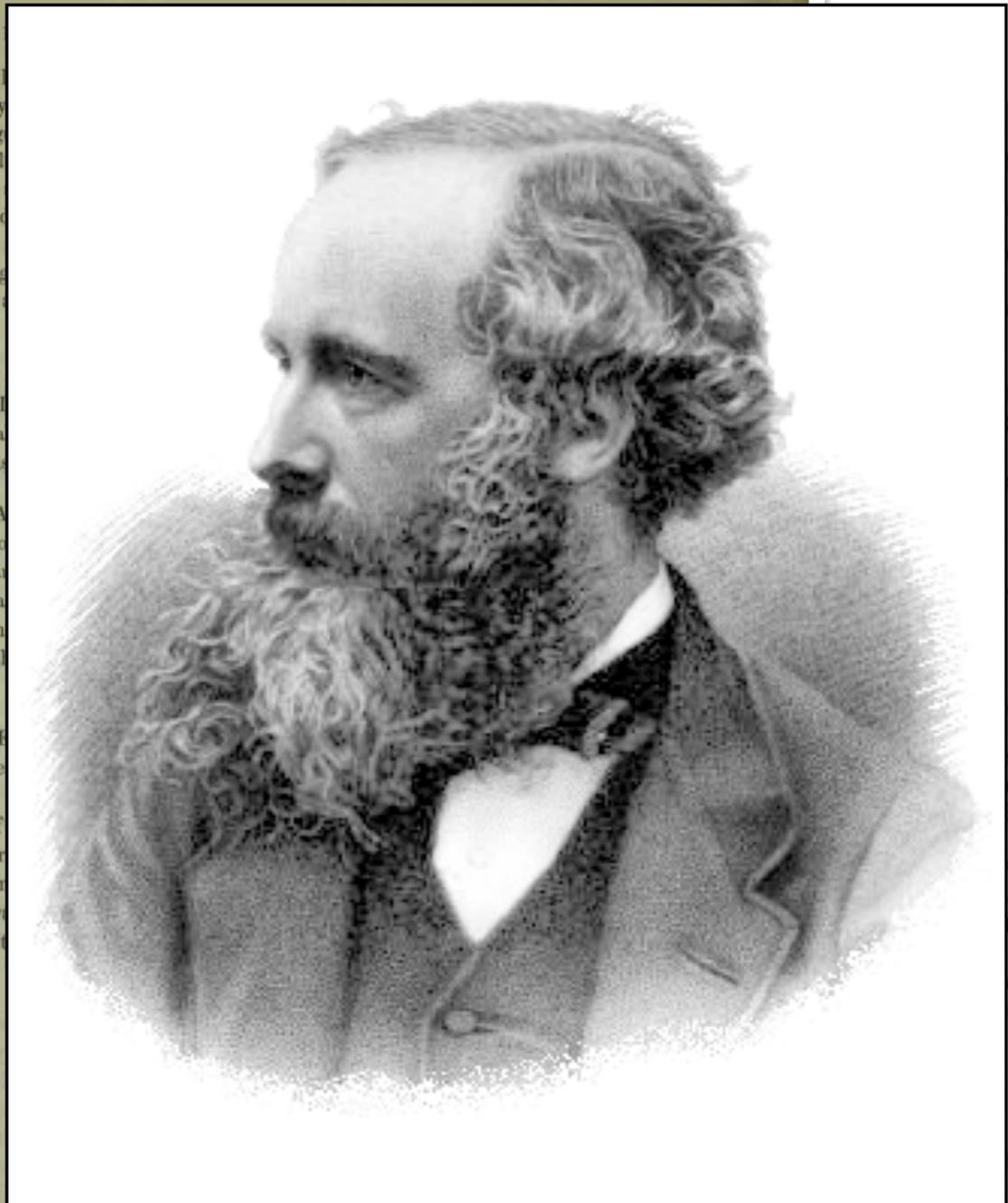
(70) In these equations of the electromagnetic field we have assumed twenty variable

will be  
boundary  
pole in g  
is the val  
These  
connected  
attached  
equal ang  
currents

(53.) I  
and let a  
directions

(54) A  
a body to  
unit of a  
current a  
We sh  
area in t

(55) I  
molecule  
through  
 $dy, dz$  of  
of electr  
displacer  
The v  
get the t



(56) Then P represents the difference of potential

$$\frac{dx}{dz} - \frac{dy}{dx} = 4\pi q', \dots \dots \dots (C)$$

$$\frac{dy}{dx} - \frac{dz}{dy} = 4\pi r'$$

We may call these the Equations of Currents.

will be increased by the following increments,

$$a \left( \frac{dF}{dx} \frac{dx}{dt} + \frac{dF}{dy} \frac{dy}{dt} + \frac{dF}{dz} \frac{dz}{dt} \right),$$

$$-a \frac{ds}{dt} \left( \frac{dF}{dx} \frac{dx}{ds} + \frac{dG}{dy} \frac{dy}{ds} + \frac{dH}{dz} \frac{dz}{ds} \right),$$

The total increment will therefore be

$$a \left( \frac{dF}{dy} - \frac{dG}{dx} \right) \frac{dy}{dt} - a$$

or, by the equations of Magnetic Force (8),

$$-a \left( \mu \gamma \frac{dy}{dt} - \mu \beta \frac{dz}{dt} \right).$$

If P is the electromotive force in the moving  
of length, then the actual electromotive force  
decrement of the electromagnetic momentum  
to motion will be

$$P = \mu \gamma \frac{dy}{dt} -$$

(65) The complete equations of electromoti  
be written as follows:—

*Equations of Elect*

$$P = \mu \left( \gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right)$$

$$Q = \mu \left( \alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right)$$

$$R = \mu \left( \beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right)$$

The first term on the right-hand side of ea  
force arising from the motion of the conducto  
pendicular to the direction of motion and t  
parallelogram be drawn whose sides represent  
of the conductor and the magnetic induction  
the parallelogram will represent the electrom  
ductor, and the direction of the force is perpe  
The second term in each equation indicat  
strength of magnets or currents in the field.

The third term shows the effect of the  
causing a circulating current in a closed circ  
urging the electricity to or from certain defini

*Electric Elasticity.*

(66) When an electromotive force acts on a dielectric, it puts every part of the dielectric into a polarized condition, in which its opposite sides are oppositely electrified. The amount of this electrification depends on the electromotive force and on the nature of the substance, and, in solids having a structure defined by axes, on the direction of the electromotive force with respect to these axes. In isotropic substances, if  $k$  is the ratio of the electromotive force to the electric displacement, we may write the

*Equations of Electric Elasticity,*

$$\left. \begin{aligned} P &= kf, \\ Q &= kg, \\ R &= kh. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (E)$$

*Electric Resistance.*

(67) When an electromotive force acts on a conductor it produces a current of electricity through it. This effect is additional to the electric displacement already considered. In solids of complex structure, the relation between the electromotive force and the current depends on their direction through the solid. In isotropic substances, which alone we shall here consider, if  $\epsilon$  is the specific resistance referred to unit of volume, we may write the

*Equations of Electric Resistance,*

$$\left. \begin{aligned} P &= -\epsilon p, \\ Q &= -\epsilon q, \\ R &= -\epsilon r. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (F)$$

*Electric Quantity.*

(68) Let  $e$  represent the quantity of free positive electricity contained in unit of volume at any part of the field, then, since this arises from the electrification of the different parts of the field not neutralizing each other, we may write the

*Equation of Free Electricity,*

$$e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0. \dots \dots \dots (G)$$

(69) If the medium conducts electricity, then we shall have another condition, which may be called, as in hydrodynamics, the

*Equation of Continuity,*

$$\frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} = 0. \dots \dots \dots (H)$$

(70) In these equations of the electromagnetic field we have assumed twenty variable

will be  
boundary  
pole in g  
is the val  
These  
connected  
attached  
equal ang  
currents

(53.) I  
and let a  
directions

(54) A  
a body to  
unit of a  
current a

We sh  
area in t

(55) I  
molecule  
through  
 $dy, dz$  of  
of electr  
displacem

The v  
get the t



(56) Then P represents the difference of potential

$$\frac{dx}{dz} - \frac{dy}{dx} = 4\pi q',$$

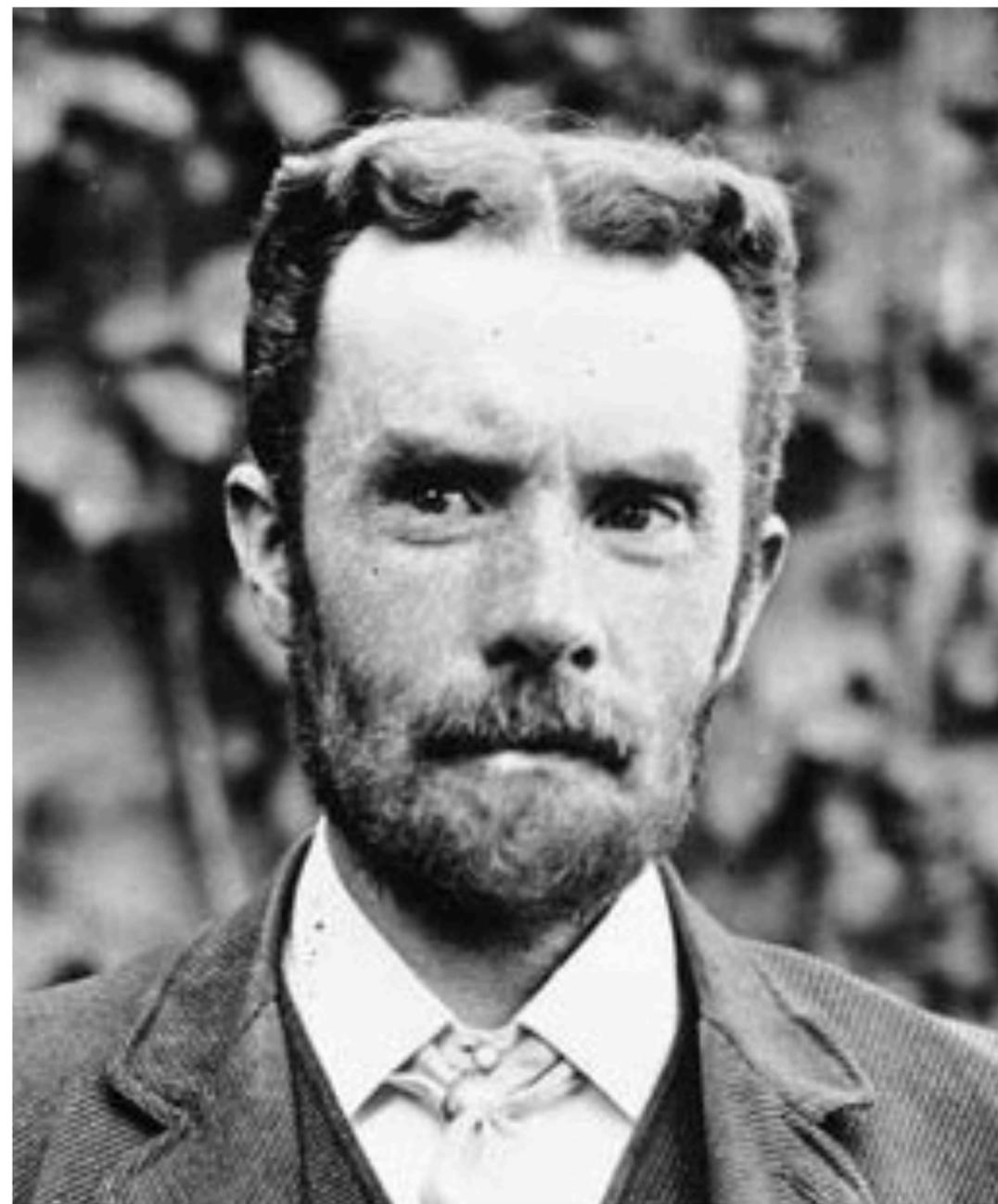
$$\frac{d\beta}{dx} - \frac{dz}{dy} = 4\pi r'.$$

We may call these the Equations of Currents.

will be increased by the following increments,

$$\alpha \left( \frac{dF}{dx} \frac{dx}{dt} + \frac{dF}{dy} \frac{dy}{dt} + \frac{dF}{dz} \frac{dz}{dt} \right),$$

$$-\alpha \frac{ds}{dt} \left( \frac{dF}{dx} \frac{dx}{ds} + \frac{dG}{dy} \frac{dy}{ds} + \frac{dH}{dz} \frac{dz}{ds} \right),$$



Elasticity.

on a dielectric, it puts every part of the  
ch its opposite sides are oppositely electri-  
pends on the electromotive force and on the  
g a structure defined by axes, on the direc-  
to these axes. In isotropic substances, if  $k$   
electric displacement, we may write the

Electric Elasticity,

$$\left. \begin{aligned} &= kf, \\ &= kg, \\ &= kh. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (E)$$

Resistance.

in a conductor it produces a current of elec-  
l to the electric displacement already con-  
he relation between the electromotive force  
through the solid. In isotropic substances,  
the specific resistance referred to unit of

Electric Resistance,

$$\left. \begin{aligned} &= l, \\ &= m, \\ &= n. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (F)$$

Quantity.

the positive electricity contained in unit of  
this arises from the electrification of the  
each other, we may write the

Free Electricity,

$$+ \frac{dh}{dz} = 0. \dots \dots \dots (G)$$

then we shall have another condition, which

Continuity,

$$+ \frac{dr}{dz} = 0. \dots \dots \dots (H)$$

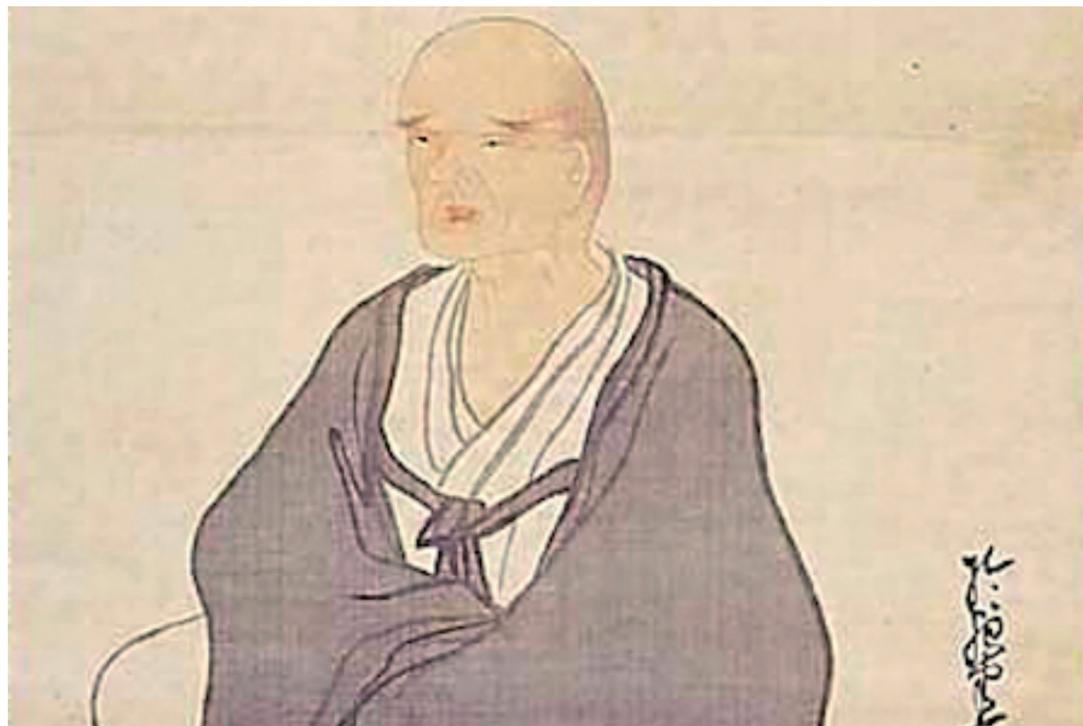
in the magnetic field we have assumed twenty variable

Quel ramo del lago di Como, che volge a mezzogiorno, tra due catene non interrotte di monti, tutto a seni e a golfi, a seconda dello sporgere e del rientrare di quelli, vien, quasi a un tratto, a restringersi, e a prender corso e figura di fiume, tra un promontorio a destra, e un'ampia costiera dall'altra parte;



Che luna!  
il ladro si ferma per cantare.

Yosa Buson (1716-1784)

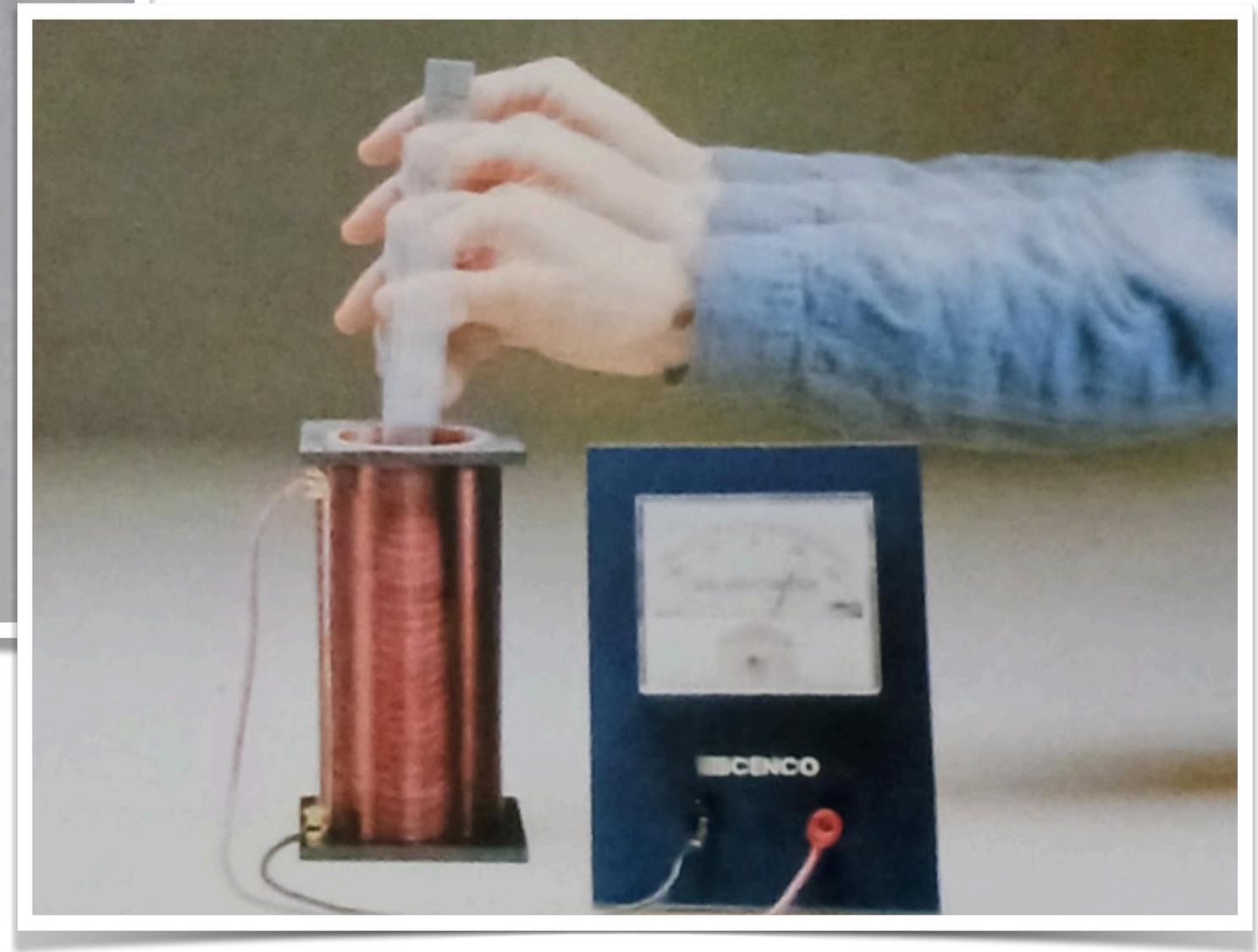
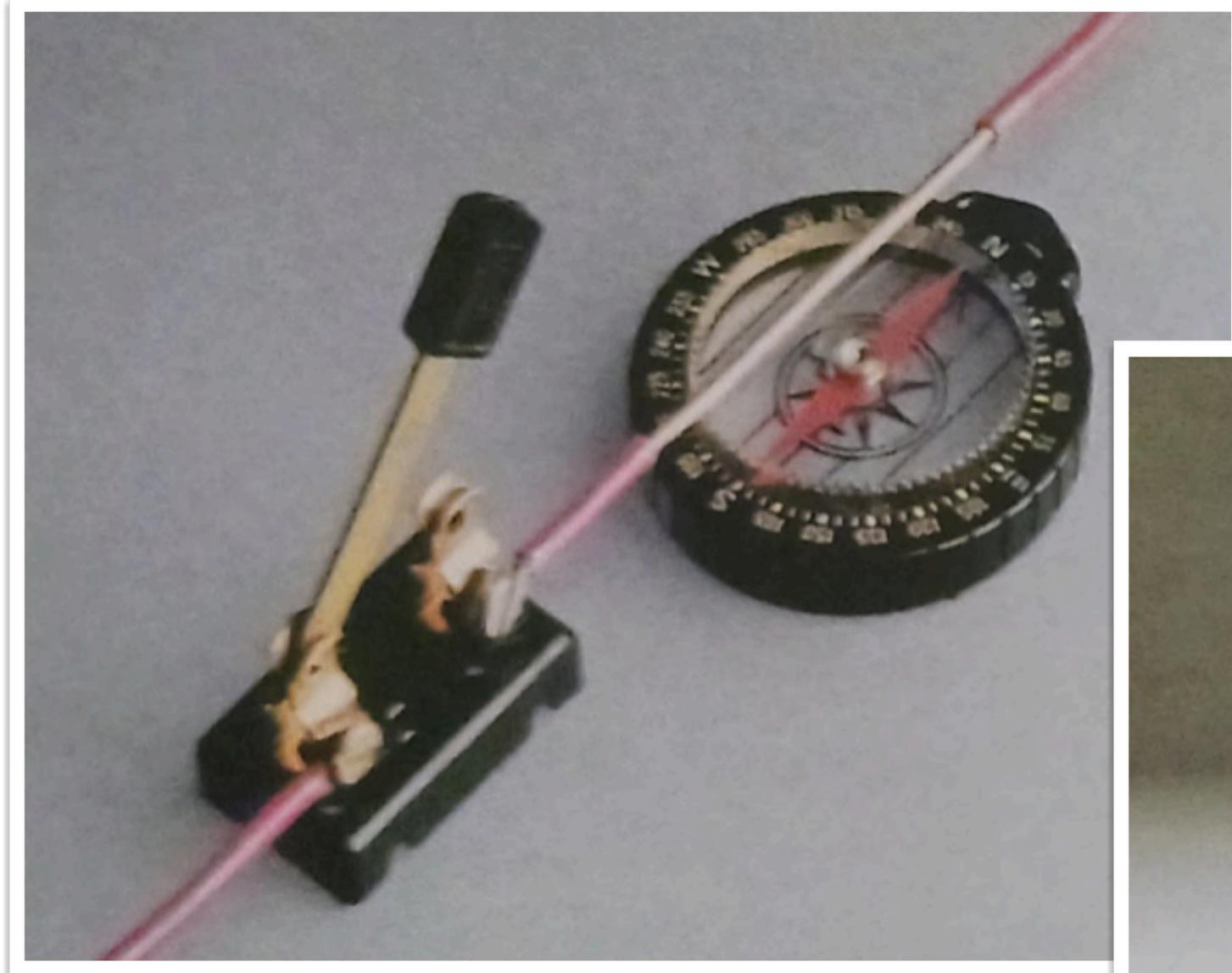


Ognuno sta solo sul cuor della terra  
trafitto da un raggio di sole:  
ed è subito sera.

Salvatore Quasimodo (1901-1968)



# Il laboratorio



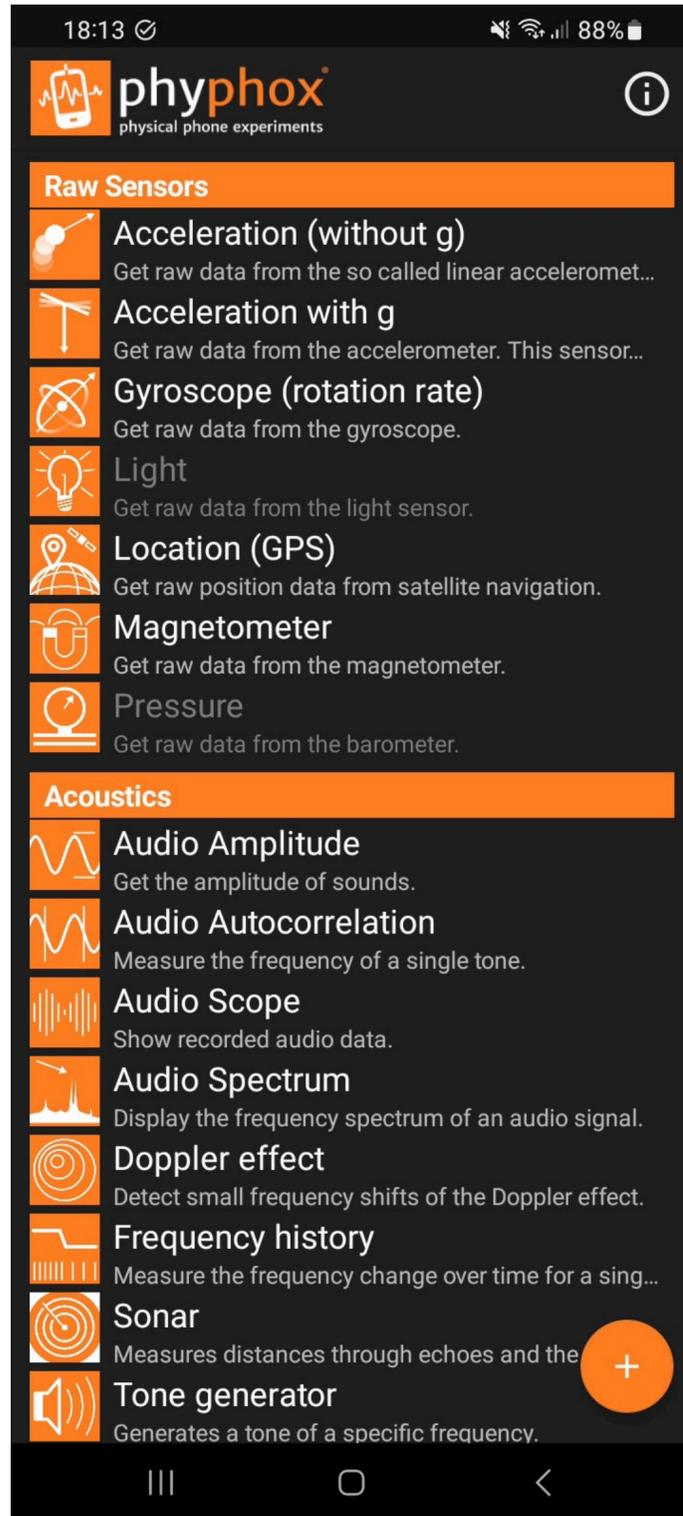
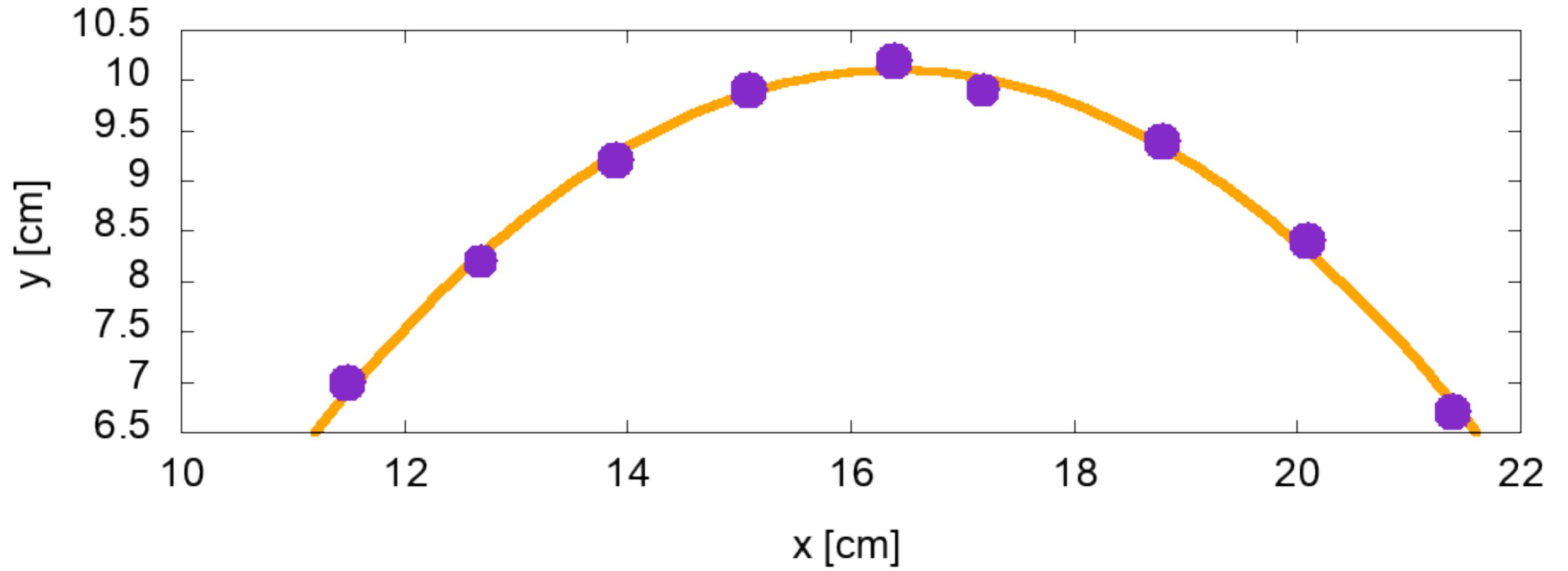
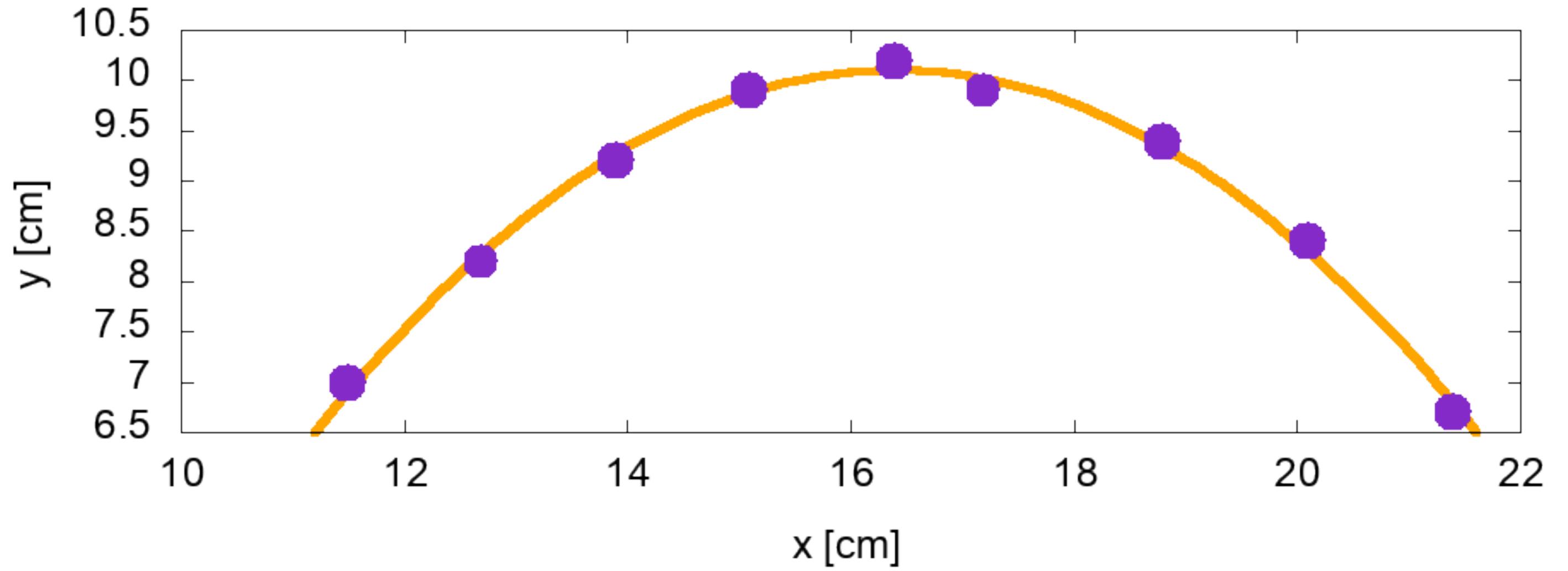


Table 1

Time (s)	Acceleration x (m/s <sup>2</sup> )	Acceleration y (m/s <sup>2</sup> )	Acceleration z (m/s <sup>2</sup> )
0E+00	3.376618028E-01	-1.893230915E+00	9.33714807E-01
2.0111084E-02	2.025120258E-01	-1.701057911E+00	7.484606504E-01
4.0222168E-02	8.397972584E-02	-1.46133852E+00	5.465144515E-01
6.0333252E-02	-2.084195614E-02	-1.195132732E+00	3.279784322E-01
8.0474853E-02	-8.745026588E-02	-9.49681282E-01	1.668487489E-01
1.00585937E-01	-6.927591562E-02	-7.615351677E-01	9.249490499E-02
1.20727539E-01	1.16121769E-02	-6.278610229E-01	1.049124897E-01
1.40869141E-01	1.428206265E-01	-5.628175735E-01	2.292710245E-01
1.61010742E-01	2.404966056E-01	-4.568171501E-01	3.449035883E-01
1.81152344E-01	2.820961475E-01	-3.106608391E-01	5.046035051E-01
2.01293945E-01	2.172492146E-01	-8.620691299E-02	5.933282375E-01
2.21435547E-01	9.534707665E-02	2.397260666E-01	6.185261607E-01
2.41577148E-01	-8.196565509E-02	6.65415287E-01	5.432329178E-01
2.6171875E-01	-2.698153853E-01	1.191587448E+00	3.947531879E-01







Maestoso marziale ♩ = 108

Pianoforte

2° tamburo 2° tamburo a 2

*ff* *p* *ff* *ff*

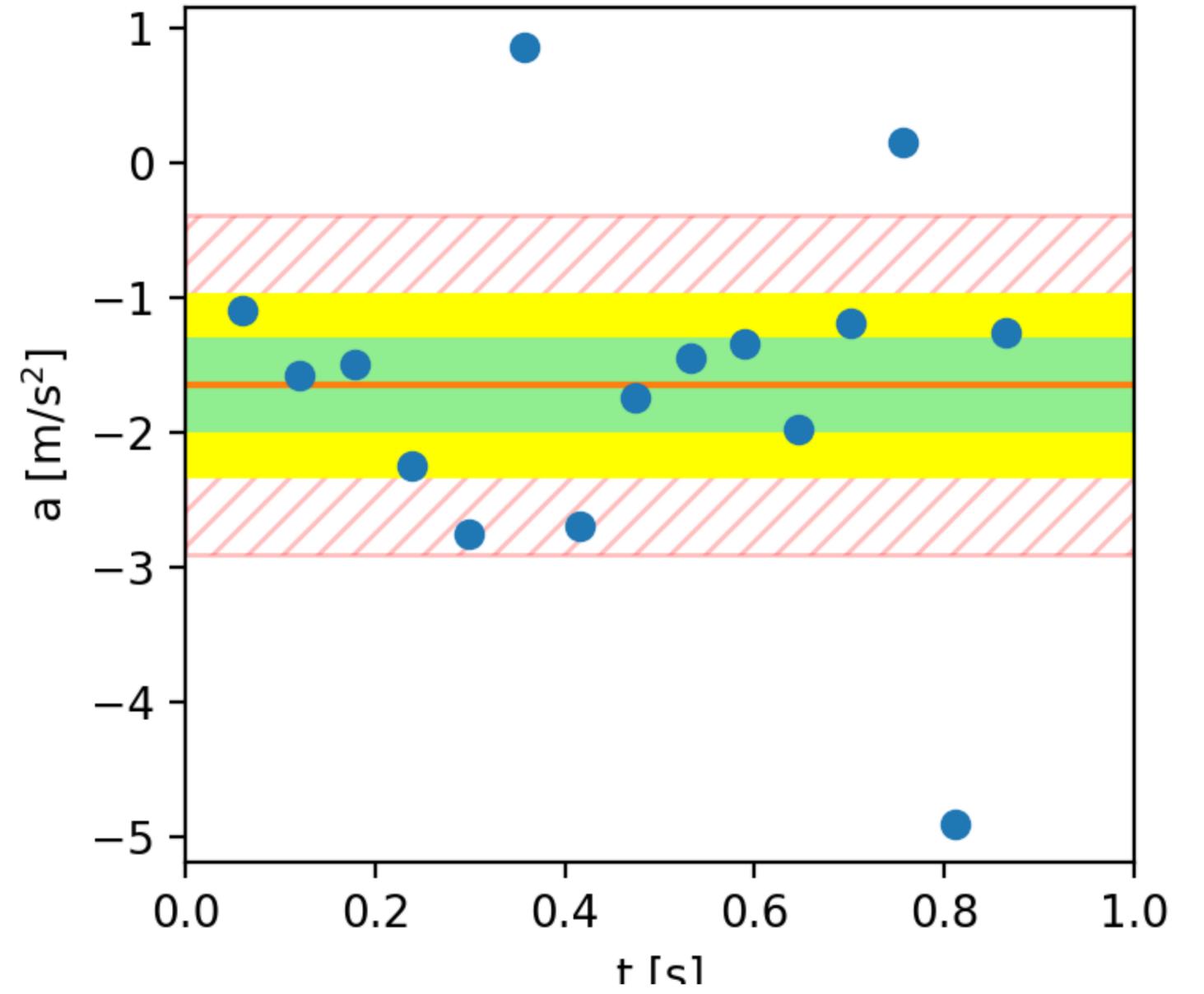
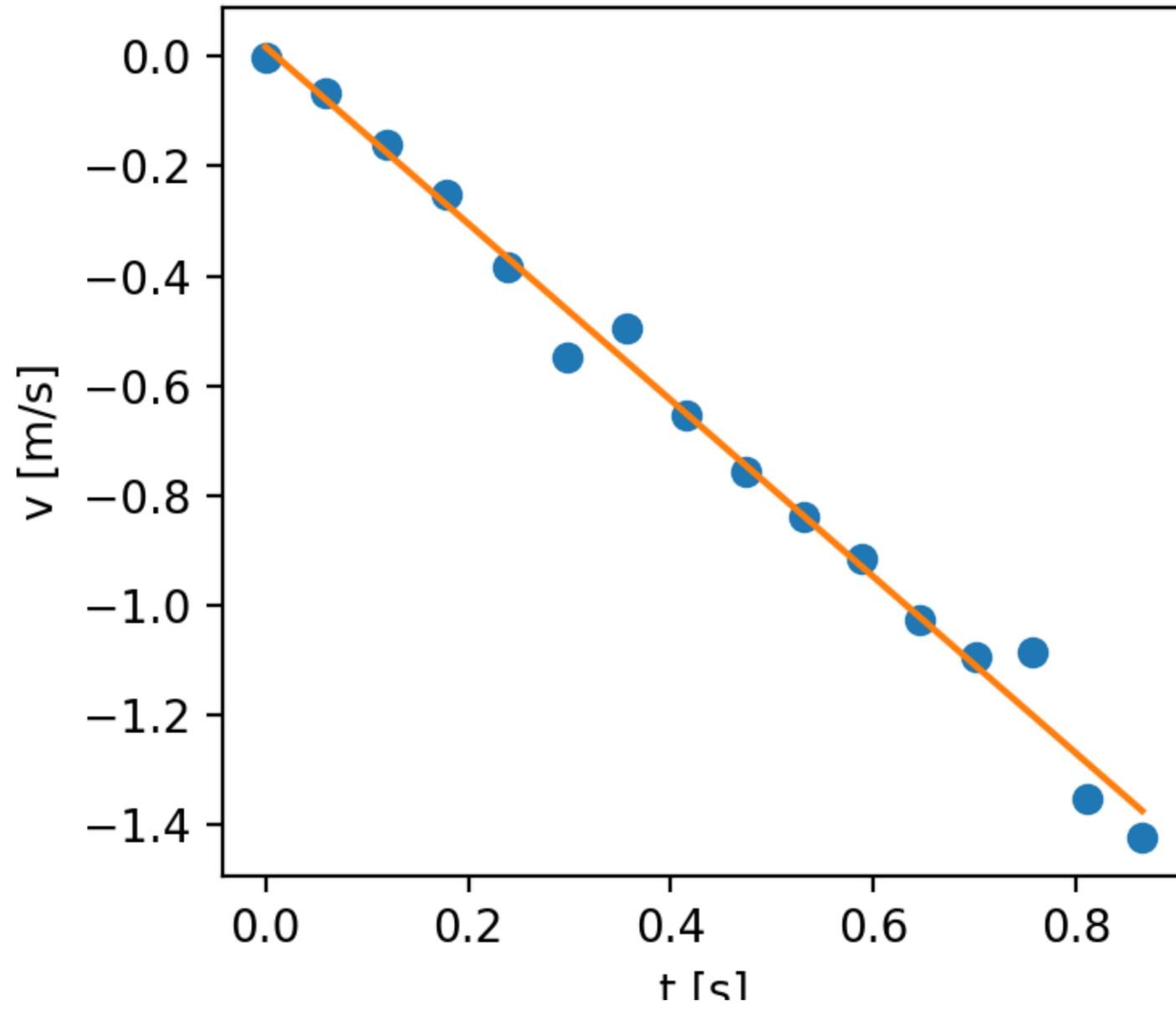
Tutti

*tr* *tr* *tr* *tr*

*8va*

strumentini

3 3





# Conclusione

- Esistono molti modi di insegnare
- Il ruolo dell'insegnante
  - Trasmettere competenze
  - Suscitare interesse
  - Includere
  - Creare collegamenti
- Arte e scienza sono intimamente connessi
  - L'utilità dell'arte e della scienza