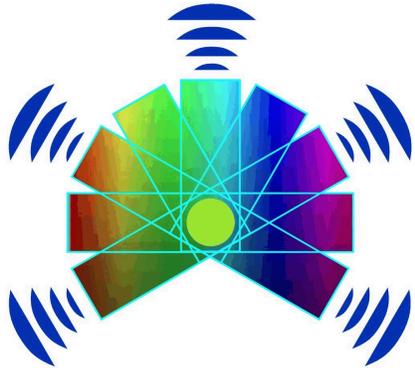


Laboratorio di Fisica Moderna

Misura della Velocità della Luce

Misura del Numero di Avogadro



L. Martina
19/02/2024

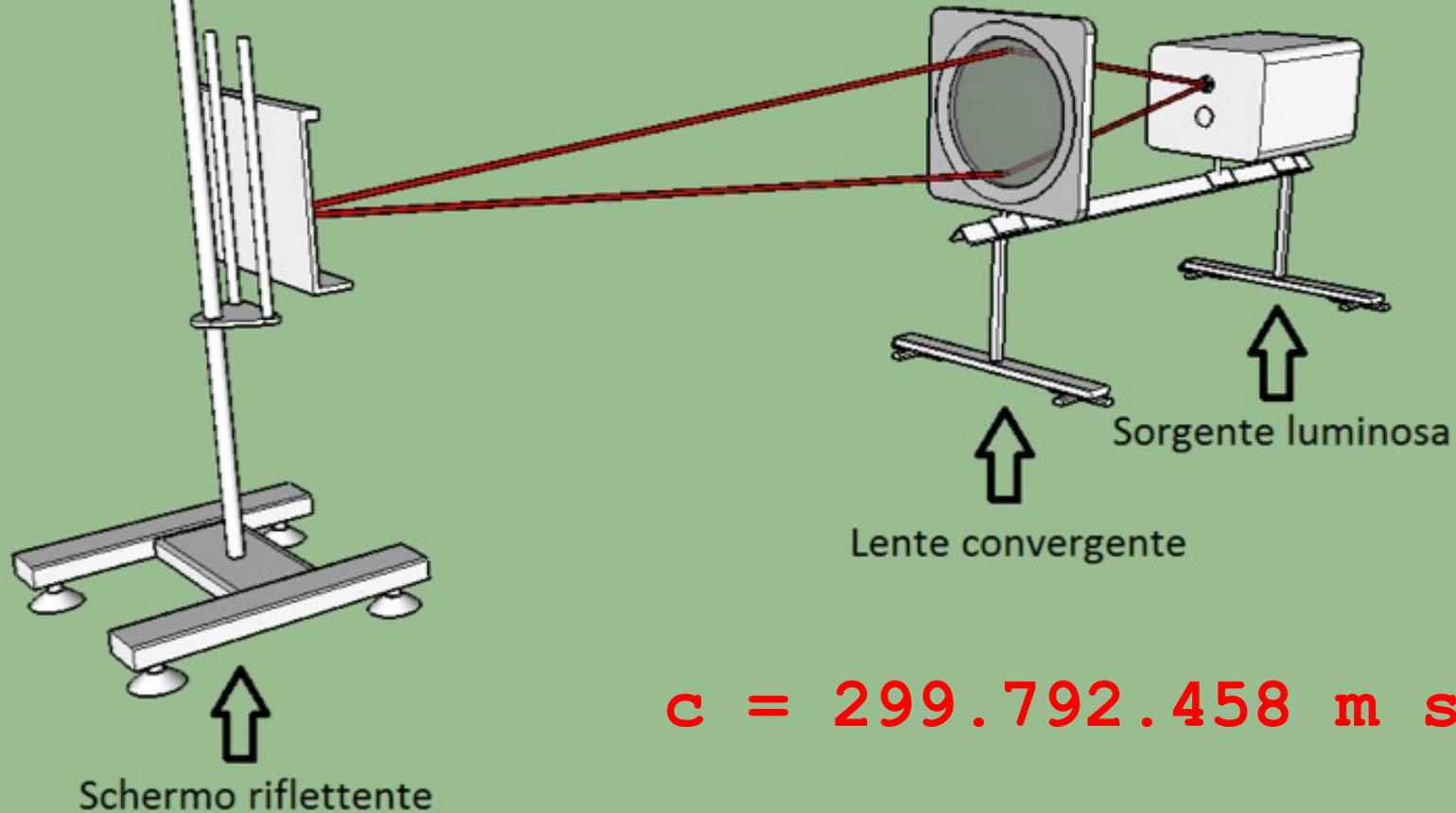
*Dipartimento di Matematica e Fisica «E. De Giorgi»
Università del Salento
Sezione INFN - Lecce*





La velocità della luce
a fondamento della
Relatività

La Misura della velocità della Luce



$$c = 299.792.458 \text{ m s}^{-1}$$



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.

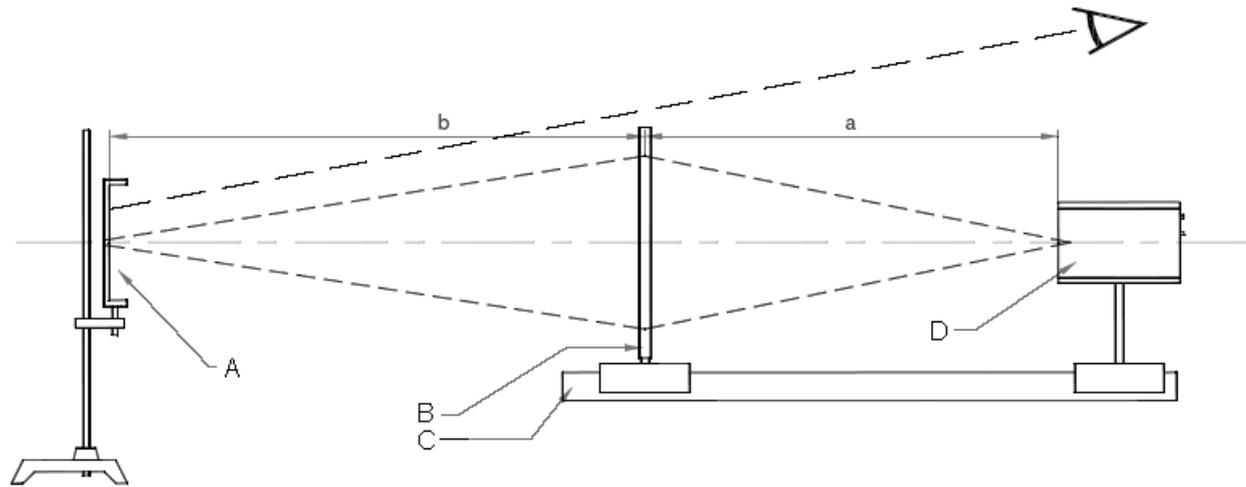


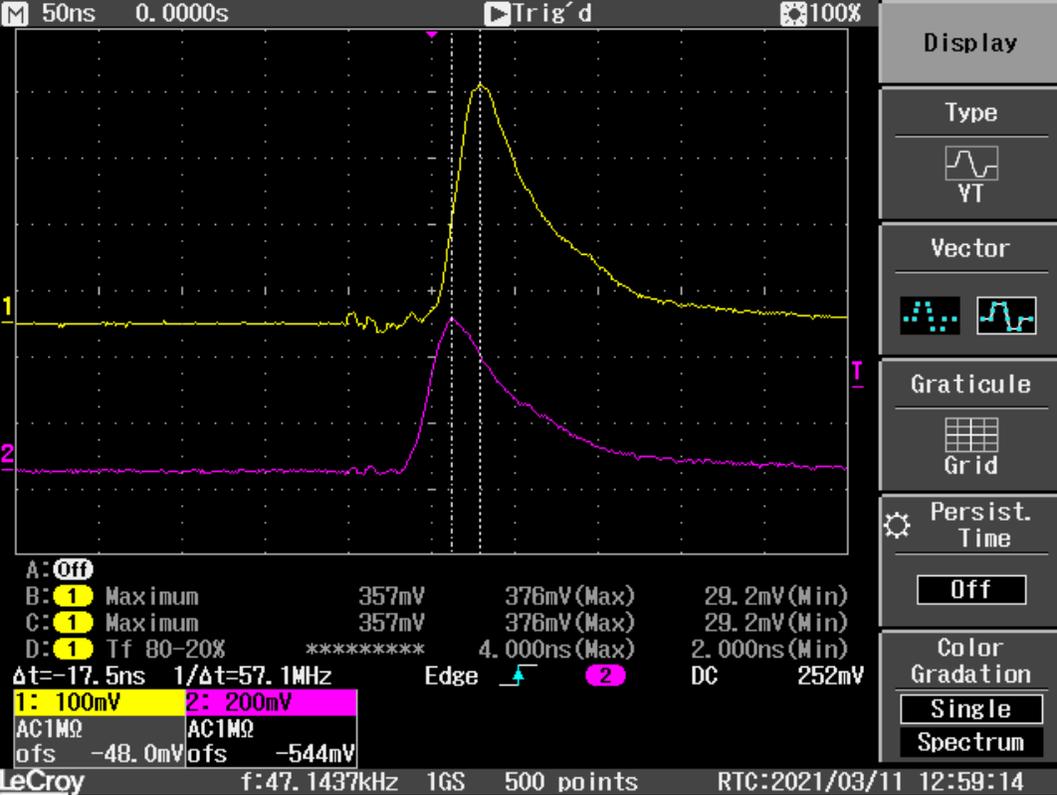
Fig. 1: Experiment set-up: A Microprism mirror, B Fresnel lens, C Optical bench, D Basic unit



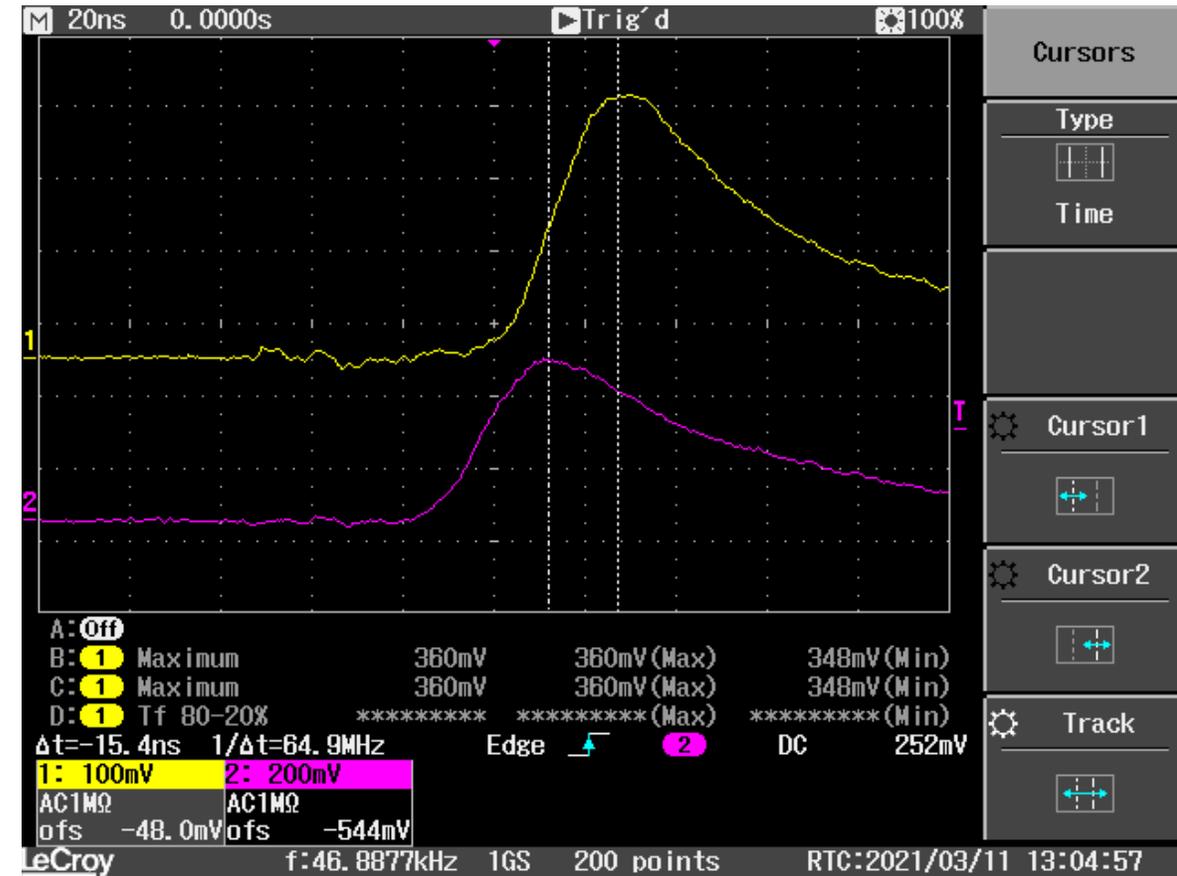
$s = 260 \text{ cm}$, $\Delta t = 10.0 \text{ ns}$
 $v = 2.6 \times 10^8 \text{ m/sec}$



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

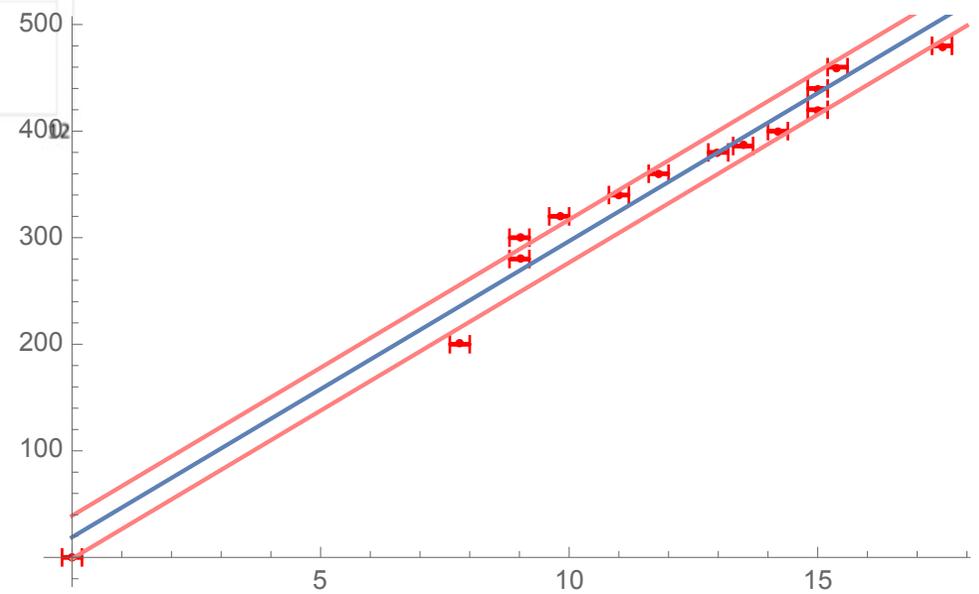
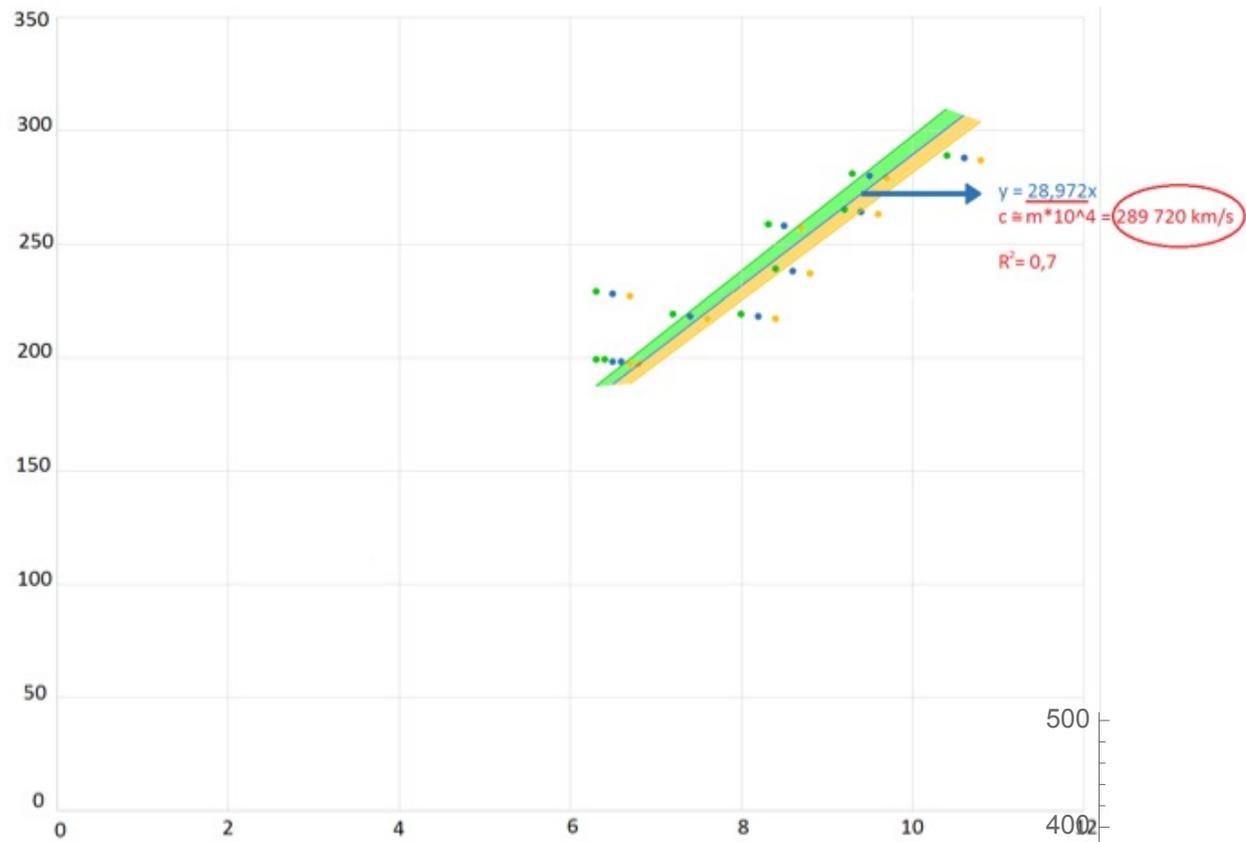


1- s = 240 cm



2 - s = 230

ΔS (Spazio totale: in cm)	I[s] (Incertezza spazio: in cm)	$\Delta S-I[s]$ (Spazio totale minimo: in cm)	$\Delta S+I[s]$ (Spazio totale massimo: in cm)	Δt (Tempo impiegato: in ns)	I[t] (Incertezza tempo: in ns)	$\Delta t-I[t]$ (Tempo impiegato minimo: in ns)	$\Delta t+I[t]$ (Tempo impiegato massimo: in ns)	$V=\Delta S \cdot 10^4 / \Delta t$ (Velocità: in km/s)
280	1	279	281	9,5	0,2	9,3	9,7	294736,8
258	1	257	259	8,5	0,2	8,3	8,7	303529,4
238	1	237	239	8,6	0,2	8,4	8,8	276744,2
218	1	217	219	7,4	0,2	7,2	7,6	294594,6
198	1	197	199	6,6	0,2	6,4	6,8	300000
264	1	263	265	9,4	0,2	9,2	9,6	280851,1
288	1	287	289	10,6	0,2	10,4	10,8	271698,1
218	1	217	219	8,2	0,2	8	8,4	265853,7
228	1	227	229	6,5	0,2	6,3	6,7	350769,2
198	1	197	199	6,5	0,2	6,3	6,7	304615,4

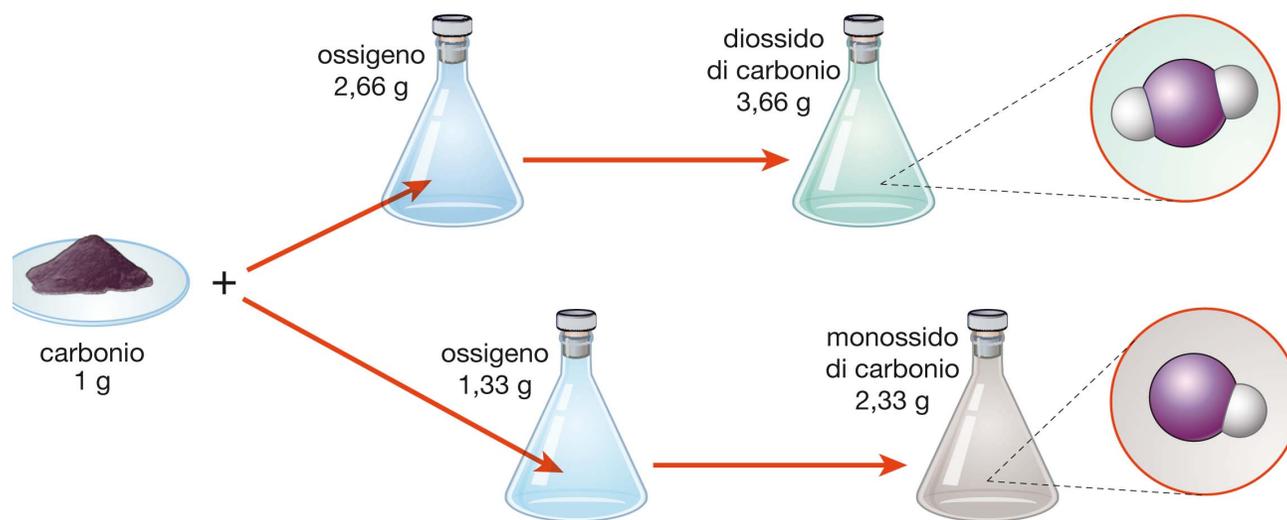


La teoria atomica di Dalton



John Dalton

- *Gli elementi sono costituiti da particelle estremamente piccole chiamate atomi.*
- *Gli atomi di un dato elemento sono identici per dimensioni, massa e altre proprietà; gli atomi di diversi elementi differiscono per dimensioni, massa e altre proprietà.*
- *Gli atomi non possono essere suddivisi, creati o distrutti.*
- *Gli atomi di diversi elementi si combinano in semplici rapporti di numeri interi per formare composti chimici.*
- *Nelle reazioni chimiche, gli atomi vengono combinati, separati o riorganizzati.*



La legge di Avogadro



A. Avogadro

- *A. Avogadro* : «*Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons*» , *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire naturelle* **73** (1811), 58–76
- Ipotesi di Avogadro: volumi uguali di tutti i gas (ideali), alla stessa temperatura e pressione, hanno lo stesso numero di molecole.
- Per una data massa di un gas ideale, il volume e la quantità (moli) del gas sono direttamente proporzionali se la temperatura e la pressione sono costanti.
- $PV = n R T = M/M_{\text{mol}} R T = N/N_A R T = N R / N_A T = N k_B T$
- Definizione del Numero di Avogadro: esso è il numero di molecole in un grammo-molecola di ossigeno.
- Possiamo ottenere una stima del Numero di Avogadro N_A ?

Quanto sono piccole le molecole?

- Quante molecole ci sono in una data quantità di una certa sostanza ?
- Come stimare le dimensioni di una molecola tipo?
- Metodi utilizzati da J. Perrin :

emulsioni analoghe a gas; emulsioni analoghe a liquidi; fluttuazioni di emulsioni concentrate; moto Browniano traslazionale; moto Browniano rotazionale; opalescenza critica; azzurro del cielo; radiazione di corpo nero; goccioline ionizzate secondo Millikan; decadimento radioattivo.

$$\underline{N_A = 6.022\ 141\ 79 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}$$

Il Moto Browniano

<http://www.youtube.com/watch?v=Scykhj1V41s>

<https://www.youtube.com/watch?v=nOkSITJTULI>

<https://www.youtube.com/watch?v=R5t-oA796to>

<https://history.aip.org/exhibits/einstein/>

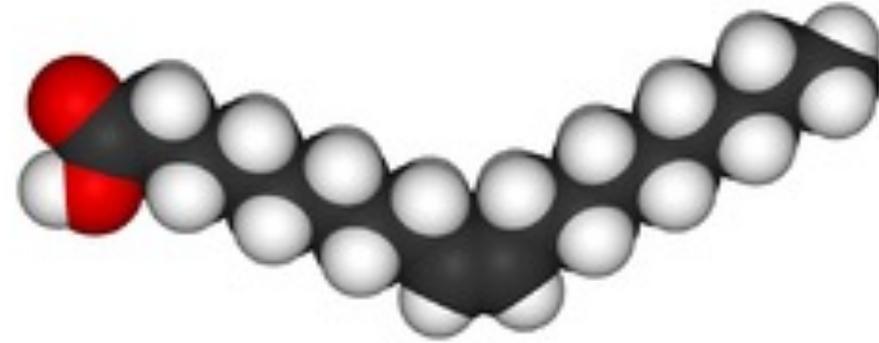
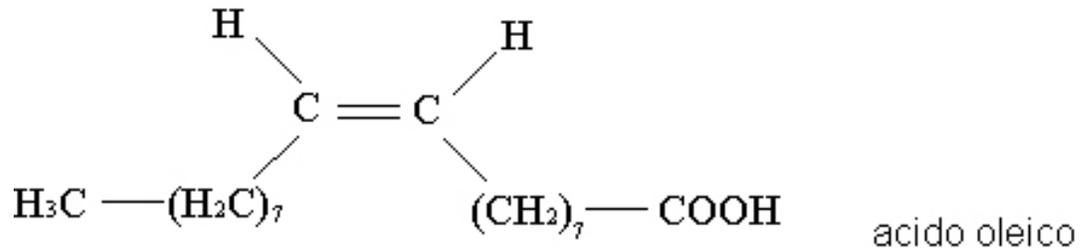


A. Einstein



J. Perrin

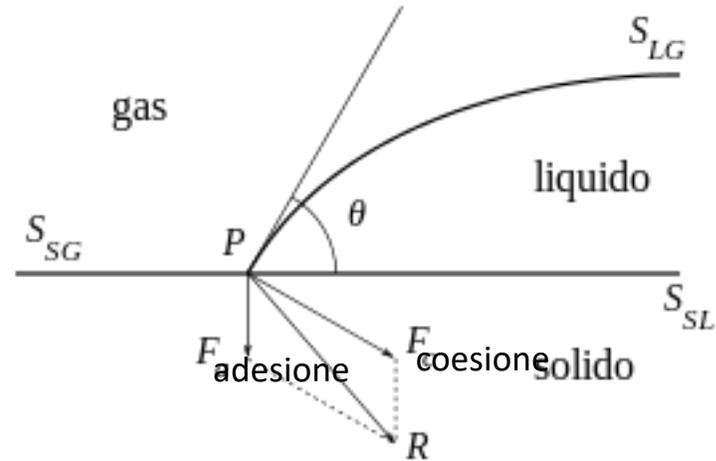
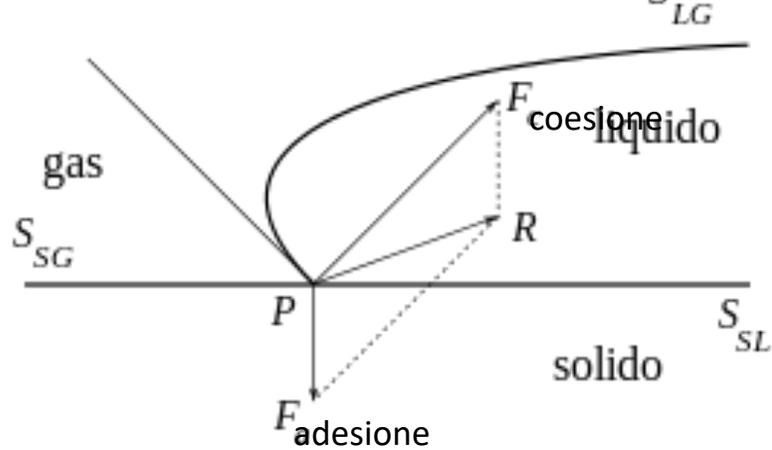
Il metodo dello strato monomolecolare



- Acido Oleico $C_{18}H_{34}O_2$
- Peso Molare $P_M = 282.47 \text{ g/mol}$
- Densità di massa a temperatura ambiente $\delta = 0.895 \text{ g/cm}^3$
- Nel corso dell'esperimento si suppone che, una volta depositata sull'acqua, la goccia di 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

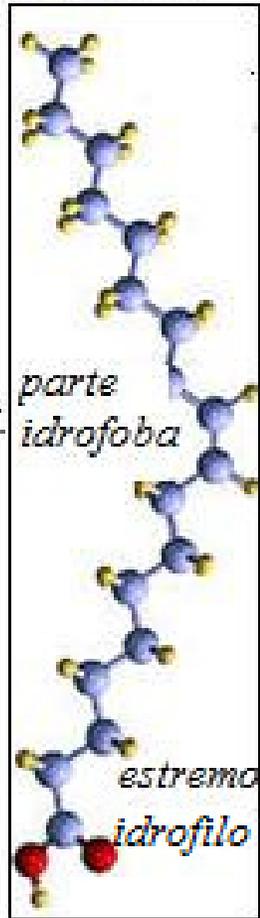
$$\gamma = dE / dA = \gamma_0 / \cos(\theta/2)$$



Materiale	Tensione superficiale (N/m)
Mercurio	0,559
Acqua	0,073
Acido Oleico	0,0319
Benzene	0,029

water			LL (oleic acid)		
γ_{wa}^*	θ_w	γ_{wa}^{d*}	γ_{oa}^*	θ_o	γ_{oa}^{d*}
(mN/m)	(°)	(mN/m)	(mN/m)	(°)	(mN/m)
72.1	72.9	21.8	32.8	20.9	27.9

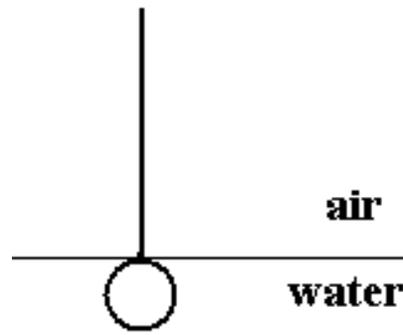
Acido Oleico



a

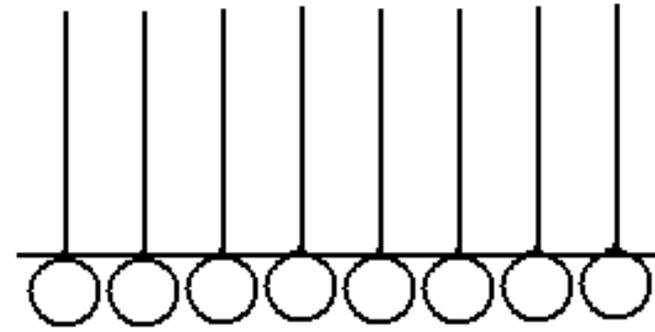
$l = 4a$

tailgroup



headgroup

Schematic diagram



1. Modellizziamo che le molecole abbiano circa la forma di un parallelepipedo retto a 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.

Lunghezza $l = 1.97$ nm
Massa $m = 4.69 \times 10^{-22}$ g

Procedura sperimentale

- Riempire il sottovaso con acqua per una profondità di un paio di cm 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 di acido oleico in etanolo preparata in precedenza.
- La goccia di soluzione si espande, con oscillazioni dovute alla presenza di etanolo che evapora/si mescola in circa un minuto. Si forma così una macchia stabile approssimativamente circolare. Forme stellate e/o irregolari possono facilmente prodursi, per disomogeneità della polvere e per le interazioni dei suoi grani..
- 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, oppure utilizzare uno strumento di elaborazione delle immagini, per misurare l'area della macchia.

Materiali a disposizione per le misure

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

Pipette tarate : $V_{\text{goccia}} = 0,0105 \text{ ml}$ ($\Delta V_{\text{goccia}} = 0,0001 \text{ ml}$)

Vaschette (sottovasi)

Polvere di borotalco

Setaccio sottile

Righello

Pressione di Vapore (20 °C)

Acqua 2.3388 kPa

Etanolo 5.95 kPa

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

Calcolo del volume effettivo di Acido Oleico nella goccia

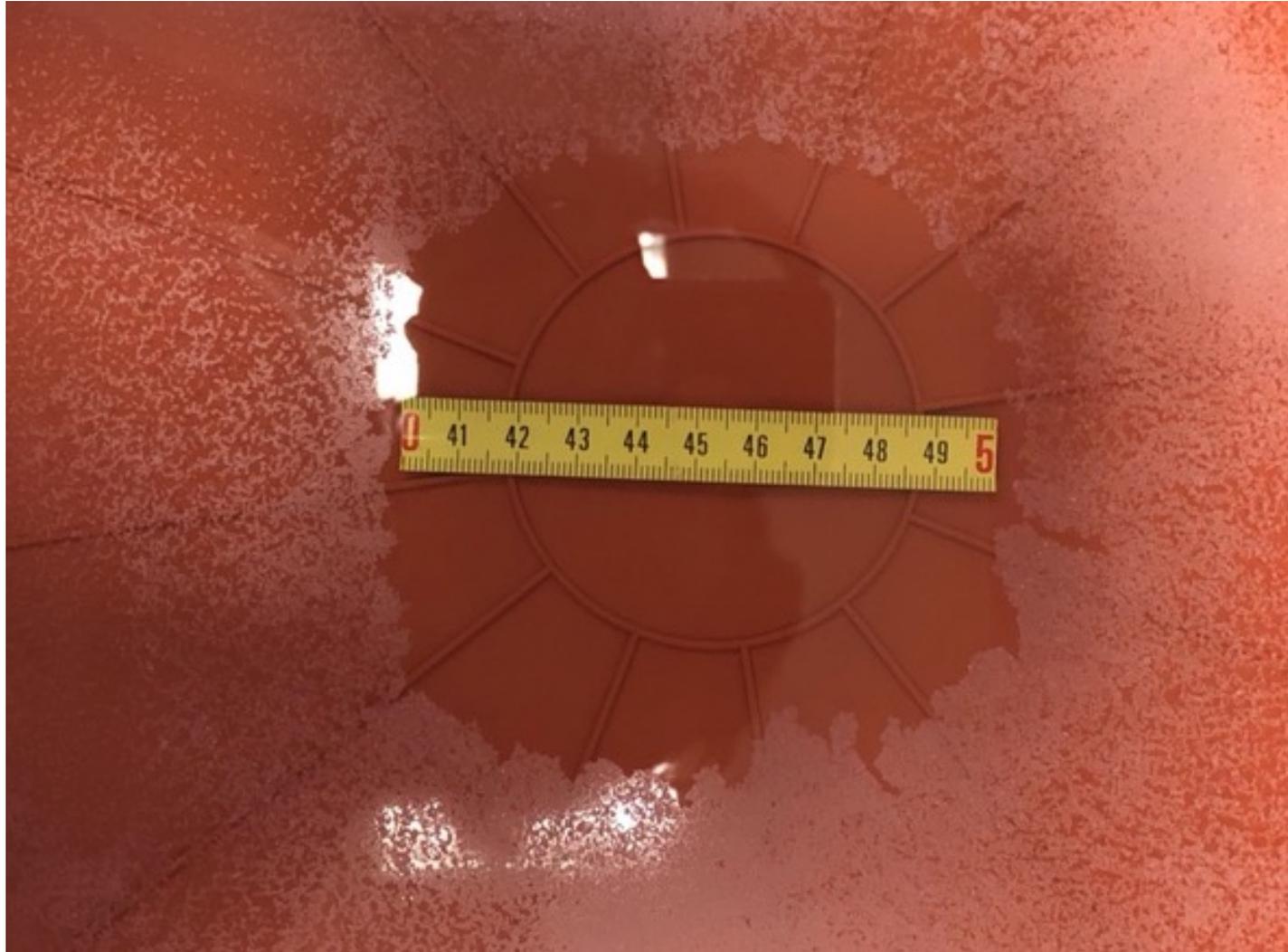
$$V_{\text{A.Ol.}} = C \times V_{\text{goccia}} = (1.0 \pm 0.5) \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

NB L'etanolo è miscibile in acqua

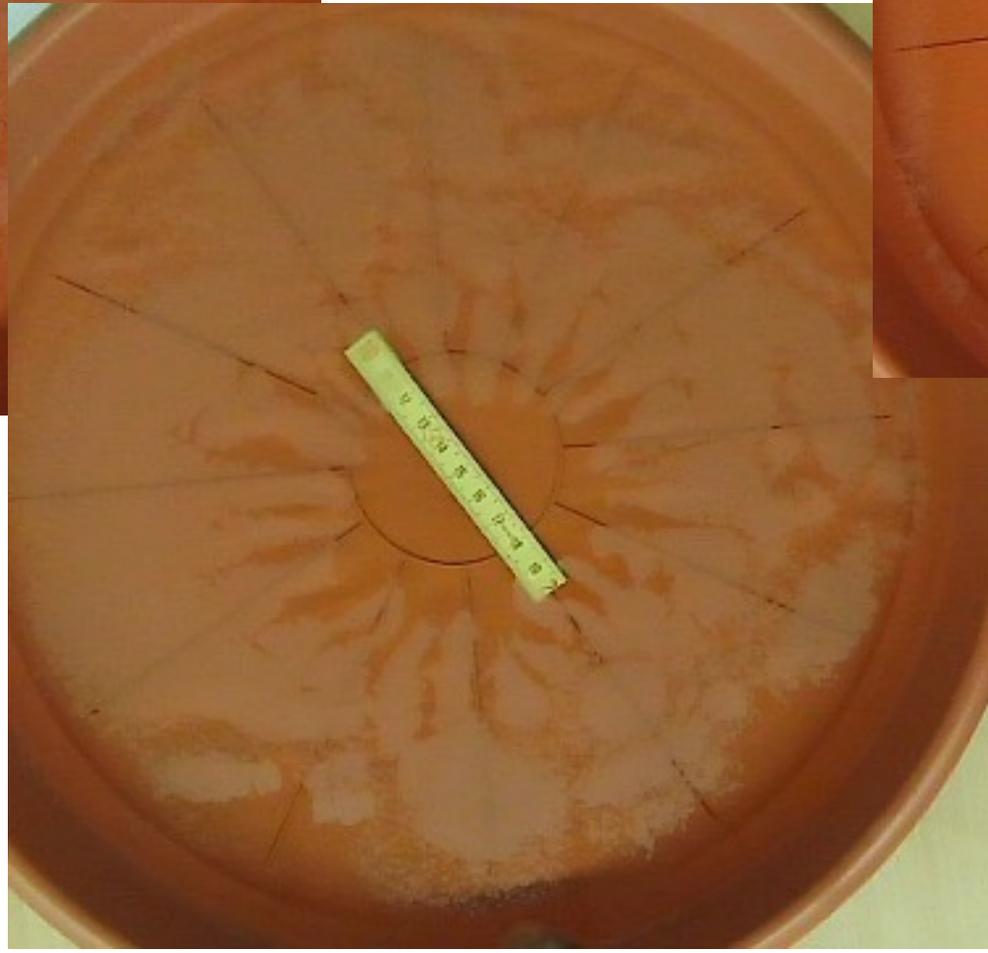
Elaborazione dei Dati

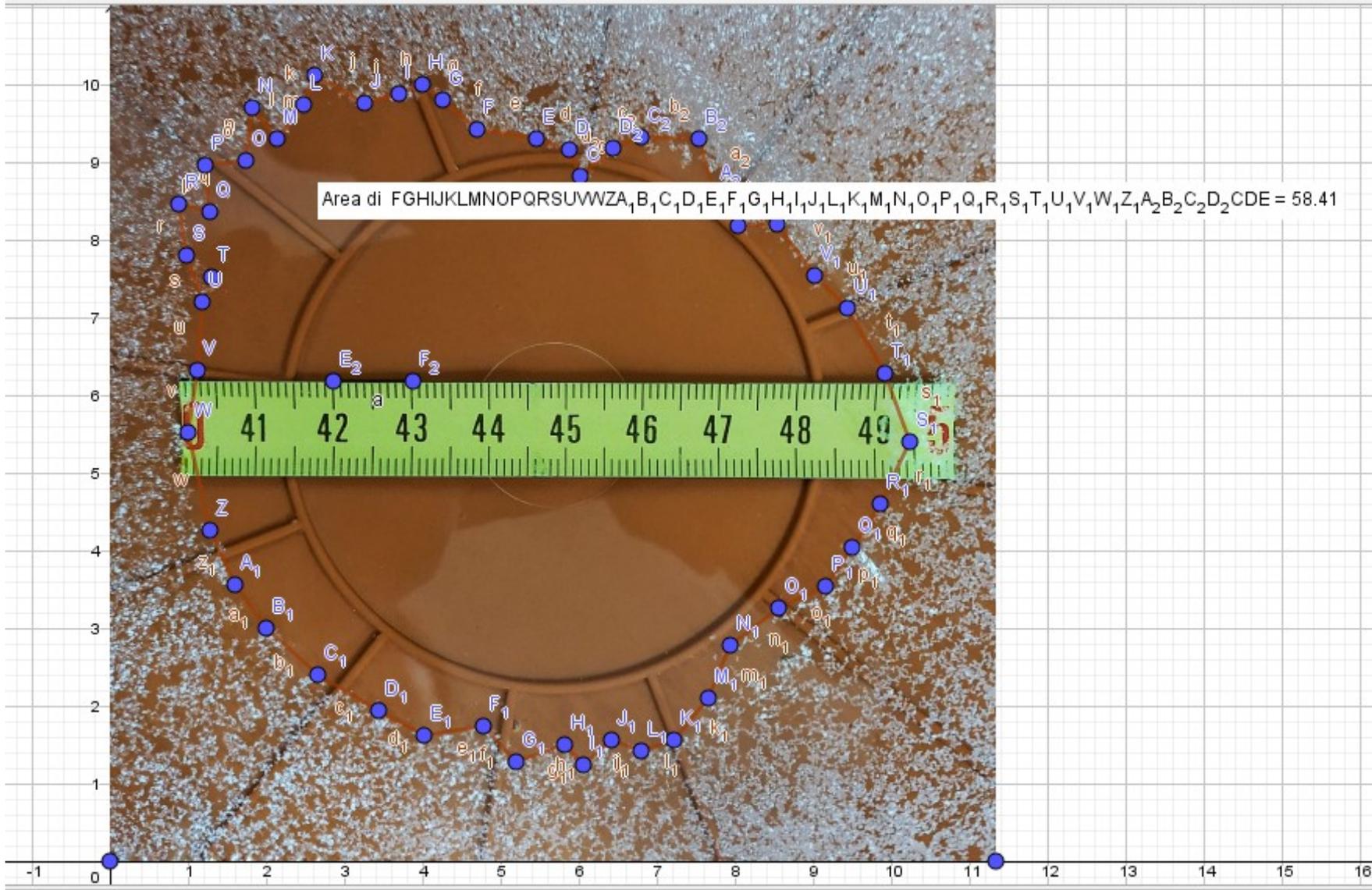
- 1) Calcolare la sua area A a partire dalla fotografia eseguita.
Per esempio contando i quadratini della carta millimetrata usata, che cadono all'interno del perimetro tracciato dalla polvere. Rapportare la lunghezza del lato di un quadratino alla corrispondente misura data dalla scala del righello fotografato.
- 2) Calcolare l'altezza della molecola $l = V_{A.OI}/A$
(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

Foto di G.E. Miccoli. (Ribezzo) 24/2/'23



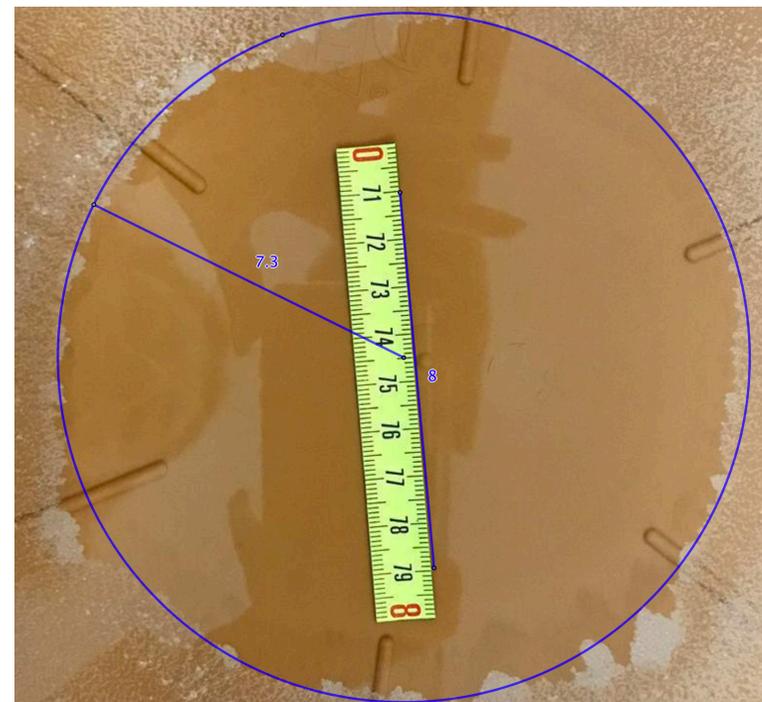
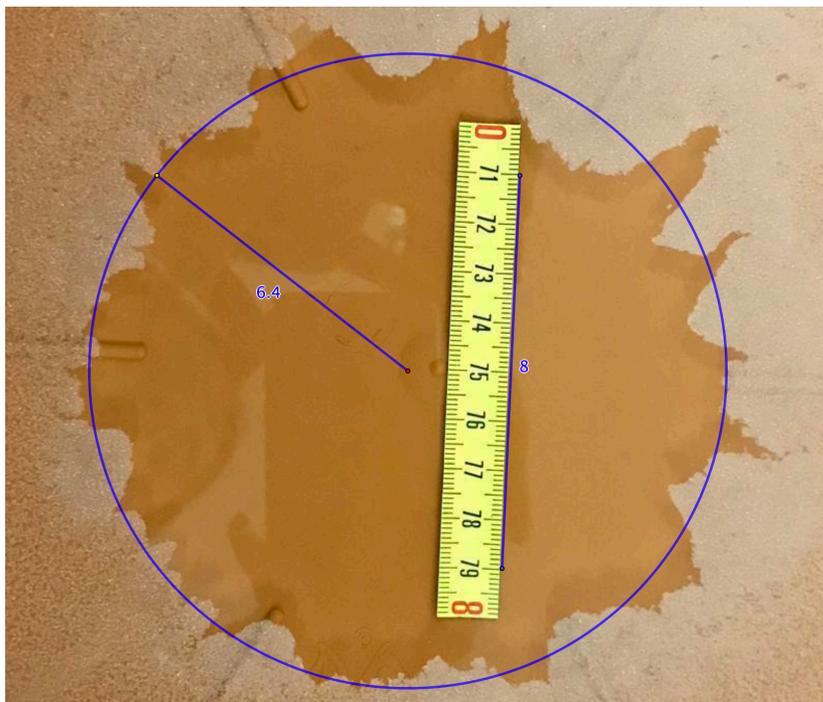
Altre foto





Uso di Geogebra

Andrea Zingarofalo e Gianluigi Serio – I.I.S.S. “V. Lilla” (2020)



Stima di un Raggio Medio

Cafagna Giovanna (Liceo Classico “Palmieri” - Lecce)

Lazzari Gabriele (Liceo Scientifico “Leonardo da Vinci” - Maglie)

Schifano Antonella (Liceo Scientifico “Leonardo da Vinci” - Maglie)

Specchia Maria Pia (Liceo Scientifico “Salvatore Trinchese” - Martano)

Qualche esempio

A (cm²)	ΔA (cm²)	h (cm)	Δh (cm)	V (cm³)	ΔV (cm³)	N_A (mol⁻¹)	ΔN_A (mol⁻¹)
64.0	0.2	$1.9 * 10^{-7}$	$0.8 * 10^{-7}$	$4 * 10^{-22}$	$5 * 10^{-22}$	$8 * 10^{23}$	$9 * 10^{23}$
58.41	0.01	$2.1 * 10^{-7}$	$0.9 * 10^{-7}$	$6 * 10^{-22}$	$7 * 10^{-22}$	$5 * 10^{23}$	$6 * 10^{23}$

$$\Delta h_1 = h_1 * [(\Delta V_{\text{acido oleico}} / V_{\text{acido oleico}}) + (\Delta A_1 / A_1)]$$

$$\Delta V_1 = 3V_1 * \Delta h_1 / h_1$$

$$\Delta N_{A1} = N_{A1} * \Delta V_1 / V_1$$