

# Laboratorio di Fisica Moderna – III

## Misura del Numero di Avogadro

### La Diffrazione della Luce

L. Martina  
10/02/2020

*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 quantità di una certa sostanza ?
- Possiamo ottenere una stima del Numero di Avogadro ( $N_A$ ) ?



- Metodi utilizzati da J. Perrin :

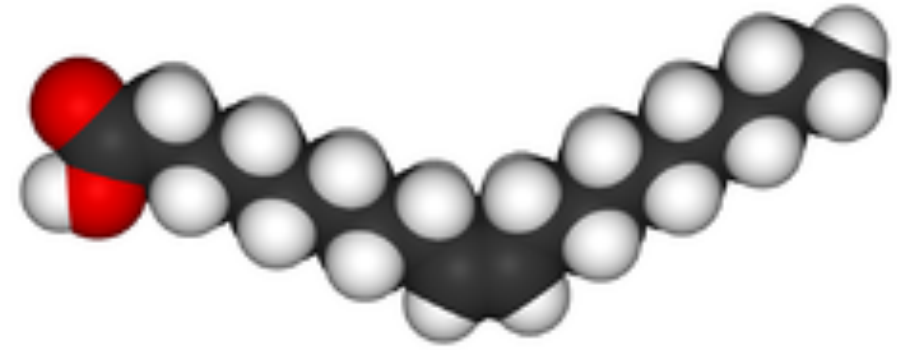
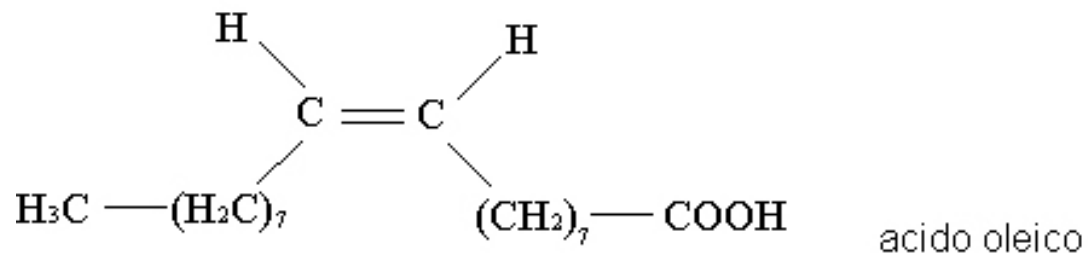
emulsioni analoghe a gas; emulsioni analoghe a liquidi; fluttuazioni emulsioni concentrate; moto Browniano traslazionale; moto Browniano rotazionale; opalescenza critica; azzurro del cielo; radiazione di corpo nero; goccioline ionizzate secondo Millikan; decadimento radioattivo.

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

- Metodo dello strato monomolecolare.



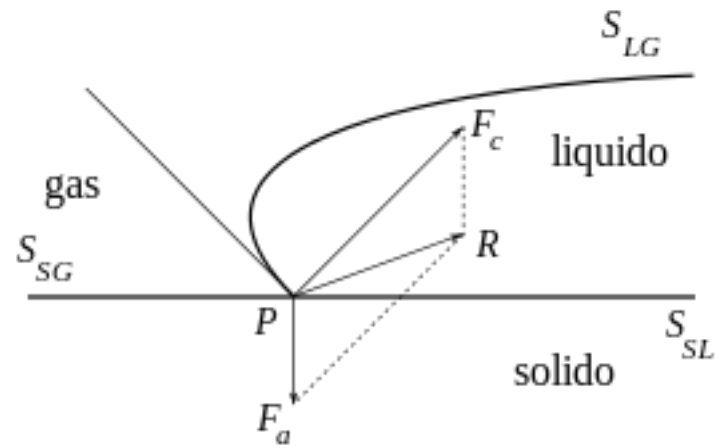
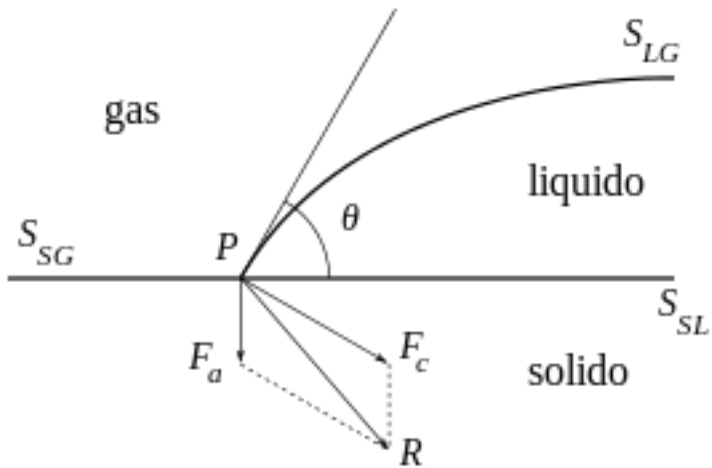
# Il metodo dello strato monomolecolare



- Acido Oleico  $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$
- 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

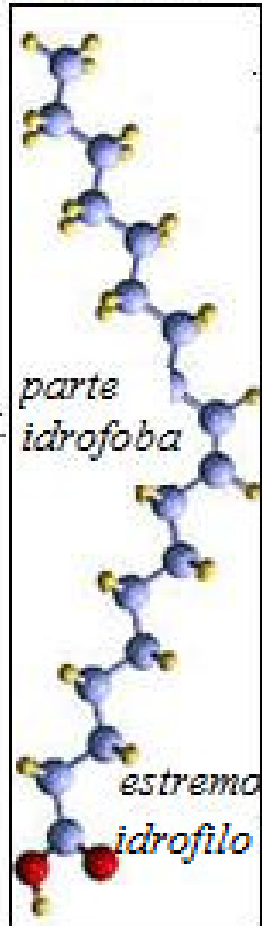
# Tensione superficiale

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



Materiale	Tensione superficiale (N/m)
<a href="#">Mercurio</a>	0,559
<a href="#">Acqua</a>	0,073
<a href="#">Olio di oliva</a>	0,0319
<a href="#">Benzene</a>	0,029

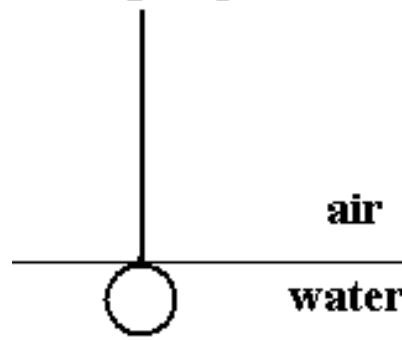
Acido Oleico



$a$

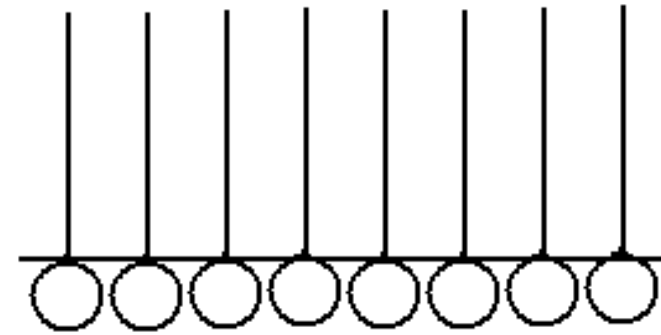
**Lunghezza  $l = 1.97 \text{ nm}$**   
**Massa  $m = 4.69 \times 10^{-22} \text{ g}$**

tailgroup



headgroup

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

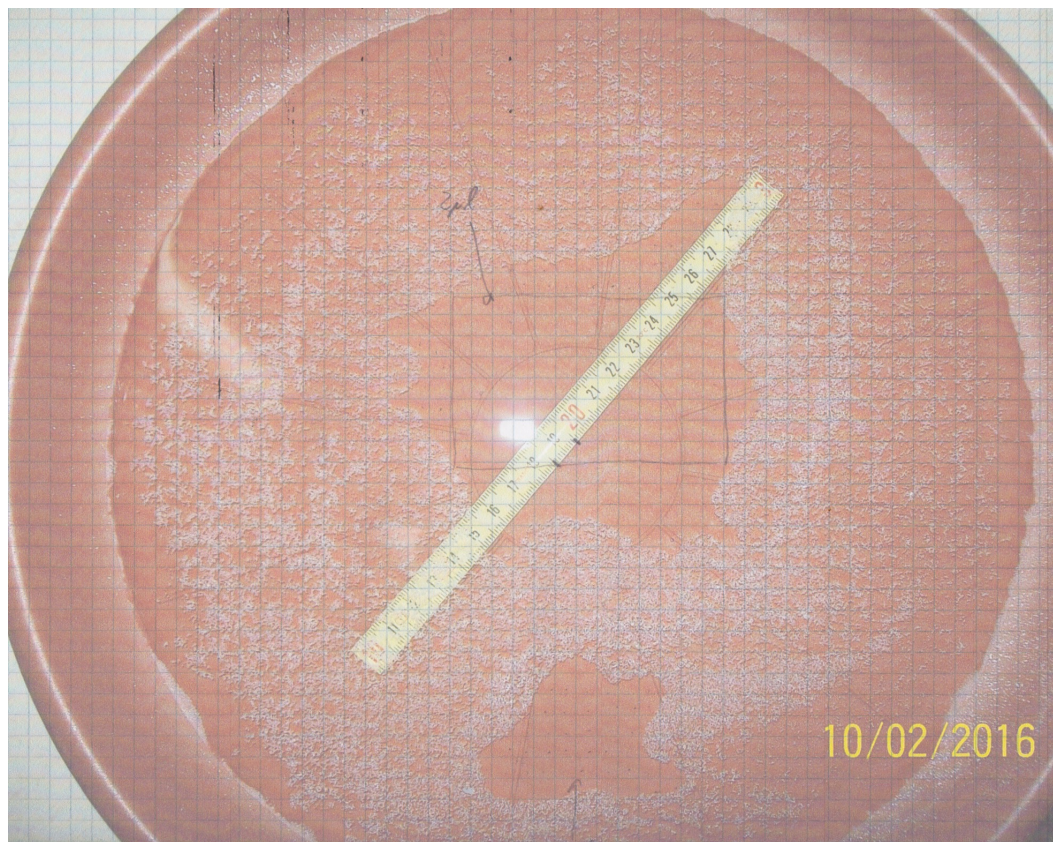
Etanolo 5.95 kPa

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

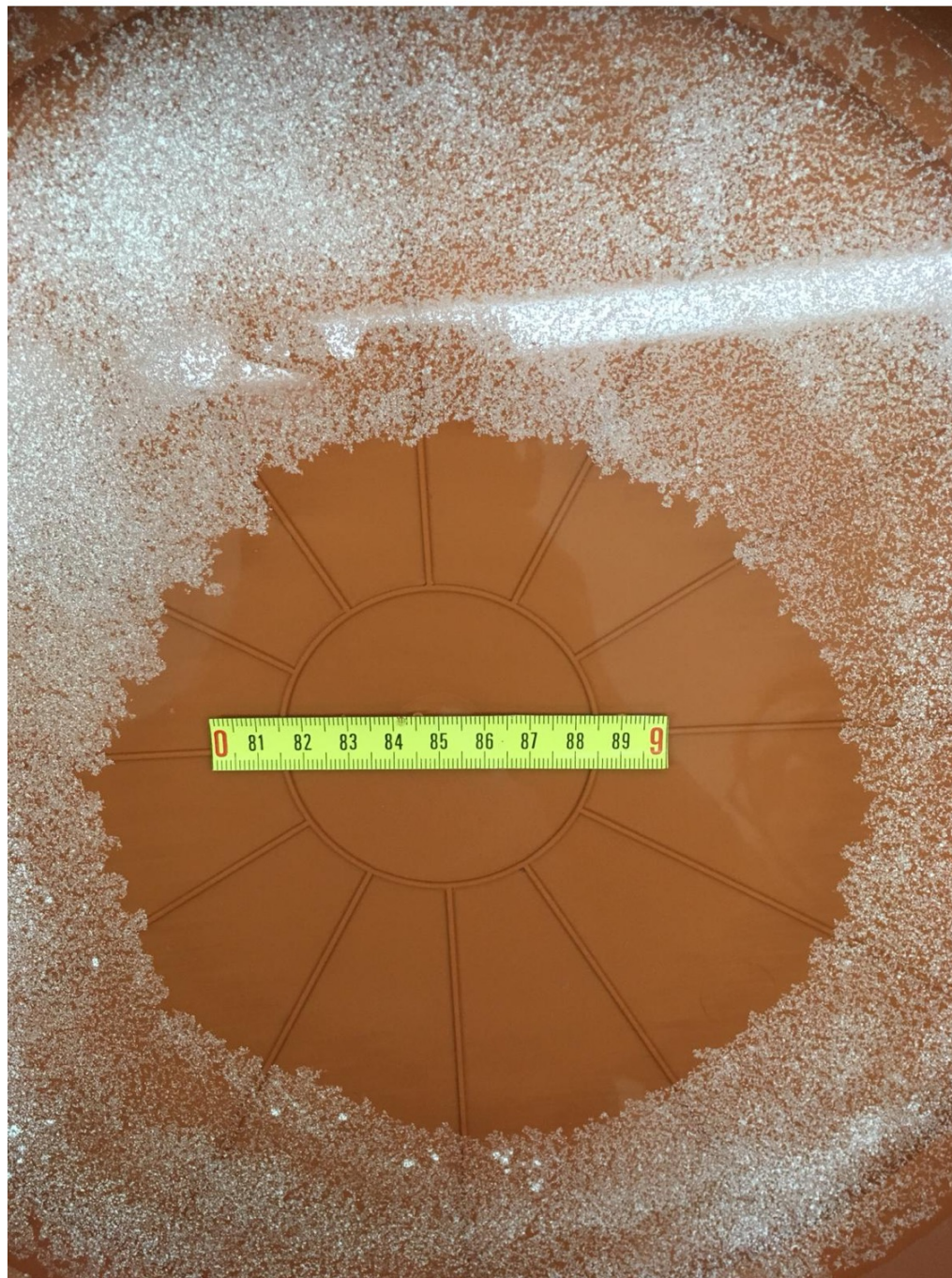
$$V_{\text{A.Ol.}} = C \times V_{\text{goccia}} = (1.2 \pm 0.5) \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

NB L'etanolo è miscibile in acqua









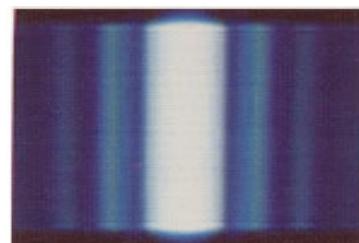
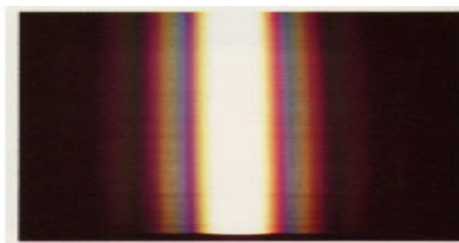
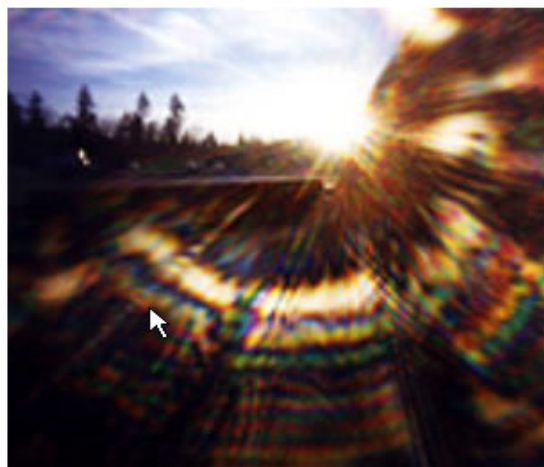
# Elaborazione dei Dati

- 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

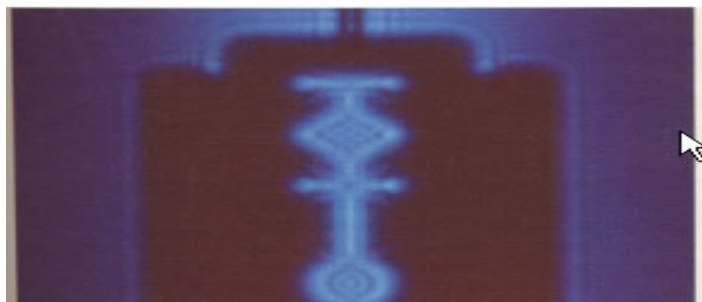
# La Diffrazione

- La diffrazione è un fenomeno che si incontra ovunque nella vita quotidiana e in tutte le applicazioni dell'ottica
- Pone un confine inferiore all'avanzamento verso il “microscopico” o il “lontano”
  - limite nella capacità di distinzione fra due oggetti vicini fra loro che si trovano a grande distanze
  - limite inferiore nell'osservazione microscopica
  - limite inferiore all'integrazione (litografia)....
- Costituisce un ponte
  - tra l'ottica geometrica e quella fisica
  - tra la fisica classica e quella quantistica (visione ondulatoria della luce e della materia)
- E' l'esempio più comune di interferenza
- Permette di comprendere il principio di Huygens-Fresnel

# Nella vita quotidiana

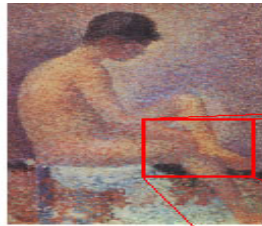


Diffrazione di  
luce bianca e  
blu



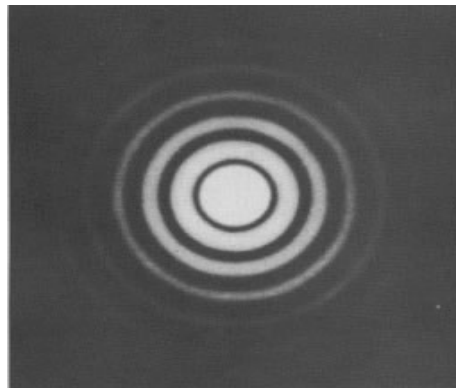
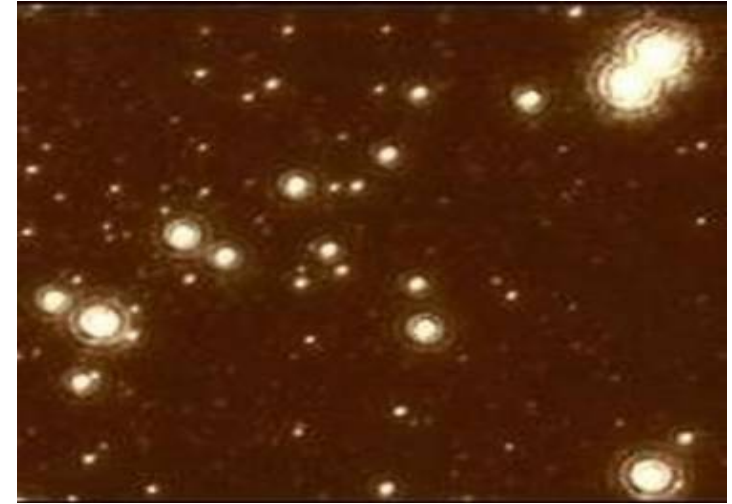
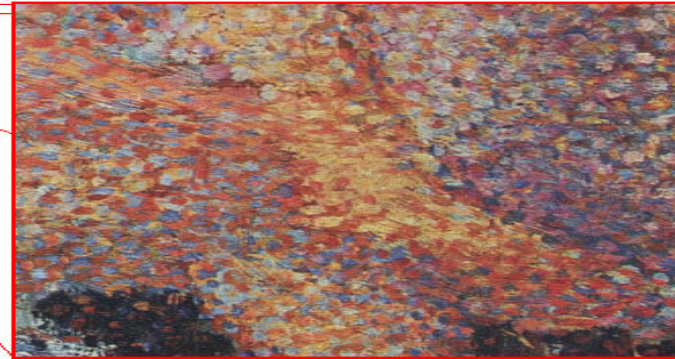


# Potere risolutivo degli strumenti ottici



PUNTI INISTI

Seurat  
Modella seduta  
1886-1887

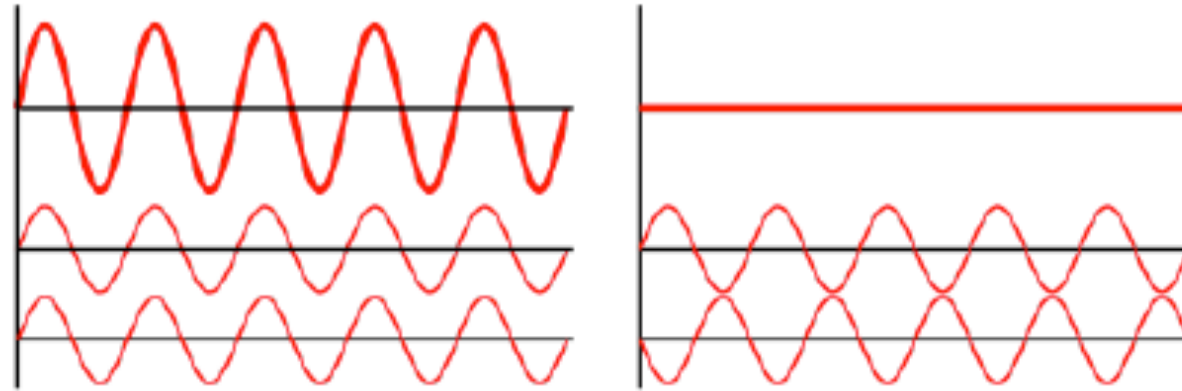


Posizione del primo minimo

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

# Teoria Ondulatoria della Luce

- La luce è composta da onde, che interferiscono rafforzandosi (interferenza costruttiva), oppure cancellandosi (interferenza distruttiva).



- Le diverse lunghezze d'onda sono responsabili dei colori.

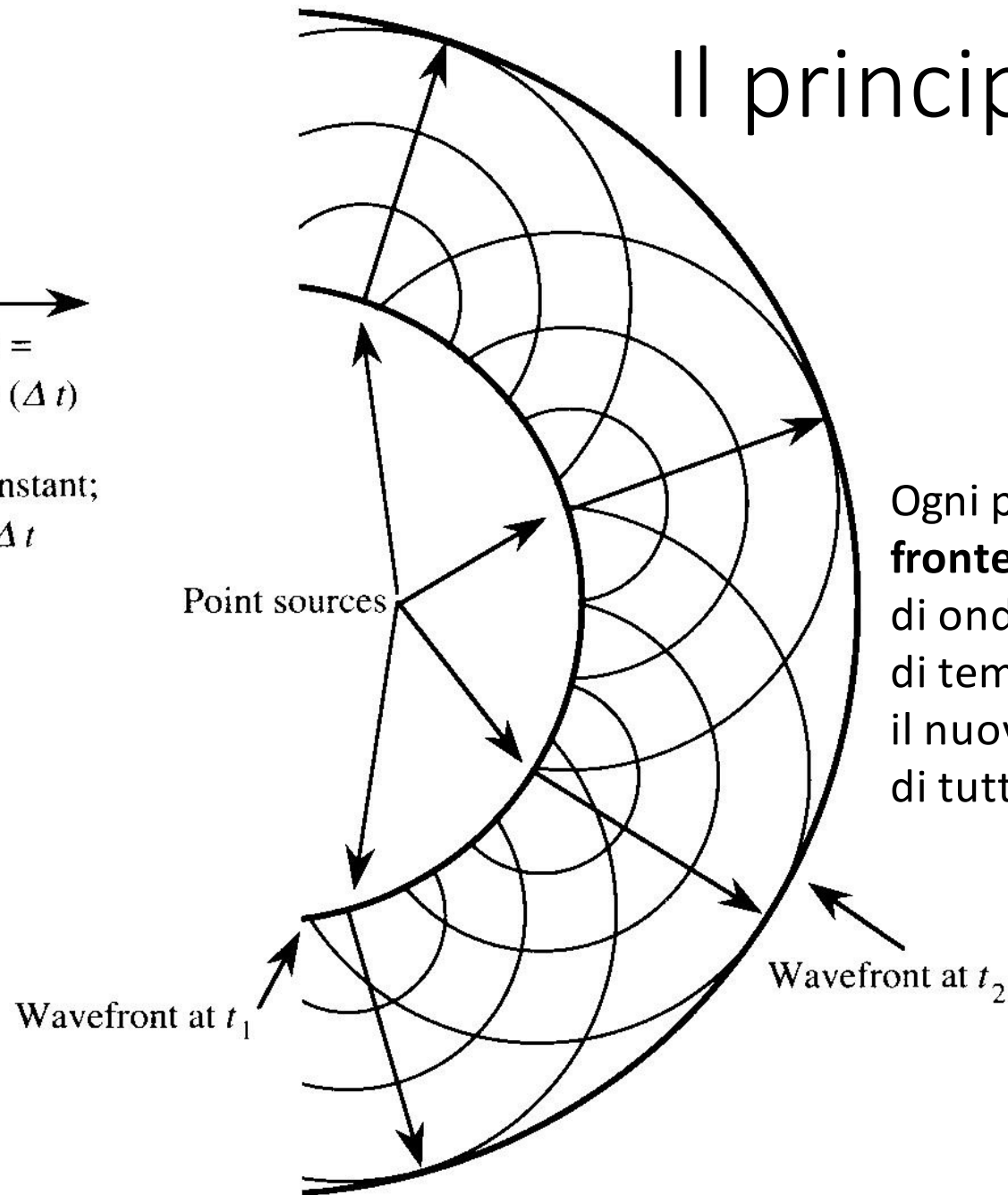
Legge di dispersione  $c = \lambda \nu$



# Il principio di Huygens

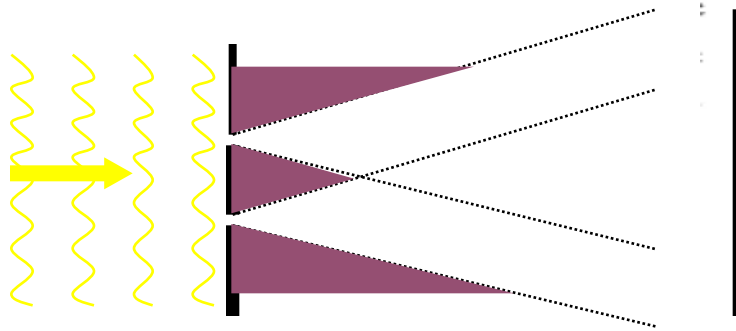
Distance =  
(velocity)  $\cdot$  ( $\Delta t$ )

Velocity is constant;  
 $t_2 = t_1 + \Delta t$



Ogni punto investito ad un istante  $t$  da un **fronte d'onda** diventa esso stesso sorgente di onde circolari (sferiche), che dopo un intervallo di tempo  $dt$  hanno raggio  $r = v dt$ . All'istante  $t+dt$  il nuovo fronte d'onda è costituito dall'involuppo di tutte queste onde elementari.

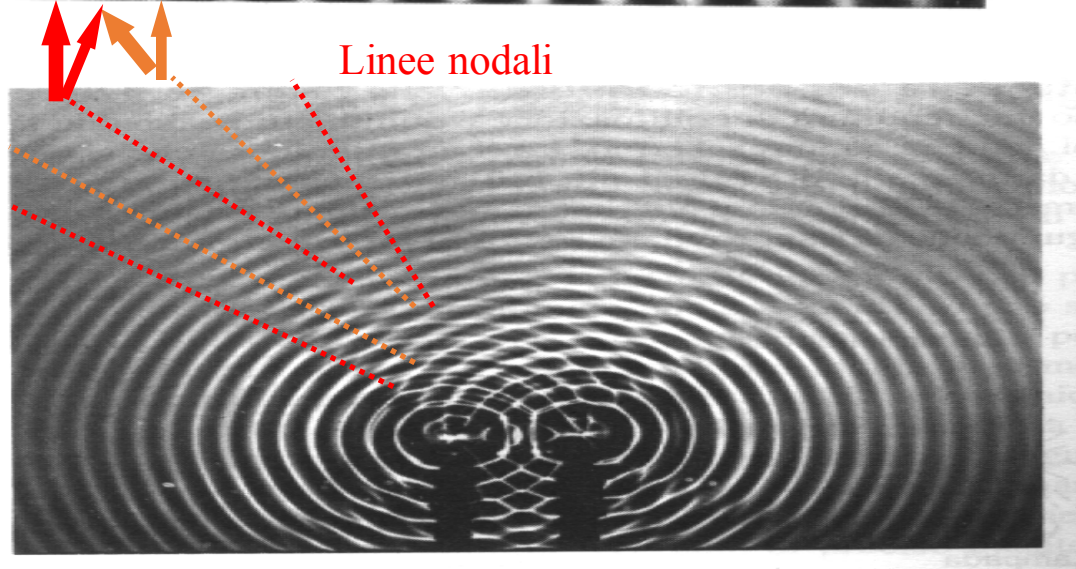
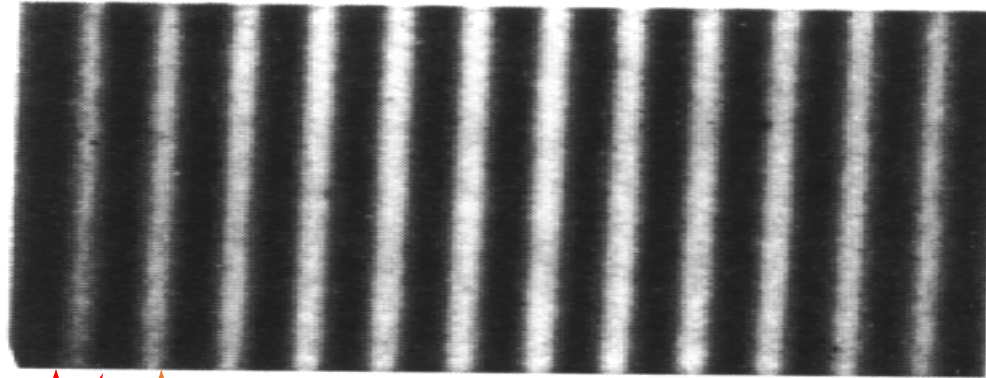
# L'interferenza da doppia fenditura



Esperienza di Young

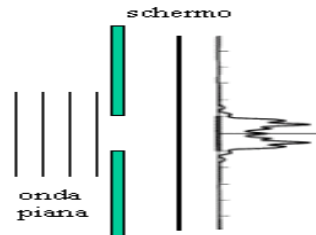
Linee di interferenza  
costruttiva

Interferenza di onde  
meccaniche



Linee nodali

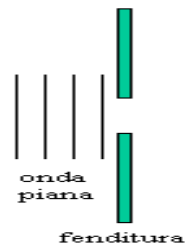
# Diffrazione: interferenza da infinite sorgenti



## Caso generale: Fresnel

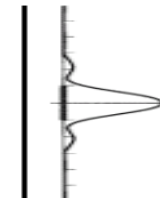
- fronte d'onda qualsiasi
- su apertura/ostacolo qualsiasi
- a distanza qualsiasi dallo schermo

In un punto P dello schermo giungono perturbazioni che differiscono per ampiezza e fase



## Caso semplificato: Fraunhofer

- fronte d'onda piano
- su apertura/ostacolo
- fronti d'onda piani sullo schermo



La distribuzione d'intensità segue la legge

$$I(\theta) = I_0 \left( \frac{\sin z}{z} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad z = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$$

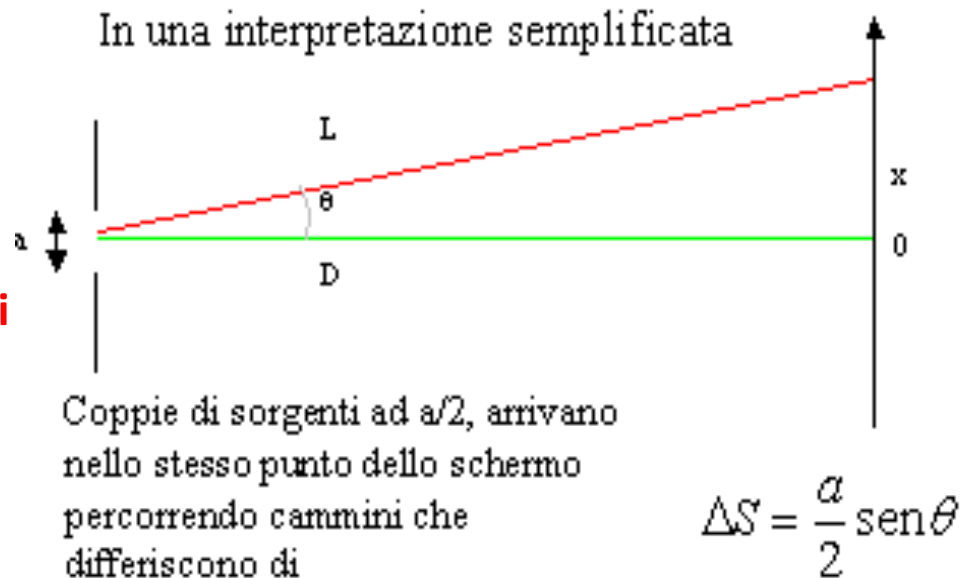
Ci sono minimi per  $\sin z = 0$

$$\rightarrow z = m\pi$$
$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

$$\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} = m\pi$$

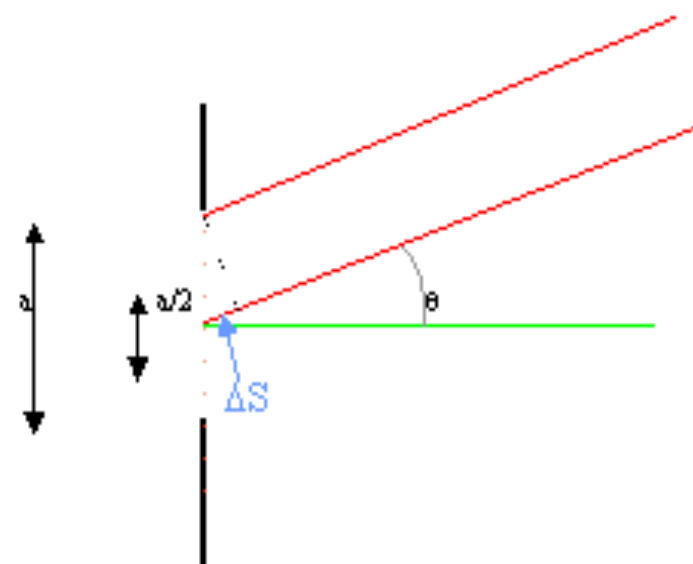
Per  $D \gg a$   
 $\rightarrow L \approx D$

In una interpretazione semplificata



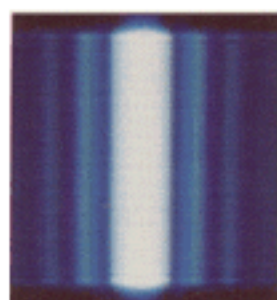
interferiscono distruttivamente se

$$\Delta S = n \frac{\lambda}{2} \quad \frac{a}{2} \sin \theta = n \frac{\lambda}{2}$$



$$\sin \theta = \frac{x}{D} = m \frac{\lambda}{a}$$

## Posizione dei minimi



m	x <sub>m</sub> -x <sub>0</sub> (mm)
1	3.711
2	8.301
3	12.012
4	16.749
5	20.362
6	24.317
7	28.273
8	32.374

$a$  nominale 0.12 mm

misurata:  $0.117 \pm 0.002$  mm

Acquisizione di  $I=I(x)$

a fissata distanza  $D$  fenditura-sensore

per fenditure di ampiezza diversa

si trovano rette di diversa pendenza al variare di  $a$

Determinazione di  $a$  o  $\lambda$

