

Laboratorio di Fisica Moderna – III

Misura della Velocità della Luce

Misura del Numero di Avogadro

L. Martina
18/02/2019

*Dipartimento di Matematica e Fisica
Università del Salento
Sezione INFN - Lecce*

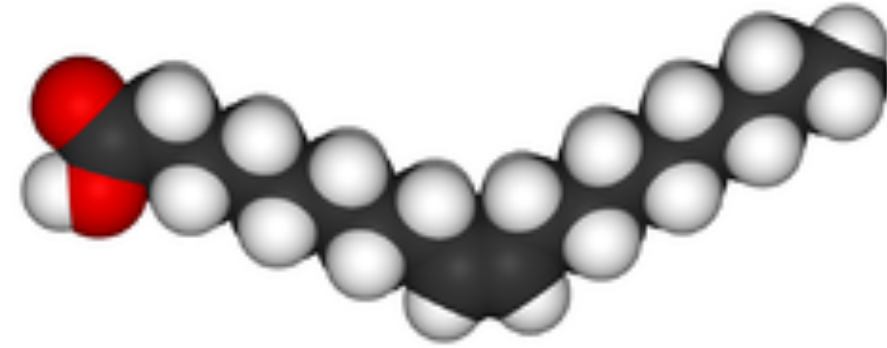
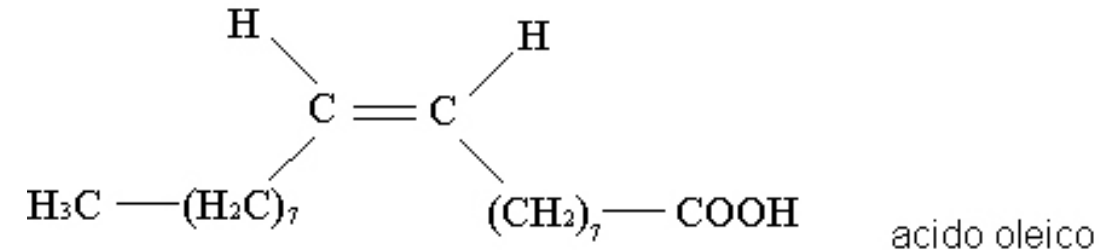
Quanto sono piccole le molecole?

- Come stimare le dimensioni di una molecola tipo?
- Quante molecole ci sono in una data sostanza ?
- Possiamo ottenere una stima del Numero di Avogadro (N_A) ?
- Vogliamo ricorrere ad un metodo “casalingo”
- Adottiamo la classica stima delle dimensioni di una molecola di acido oleico, divulgata dal progetto

IPS (Introductory Physical Science, Cap 11)

<http://www.sci-ips.com/index.html>

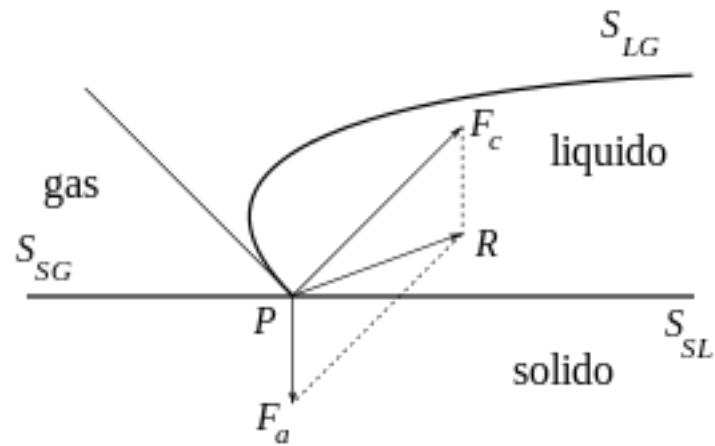
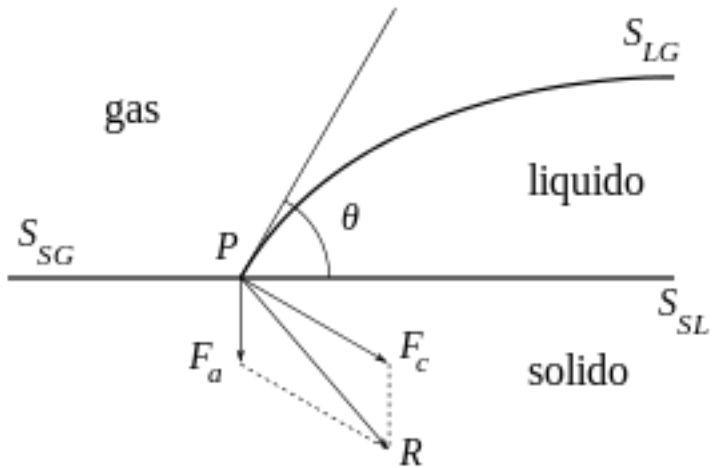
Il metodo dello strato monomolecolare



- Acido Oleico C₁₈H₃₄O₂
- Peso Molare P_M = 282.47 g/mol
- Densità di massa a temperatura ambiente $\delta=0.895$ g/cm³
- Nel corso dell'esperimento si presuppone che, una volta lasciata cadere la goccia sull'acqua, l'acido si espanda fino a formare uno **strato monomolecolare**.
- L'acido, insolubile in acqua, possiede una bassa tensione superficiale, la quale favorisce l'estensione della chiazza.
- I dati dell'esperimento consentono di stimare un limite superiore per la lunghezza e per la massa della molecola

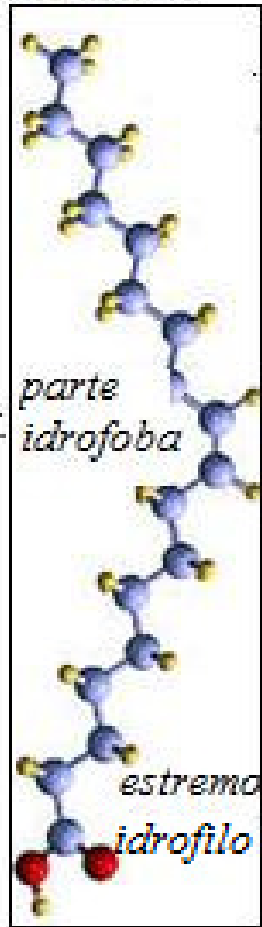
Tensione superficiale

$$\gamma = dW / dA = \gamma_0 / \cos(\theta/2)$$



Materiale	Tensione superficiale (N/m)
Mercurio	0,559
Acqua	0,073
Olio di oliva	0,0319
Benzene	0,029

Acido Oleico



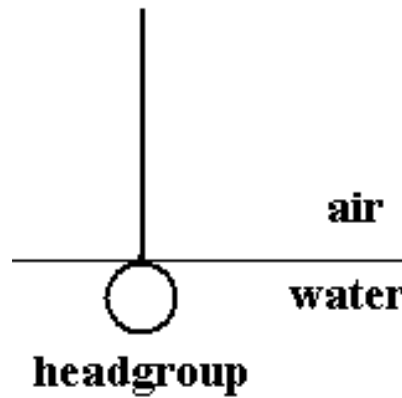
$$l = 4a$$

$$a$$

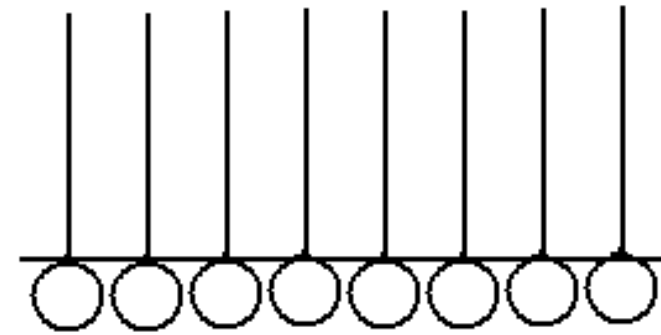
Lunghezza $l = 1.97 \text{ nm}$

Massa $m = 4.69 \times 10^{-22} \text{ g}$

tailgroup



Schematic diagram



1. Ipotizziamo che le molecole abbiano circa la forma di un parallelepipedo retto, con le estremità della molecola prossimi alle basi quadrate.
2. Queste hanno una lunghezza che stimiamo circa $\frac{1}{4}$ dell'altezza l .
3. Le molecole si dispongono ortogonalmente alla superficie dell'acqua, con le teste idrofile immerse e le code idrofobe parallele e dirette verso l'alto.
4. A causa della debole interazione attrattiva, le molecole formano delle chiazze compatte sulla superficie dell'acqua.

Procedura sperimentale

- Riempire il sottovaso con acqua sino ad 1 cm dal bordo e immergervi il righello.
- Attendere che l'acqua sia completamente immobile.
- Cospargere la superficie dell'acqua con uno strato sottile ed omogeneo di talco. La polvere deve essere appena sufficiente per riconoscere i bordi della macchia
- Con la pipetta tarata a disposizione si depone delicatamente al centro del sottovaso una o più gocce della soluzione preparata in precedenza.
- L'acido oleico si espande formando una macchia approssimativamente circolare. Forme stellate e/o irregolari possono facilmente prodursi a causa della non omogenea distribuzione della polvere e per le interazioni reciproche dei suoi grani.
- Attendere circa minuto per far evaporare l'etanolo. Le dimensioni della macchia si stabilizzano.
- Effettuare una fotografia della macchia in perpendicolare, facendo attenzione che venga ripreso anche il righello.
- Ripetere più volte la stessa procedura per poter ottenere una certa collezione di foto.
- Stampare le foto su carta millimetrata/quadrettata.

Materiali a disposizione per le misure

Soluzione di acido oleico in etanolo alla concentrazione $C = 0,1 \%$

Pipette tarate : $V_{\text{goccia}} = 0,012 \text{ ml}$ ($\Delta V_{\text{goccia}} = 0,005 \text{ ml}$)

Vaschette (sottovasi)

Polvere di borotalco

Setaccio sottile

Righello

Pressione di Vapore (20 °C)

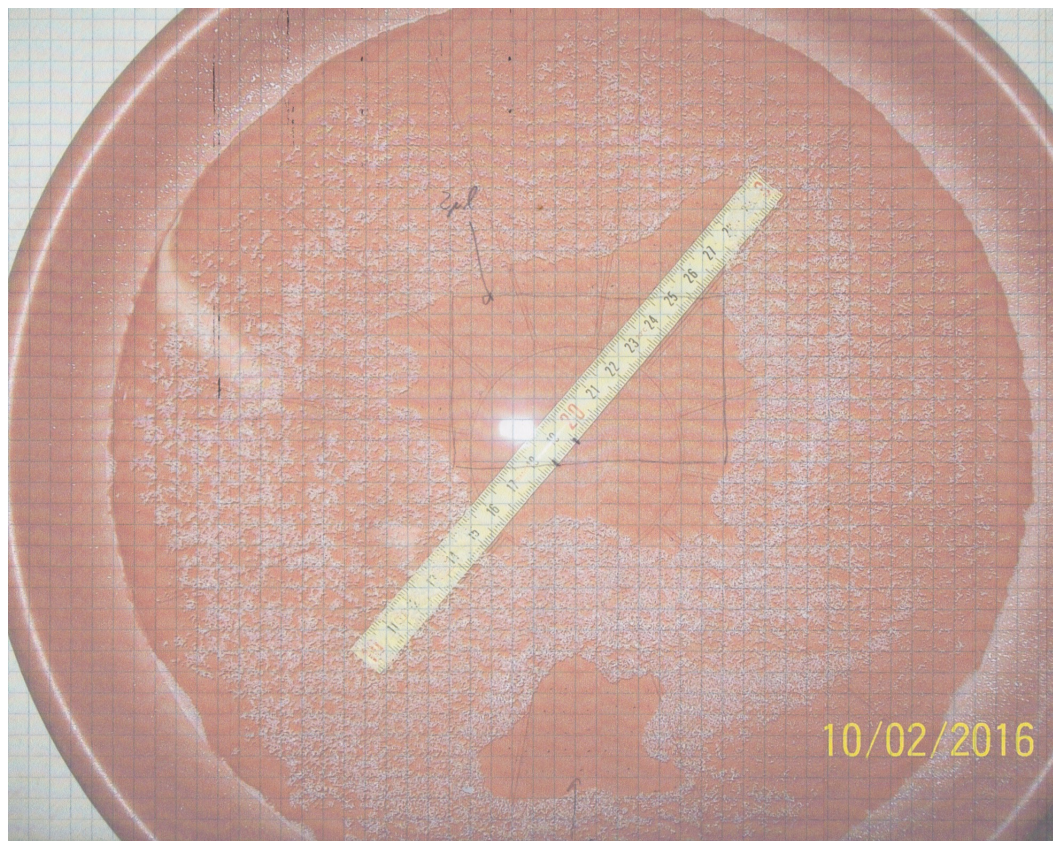
Acqua 2.3388 kPa

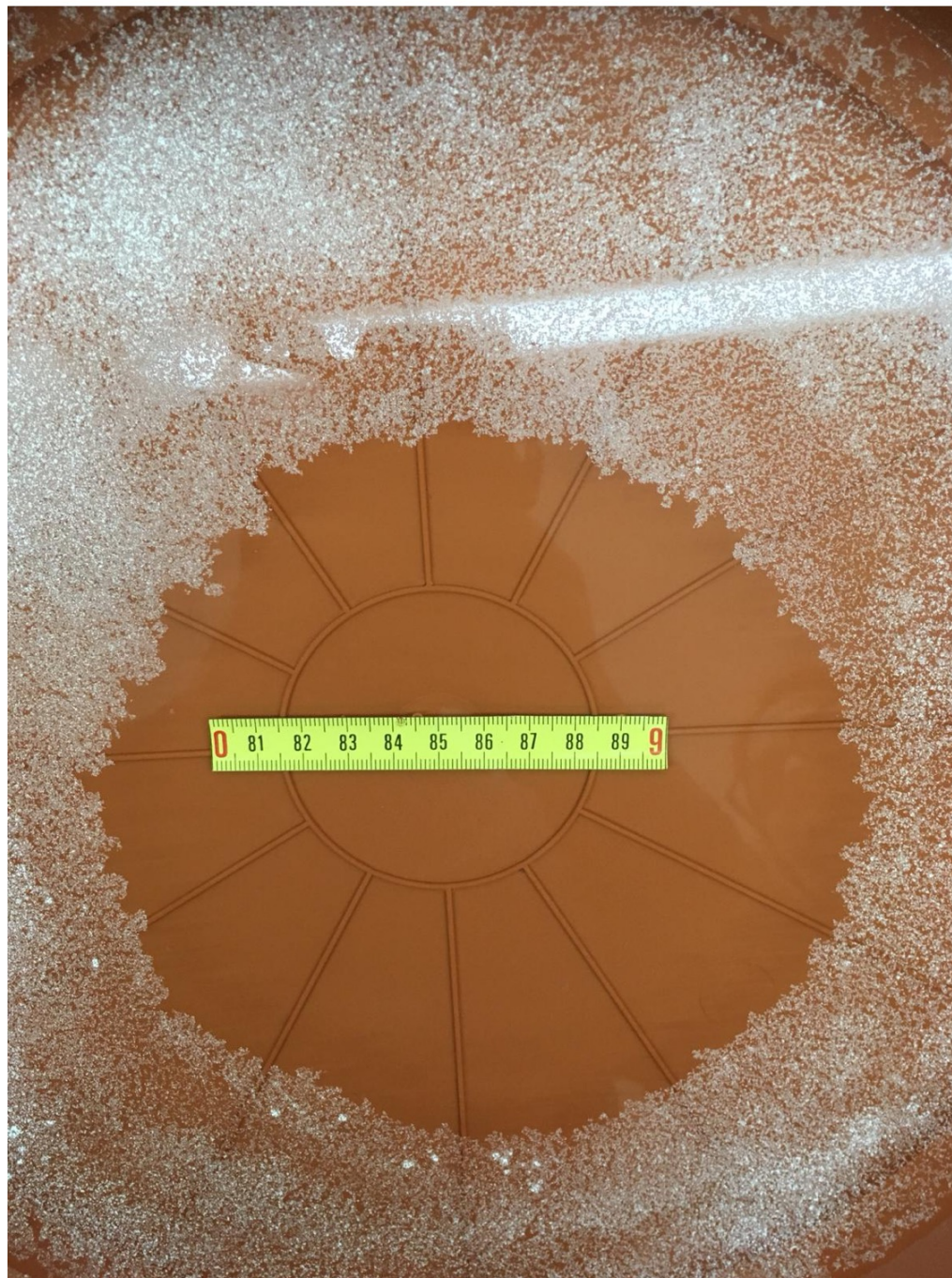
Etanolo 5.95 kPa

Acido Oleico $7.3 \times 10^{-8} \text{ kPa}$

$$V_{\text{A.Ol.}} = C \times V_{\text{goccia}} = (1.2 \pm 0.5) \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

NB L'etanolo è miscibile in acqua





Elaborazione dei Dati

Supponiamo che la macchia di acido oleico formi una pellicola sottilissima, la cui altezza l corrisponde a quella di una singola molecola.

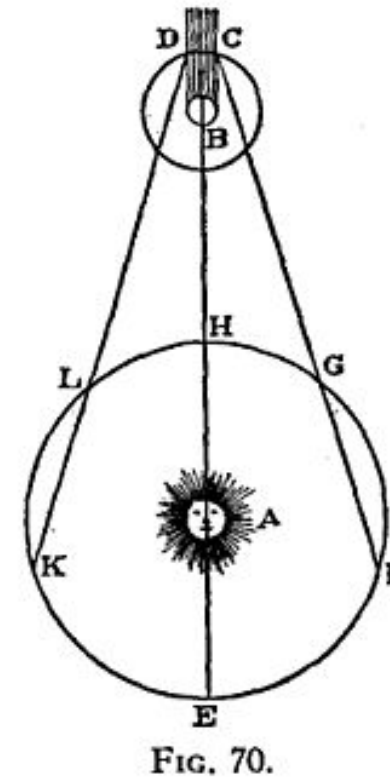
- 1) Calcolare la sua area A a partire dalla fotografia eseguita. Per esempio contando i quadratini della carta millimetrata usata, che cadono all'interno del perimetro tracciato dalla polvere. Rapportare la lunghezza del lato di un quadratino alla corrispondente misura data dalla scala del righello fotografato.
- 2) Calcolare l'altezza della molecola $l = V_{A.Ol}/A$
(può essere utile comparare questo dato con quello riportato in tabella)
- 3) Calcolare il volume della singola molecola, usando $V_{mol} = l^3/16$
- 4) Calcolare il numero di Avogadro, cioè il numero di molecole contenute nel volume molare, usando la relazione $N_A = (P_M / \delta) / V_{mol}$
- 5) Fare una tabella dei risultati ottenuti e calcolare la media di l e di N_A
- 6) Stimare errori relativi ed assoluti, valutare la fonte degli errori

Misura della velocità della luce



1670, Ole Roemer

214000 km/sec



Misura della velocità della luce

Metodo di Foucault - Michelson

relazione dei punti coniugati

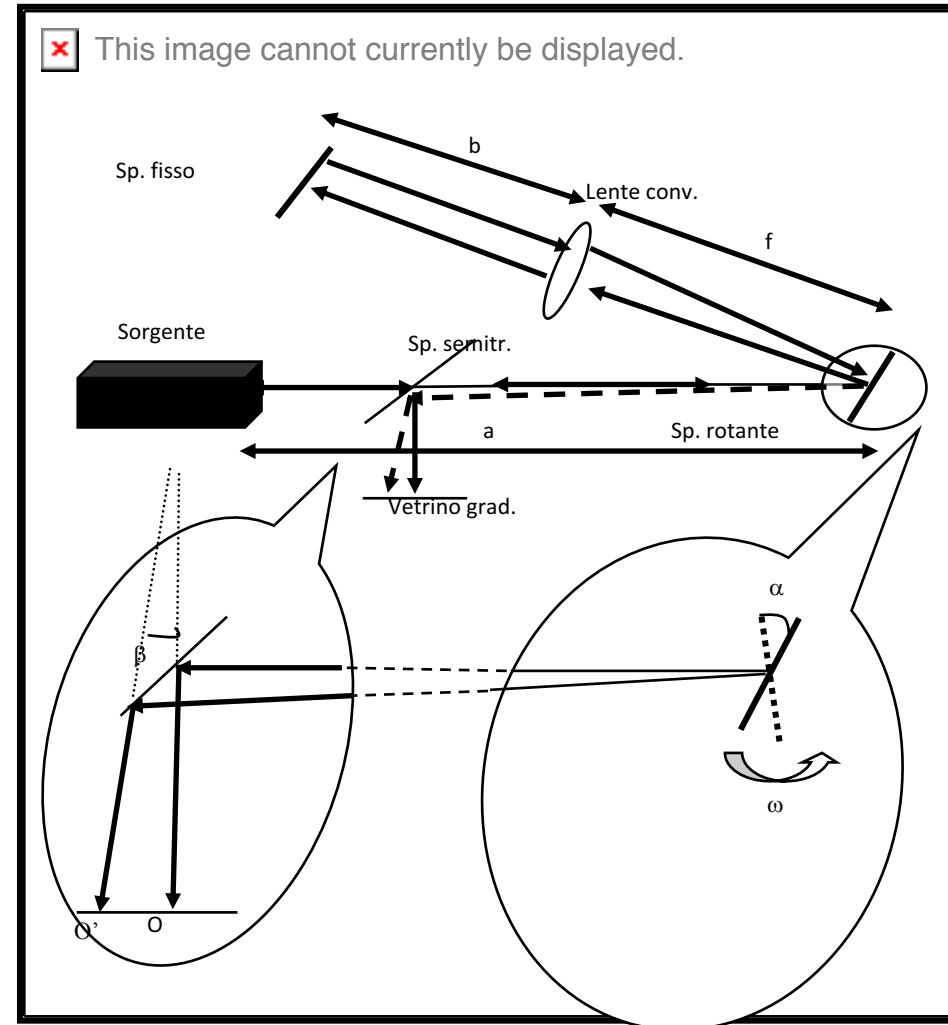
$$\frac{1}{a+f} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \Delta s = 2(b+f)$$

$$\alpha = \omega \Delta t \quad \beta = 2\alpha$$

$$|oo'| = 2\alpha a$$

$$c = \frac{4\omega(b+f)a}{|OO'|}$$



Date	Author	Method	Result (km/s)	
	Error			
1676	Olaus Roemer	Jupiter's satellites	214,000	
1726	James Bradley	Stellar Aberration	301,000	
1849	Armand Fizeau	Toothed Wheel	315,000	
1862	Leon Foucault	Rotating Mirror	298,000	+ -
500				
1879	Albert Michelson	Rotating Mirror	299,910	+ -50
1907	Rosa, Dorsay	Electromagnetic constants	299,788	+ -30
1926	Albert Michelson	Rotating Mirror	299,796	+ -4
1947	Essen, Gorden-Smith	Cavity Resonator	299,792	+ -3
1958	K. D. Froome	Radio Interferometer	299,792.5	+ -0.1
1973	Evanson et al	Lasers	299,792.4574	+ -
0.001				
1983		Adopted Value	299,792.458	

speed of light in vacuum

Value **299 792 458 m s⁻¹**

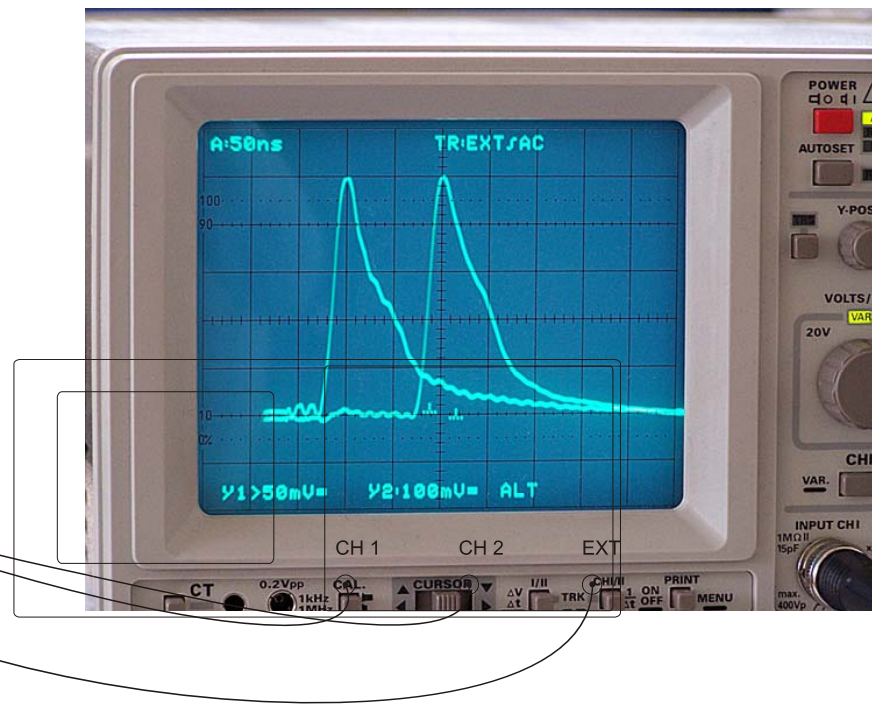
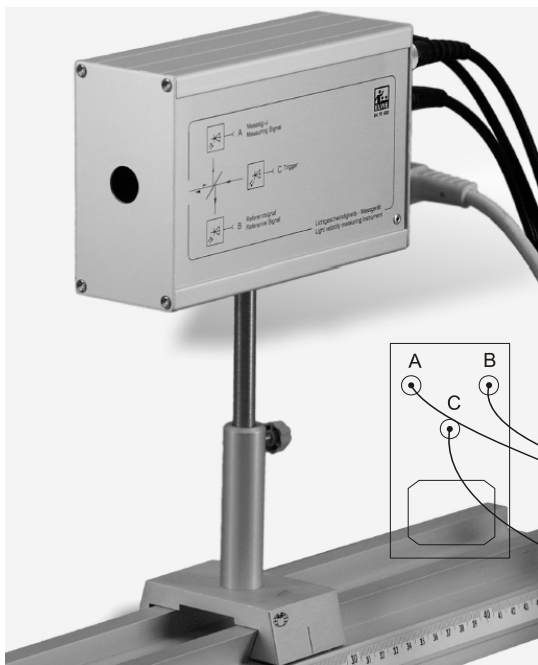
Standard uncertainty (**exact**)

Relative standard uncertainty (**exact**)

Concise form **299 792 458 m s⁻¹**

Il metro è la lunghezza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di 1/299792458 di secondo.

Apparecchiatura per la misura della velocità della luce



3. Technical data

Basic unit

Light emitter: LED
Pulse rate: 30 kHz approx.
Power input: 3 W approx.
Voltage: 115/230 V, 50/60 Hz
Dimensions: 103 x 56 x 175 mm³
Stem: 150 mm x 10 mm diam.
Weight: 1 kg approx.

Lens

Fresnel lens: $f = 375$ mm
Lens surface: 245 mm x 245 mm
Dimensions: 285 mm x 285 mm
Stem: 54 mm x 10 mm diam.
Weight: 200 g approx.

Mirror

Design: Micro-prism mirror
Mirror diameter: 100 mm approx.
Dimensions: 170 x 170 x 40 mm³
Stem: 54 mm x 10 mm diam.

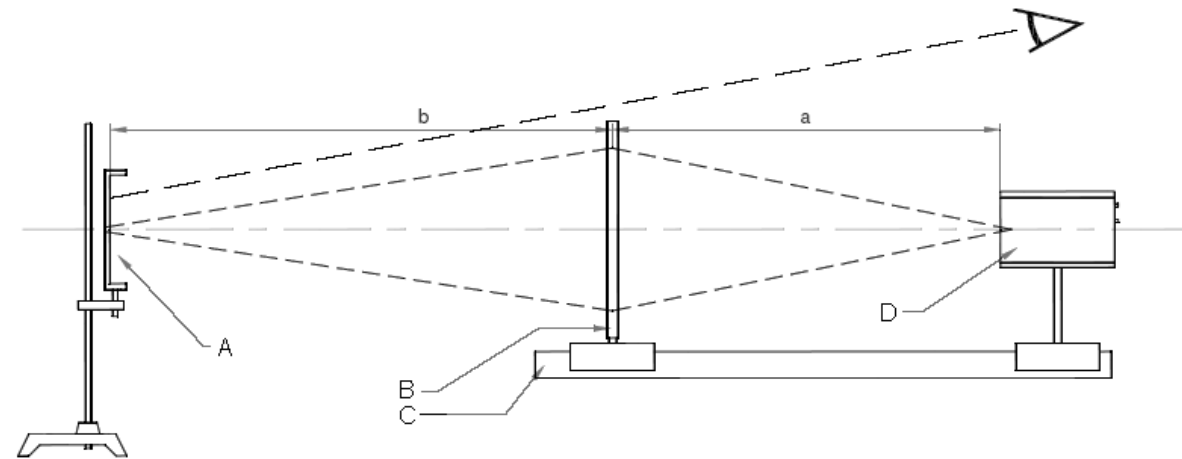


Fig. 1: Experiment set-up: A Microprism mirror, B Fresnel lens, C Optical bench, D Basic unit



$$s = 260 \text{ cm}, \Delta t = 10.0 \text{ ns}$$

$$v = 2.6 \times 10^8 \text{ m/sec}$$



$$s = 208 \text{ cm}, \Delta t = 8.0. \text{ ns} \quad v = 2.6 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

t (ns)	s (cm)	v (m/s) x 10 ⁸
--------	--------	---------------------------

9,8	280	2,86
9,4	250	2,66
9,4	212	2,26
8,6	172	2,00
8,2	146	1,78
8,6	168	1,95
11	266	2,42
10,5	224	2,13
9,7	210	2,16
11,1	274	2,47

2,86	0,33
------	------

c	± σ
----------	------------