



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE**



Dipartimento di

**Fisica**

Dipartimento d'Eccellenza 2023-2027

# **Laboratorio di Fisica Computazionale**

## **FIO20004-4**

# **Diffusione dei gas**

**Maria Peressi**

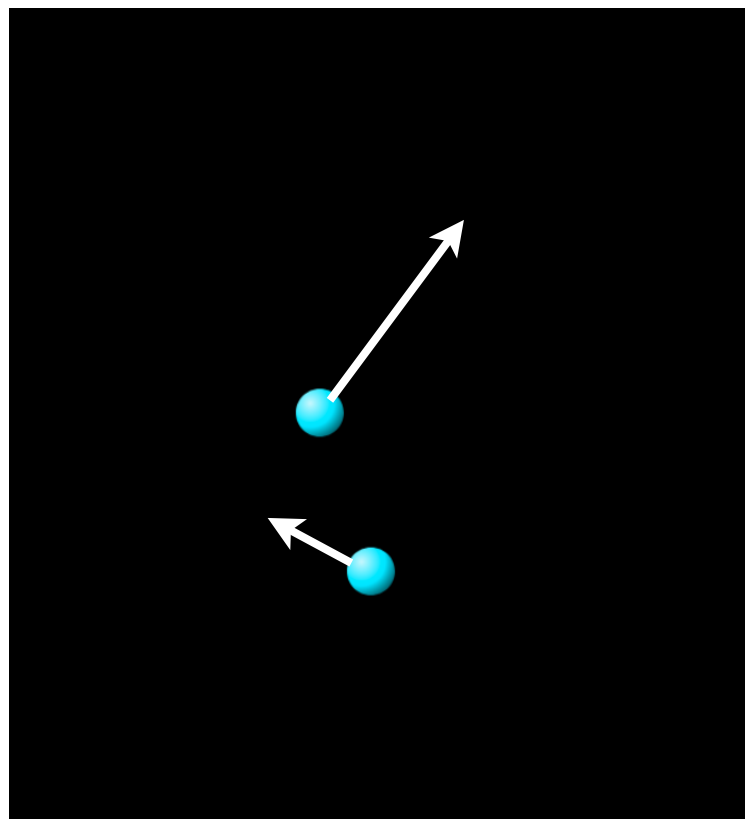
Università degli Studi di Trieste – Dipartimento di Fisica

Sede di Miramare (Strada Costiera 11, Trieste)

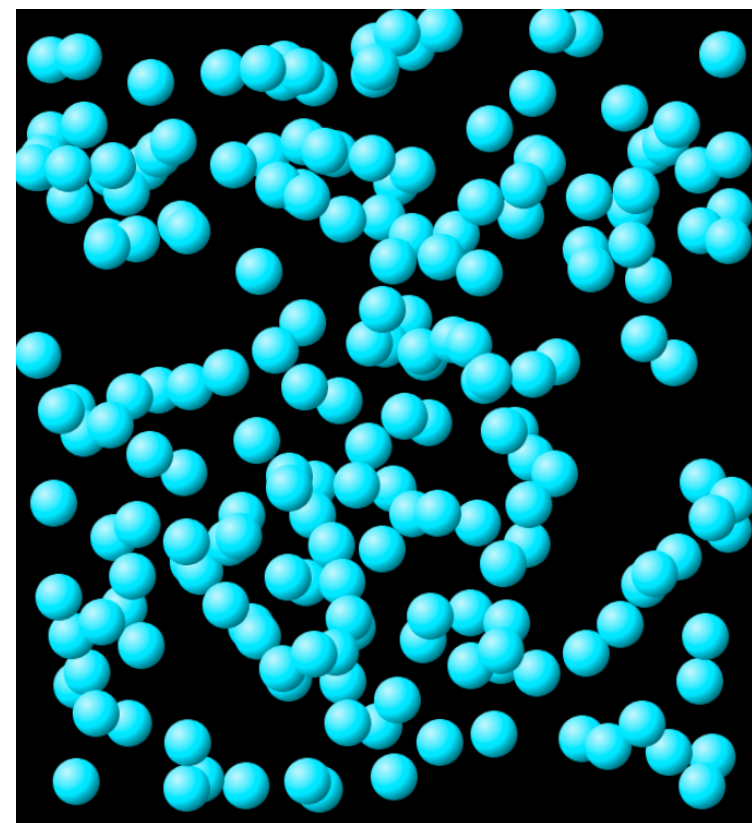
e-mail: [peressi@units.it](mailto:peressi@units.it)

**Proposta di una possibile unità didattica;**  
sistema risolvibile con approccio deterministico (equazioni  
descriventi urti elastici) ma per il quale sono significative solo  
grandezze medie ottenibili con una trattazione statistica

**modello a sfere rigide: come si muovono?**



**una, due...: problema  
(abbastanza) facile**



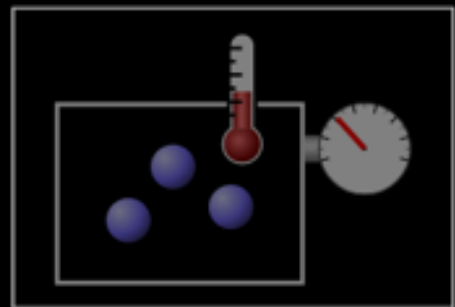
**tante: impossibile  
risolvere “carta e penna”!**

Qualcuno ha scritto per noi un programma che esegue questi calcoli al computer... e noi

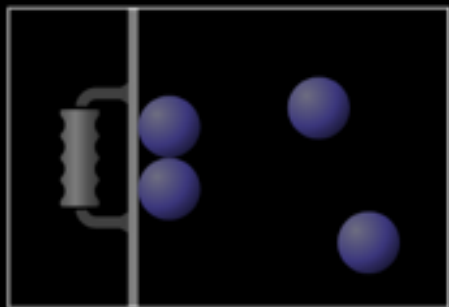
**sperimentiamo!**

- [https://phet.colorado.edu/sims/html/diffusion/latest/diffusion\\_it.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/diffusion/latest/diffusion_it.html)

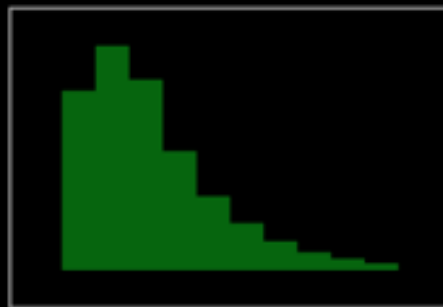
# Proprietà dei gas



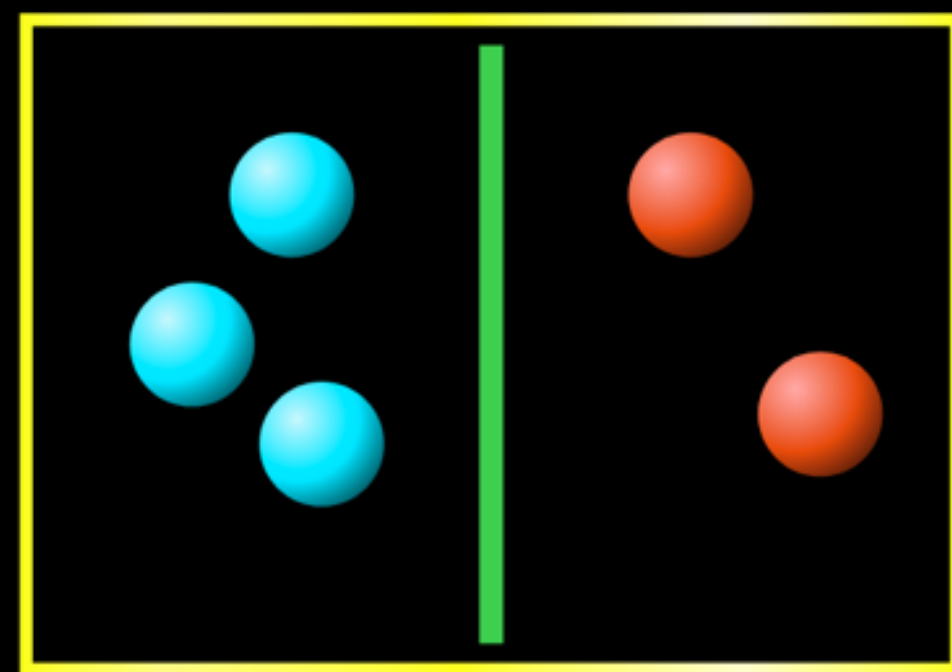
Ideale



Esplora



Energia



Diffusione

**+ Dati**



Numero di particelle

● 0 ▲ ▼ ● 0 ▲ ▼

Massa (UMA)

● 28 ▲ ▼ ● 28 ▲ ▼

Raggio (pm)

● 125 ▲ ▼ ● 125 ▲ ▼

Temperatura iniziale (K)

● 300 ▲ ▼ ● 300 ▲ ▼

Rimuovi divisorio

☐ Centro di massa 

☐ Flusso di particelle 

☐ Scala 

☐ Cronometro 



● Normale

● Lento



Diffusione dei gas

# Un'occhiata alla schermata iniziale

Quali dati possiamo cambiare?  
(input)

Quali risultati otteniamo?  
(output)

Per cominciare:

Sperimenta liberamente per pochi minuti...

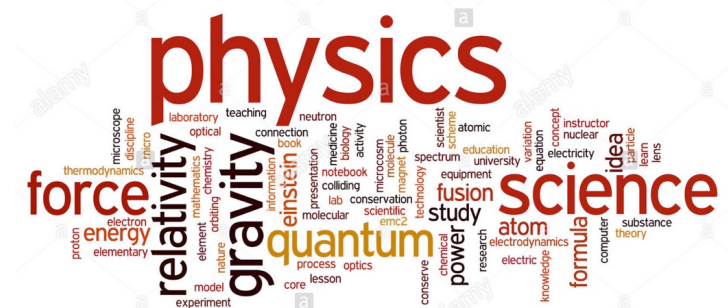
Per cominciare:

Sperimenta liberamente per pochi minuti...

Vai su: [www.menti.com](http://www.menti.com)

inserisci il codice 5294 8926

Scrivi 3 parole che ti vengono in mente per caratterizzare il fenomeno



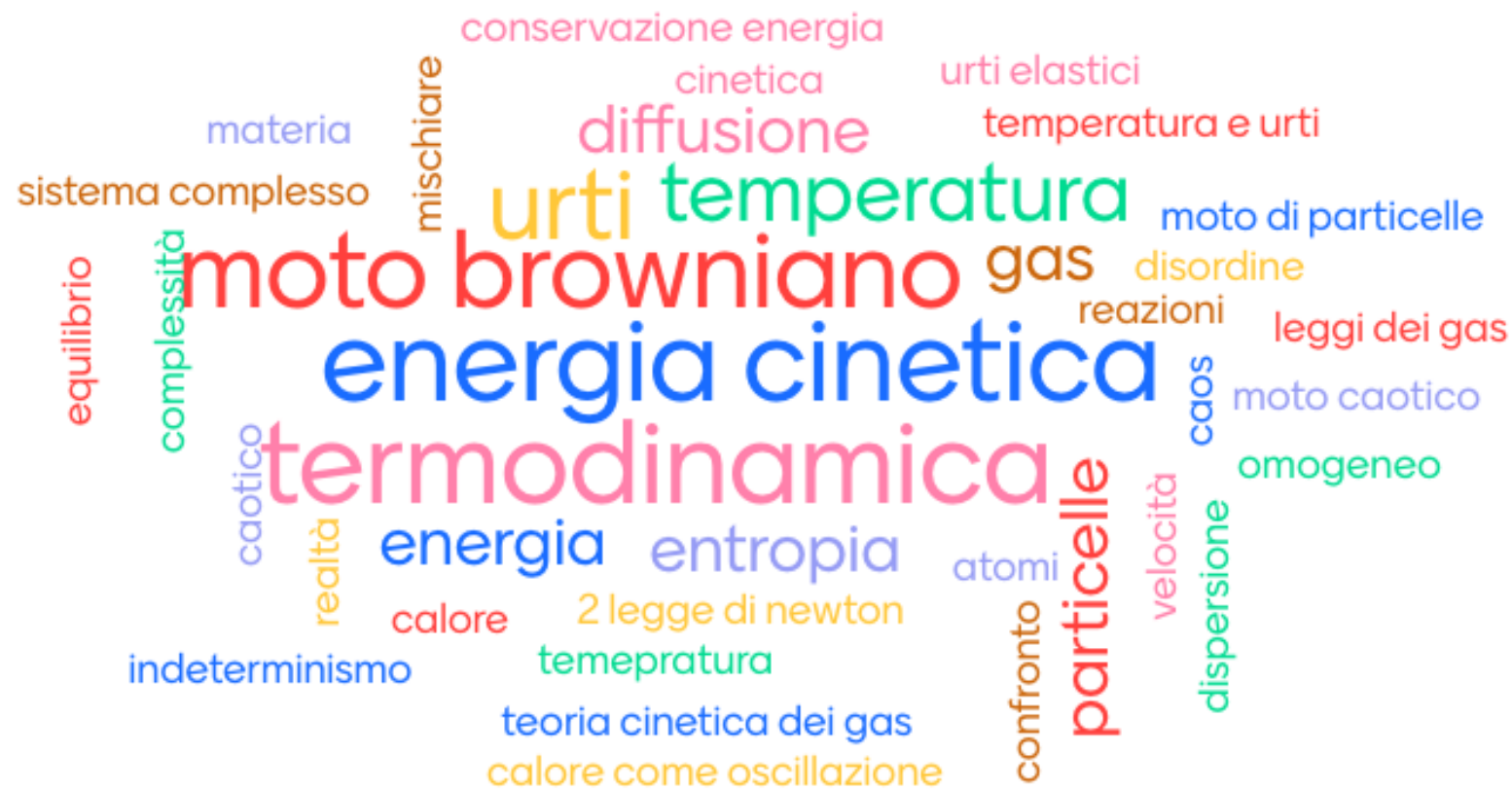
(da un esperimento precedente con un gruppo di studenti tra la IV e V scuola superiore)

Join at [menti.com](https://menti.com) use code 5820 7138

Mentimeter

scrivi 3 parole che ti vengono in mente per caratterizzare il fenomeno che hai osservato

62 Responses



E adesso sperimentiamo più  
seriamente (più sistematicamente)

Una raccomandazione:  
cambiare un solo  
parametro alla volta!

### Nota tecnica:

per il 2° e 3° esperimento (misure di tempi), necessario avere padronanza del cronometro. **Conviene far partire il cronometro a simulazione ferma**, cosicché poi parte automaticamente quando si fa partire la simulazione. Altrimenti non è possibile un controllo accurato. => utile per ragionare sull'inaccuratezza possibile nella “presa dati” per errori umani...

# Esperimento 1: energia e temperatura

Mantendo il divisore, riempi entrambi i compartimenti di un numero identico di particelle. Prepara il sistema scegliendo parametri identici per le due componenti.

1. Utilizzando parametri identici per le due componenti (massa, raggio), aumenta la temperatura di una delle componenti. Cosa osservi?
2. Ristabilisci ora la stessa temperatura e aumenta la massa delle particelle di una delle componenti, mantenendo identico il loro raggio. Cosa osservi? Aumenta quindi il raggio delle particelle di una delle componenti, mantenendo questa volta identica la loro massa. Cosa osservi?
3. Sulla base delle tue osservazioni, a quale forma di energia di energia puoi associare la nozione di temperatura?



**concetto di energia cinetica**

# Esperimento 2: equilibrio

Prepara il sistema inserendo  $N_0 = 200$  particelle nel compartimento di sinistra e svuotando quello di destra. Assicurati che il moto del sistema sia arrestato e toglì il divisorio. Resetta il cronometro e premi sul triangolo presente su di esso. Quindi fai partire il moto del sistema premendo sul triangolo in basso a destra. Misura a intervalli di tempo  $t$  quanto più possibile regolari, il numero  $N(t)$  di particelle che si trova nel compartimento a sinistra, riportando i dati in una tabella come quella qui sotto

| Tempo (ps) | Numero di particelle |
|------------|----------------------|
| ...        | ...                  |

1. Traccia  $N$  in funzione di  $t$ , per esempio su un foglio a quadretti o utilizzando un foglio di calcolo. Cosa osservi? **utile anche una prima visualizzazione "grezza"!!!!**
2. Qual è lo stato di equilibrio del sistema? In quanto tempo il sistema raggiunge un tale stato? Tale tempo è detto "tempo di rilassamento".
3. Ripeti un'altra volta la misura, mantenendo lo stesso numero totale di particelle. Cosa osservi?
4. Inserisci i dati dell'ultima misura nella colonna di tua competenza sul foglio di calcolo a questo link:  
[https://units-my.sharepoint.com/:x/r/personal/4151\\_ds\\_units\\_it/Documents/gas.xlsx?d=wa051b906f767437194b9ae9209253215&csf=1&web=1&e=2eK3jg](https://units-my.sharepoint.com/:x/r/personal/4151_ds_units_it/Documents/gas.xlsx?d=wa051b906f767437194b9ae9209253215&csf=1&web=1&e=2eK3jg)
5. (*Per andare più lontano...*) Varia ora uno alla volta i parametri fisici del sistema: quali di essi influenzano il tempo di rilassamento? In che modo lo fanno?

# Esperimento 2: equilibrio

(esito delle misure del gruppo di studenti)

|    | A      | B   | C      | D   | E      | F   | G      | H   | I      | J   | K      | L   | M      | N   | O      | P   | Q      |
|----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| 1  | Stage1 |     | Stage2 |     | Stage3 |     | Stage4 |     | Stage5 |     | Stage6 |     | Stage7 |     | Stage8 |     | stage9 |
| 2  | t (ps) | N   | t (ps) | N   | t (ps) | N   | t (ps) | N   | t (ps) | N   | t (ps) | N   | t (ps) | N   | t (ps) | N   | t (ps) |
| 3  | 1.1    | 199 | 0      | 200 | 0      | 200 | 1.3    | 194 | 1      | 195 | 0      | 200 | 0      | 200 | 0      | 200 | 6      |
| 4  | 3.2    | 183 | 5.7    | 174 | 2.5    | 185 | 3.3    | 181 | 2      | 193 | 5.2    | 185 | 4.5    | 181 | 2.1    | 192 | 9      |
| 5  | 5.4    | 175 | 10.4   | 153 | 5      | 175 | 5.3    | 173 | 3      | 191 | 10.3   | 159 | 9.5    | 154 | 5.4    | 174 | 13     |
| 6  | 7.5    | 163 | 15.7   | 130 | 7.5    | 162 | 7.6    | 162 | 4      | 185 | 15.4   | 137 | 15.4   | 126 | 8.5    | 162 | 16     |
| 7  | 9.7    | 156 | 20.6   | 111 | 10     | 157 | 10.7   | 151 | 5      | 180 | 20.4   | 114 | 20     | 106 | 11.9   | 153 | 19     |
| 8  | 11.8   | 141 | 25.5   | 97  | 12.5   | 136 | 13.2   | 139 | 6      | 178 | 25.3   | 97  | 25.2   | 99  | 14.8   | 136 | 23     |
| 9  | 14     | 132 | 30.7   | 91  | 15     | 132 | 16     | 124 | 7      | 174 | 30.2   | 82  | 30.7   | 94  | 17.5   | 126 | 26     |
| 10 | 16     | 125 | 35.9   | 94  | 17.5   | 117 | 18.9   | 114 | 8      | 171 | 35.7   | 82  | 34.9   | 100 | 20.6   | 119 | 31     |
| 11 | 18.6   | 117 | 40.6   | 98  | 20     | 113 | 21.3   | 105 | 9      | 167 | 38.1   | 85  | 39.7   | 101 | 28.6   | 91  | 34     |
| 12 | 20.5   | 110 | 45.9   | 108 | 22.5   | 103 | 23.4   | 99  | 10     | 163 | 40.2   | 87  | 45.5   | 107 | 33.7   | 87  | 37     |
| 13 | 22.9   | 98  | 50.1   | 113 | 25     | 94  | 26.8   | 91  | 11     | 159 | 46.4   | 103 | 50.2   |     | 38.2   | 92  | 41     |
| 14 |        |     | 55.6   | 119 | 27.5   | 93  |        |     | 12     | 155 | 52.4   | 111 |        |     |        |     | 44     |
| 15 |        |     | 60.5   | 120 | 30     | 86  |        |     | 13     | 151 | 55.5   | 113 |        |     |        |     | 47     |
| 16 |        |     | 65.5   | 117 | 32.5   | 93  |        |     | 14     | 144 | 59     | 114 |        |     |        |     | 50     |
| 17 |        |     | 70.5   | 110 | 35     | 99  |        |     | 15     | 140 | 63.7   |     |        |     |        |     |        |
| 18 |        |     | 75.5   | 108 | 37.5   | 103 |        |     | 16     | 134 |        |     |        |     |        |     |        |
| 19 |        |     | 80.5   | 105 | 40     | 91  |        |     | 17     | 133 |        |     |        |     |        |     |        |
| 20 |        |     | 85.6   | 102 | 45     | 103 |        |     | 18     | 128 |        |     |        |     |        |     |        |
| 21 |        |     | 90.3   | 99  | 50     | 112 |        |     | 19     | 125 |        |     |        |     |        |     |        |
| 22 |        |     | 95.4   | 98  | 55     | 109 |        |     | 20     | 122 |        |     |        |     |        |     |        |
| 23 |        |     | 100.6  | 104 | 60     | 108 |        |     | 21     | 116 |        |     |        |     |        |     |        |
| 24 |        |     |        |     | 65     | 112 |        |     | 22     | 112 |        |     |        |     |        |     |        |
| 25 |        |     |        |     | 70     | 109 |        |     | 23     | 106 |        |     |        |     |        |     |        |
| 26 |        |     |        |     |        |     |        |     | 24     | 103 |        |     |        |     |        |     |        |
| 27 |        |     |        |     |        |     |        |     | 25     | 103 |        |     |        |     |        |     |        |
| 28 |        |     |        |     |        |     |        |     | 26     | 101 |        |     |        |     |        |     |        |
| 29 |        |     |        |     |        |     |        |     | 26.4   | 100 |        |     |        |     |        |     |        |
| 30 |        |     |        |     |        |     |        |     | 28     | 96  |        |     |        |     |        |     |        |
| 31 |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |
| 32 |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |
| 33 |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |
| 34 |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |

# Esperimento 2: equilibrio

(esito delle misure del gruppo di studenti)

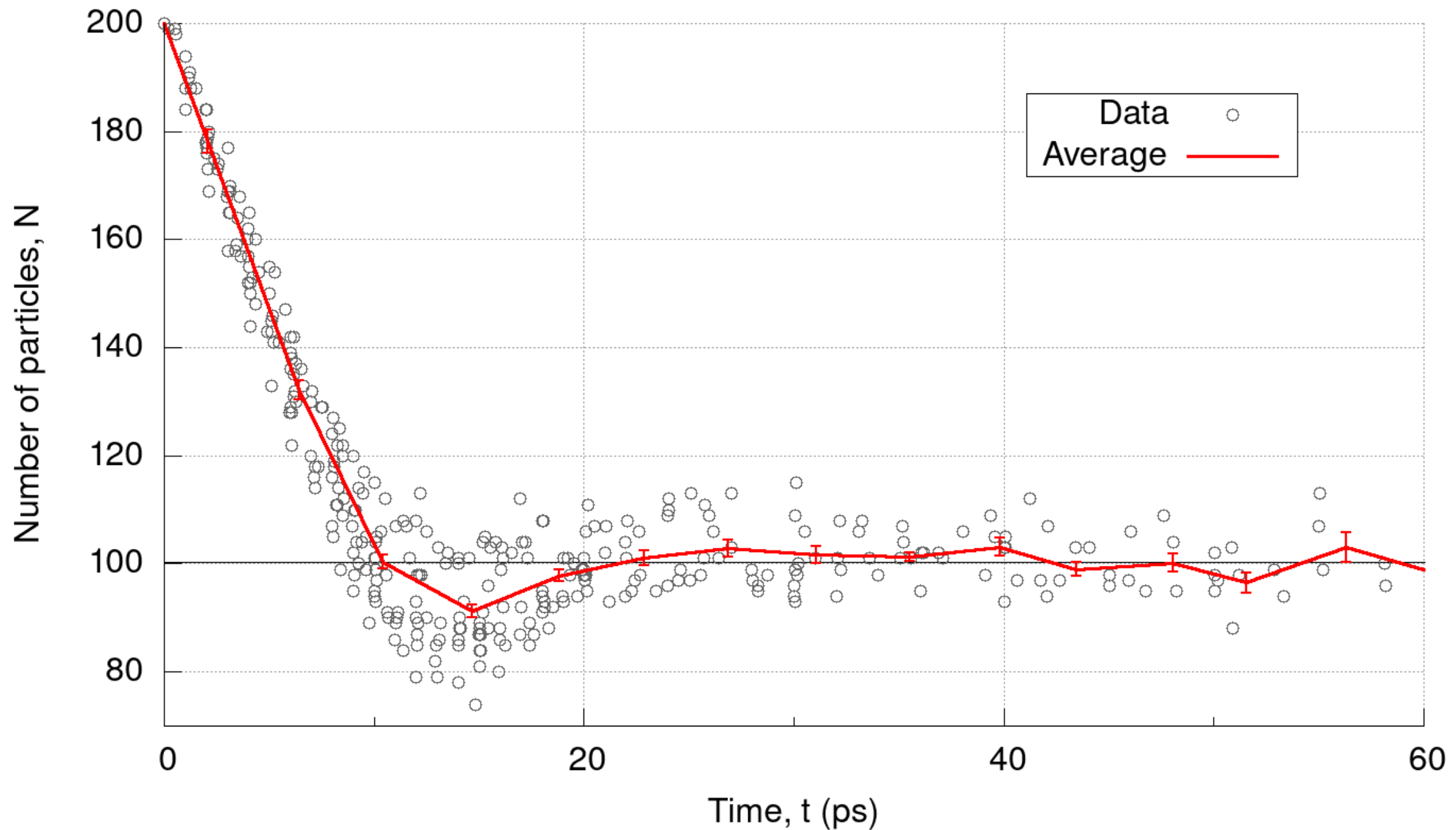
Alcuni commenti:

- qualcuno ha preso pochi dati
- qualcuno ha preso dati troppo avanti nel tempo, saltando la fase transitoria e sostanzialmente campionando solo la fase di equilibrio
- (qualcuno ha preso i dati nella metà destra anziché sinistra - ok, sono completari ma NON si possono mescolare per fare una media!)

Possiamo fare noi la media dei dati presi dagli studenti  
(prossima slide)

# Esperimento 2: equilibrio

(esito delle misure del gruppo di studenti)



# Esperimento 2: equilibrio

(esito delle misure del gruppo di studenti)

Ulteriori commenti:

- si può far notare la **dispersione** dei dati
- e quindi la **necessità di fare delle medie** (anche eventualmente ripetendo da soli più volte l'esperimento!)
- si può chiedere di identificare il tipo di **andamento**, a partire da quello più macroscopico (**esponenziale decrescente**):
- $N_{left}(t) = N_{left}(0) - (N_{left}(0) - N_{eq})(1 - \exp(-t/\tau))$
- per poi osservare che ci sono sempre **fluttuazioni attorno all'equilibrio** e quindi rifinirlo con una funzione oscillante ( $\cos(\omega t)$ , e non  $\sin$  perché altrimenti partirebbe da zero!)

$$N_{left}(t) = N_{left}(0) - \left( N_{left}(0) - N_{eq} \right) \left( 1 - \exp(-t/\tau) \right) \cos(\omega t)$$

... non è facile fare un buon fit su questi dati con una funzione che abbia solo due parametri ( $\tau$  e  $\omega$ )

# Esperimento 2: equilibrio

(esito delle misure del gruppo di studenti)

Variazioni sul tema?

- fare interdiffusione o miscelamento (tenendo le due specie): il rilassamento potrebbe essere un esponenziale semplice. Oltretutto, prendendo i dati per entrambe le specie, raddoppiamo la statistica!
- Oppure sempre l'espansione libera ma con raggi più grandi (per aumentare il numero di collisioni, e quindi termalizzare più rapidamente il gas mentre si espande).

...da provare!

# Esperimento 2 “new”: equilibrio nel miscelamento

Prepara il sistema inserendo 100 particelle nel compartimento di sinistra e 100 particelle in quella destra, con parametri fisici identici. Assicurati che il moto del sistema sia arrestato e togli il divisorio.

1. Qual è lo stato di equilibrio del sistema? Misura, come nell'esperimento precedente, il tempo di rilassamento necessario a raggiungere un tale stato.
2. Confronta il valore del tempo di rilassamento con quello ottenuto nell'esperimento precedente (espansione nel vuoto di una sola componente). Cosa osservi? Prova a fornire un'interpretazione fisica alle tue osservazioni.

# Esperimento 3: tempo di ricorrenza

Prepara un sistema contenente  $N_0 = 10$  particelle nel compartimento a destra e 0 in quello a sinistra. Aumenta la temperatura a  $T = 500K$  e diminuisci la massa a  $4UMA$ . Vogliamo ora misurare il tempo di ricorrenza  $t_N$ , ovvero l'intervallo di tempo tra due eventi successivi del tipo "il compartimento a destra contiene  $N$  particelle".

1. Resetta il cronometro, rimuovi il divisorio e fai partire il cronometro quando il compartimento a destra contiene  $N = 2$  particelle. Fermalo quando il compartimento contiene (per la prima volta) di nuovo  $N = 2$  particelle. Ottieni così una prima misura di  $t_2$ . Ripeti l'esperimento alcune volte, misurando di nuovo  $t_2$ . Cosa osservi? **ragionare anche su  $t_N$  e  $t_{N_0-N}$  ; e quando  $N=0$  o  $N=N_0$  ...**
2. Sulla base delle tue osservazioni, cosa puoi concludere sul modo in cui  $t_N$  dipende da  $N$ ?
3. Se raddoppiamo  $N_0$ , che previsione puoi fare circa il valore di  $t_2$ ? Motiva la tua risposta.
4. Verifica qualitativamente la tua previsione aumentando  $N_0$  e metti in relazione le tue osservazioni con la nozione di irreversibilità.



**concetto emerso dalla sperimentazione "libera"**