



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE**



Dipartimento di

**Fisica**

Dipartimento d' Eccellenza 2023-2027

# Laboratorio di Fisica Computazionale

## FI020004-4

# Diffusione dei gas

**Maria Peressi**

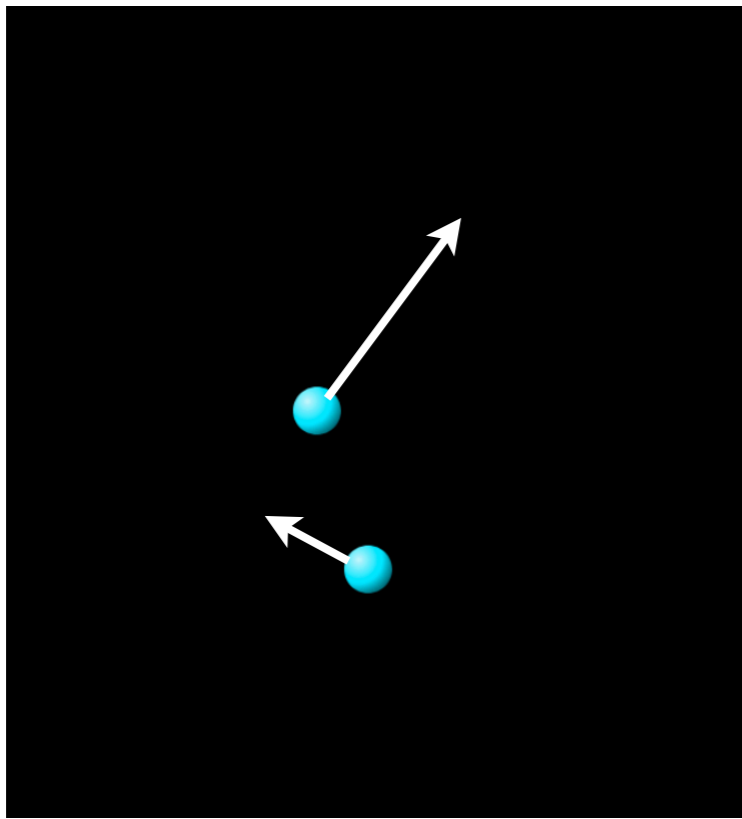
Università degli Studi di Trieste - Dipartimento di Fisica

Sede di Miramare (Strada Costiera 11, Trieste)

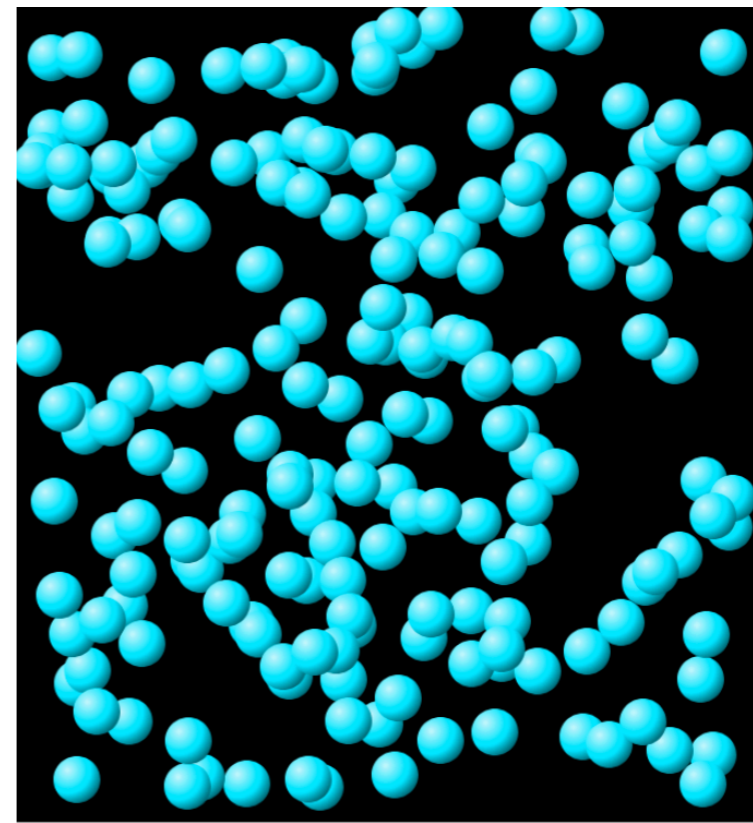
e-mail: [peressi@units.it](mailto:peressi@units.it)

**Proposta di una possibile unità didattica;**  
sistema risolvibile con approccio deterministico (equazioni descrittive 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**



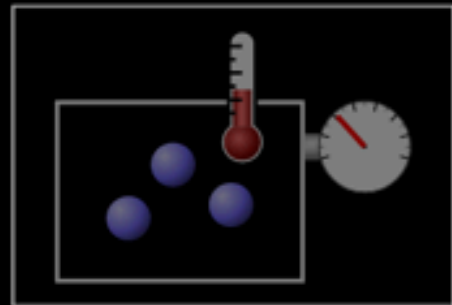
**tante: impossibile  
risolvere “carta e penna”!**

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

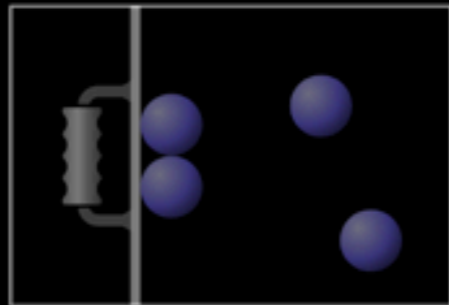
**sperimentiamo!**

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

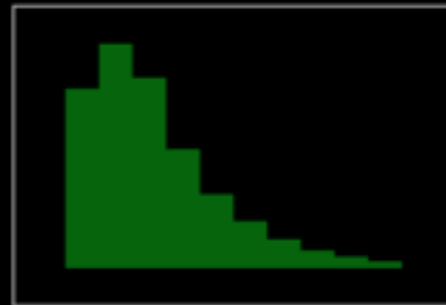
# Proprietà dei gas



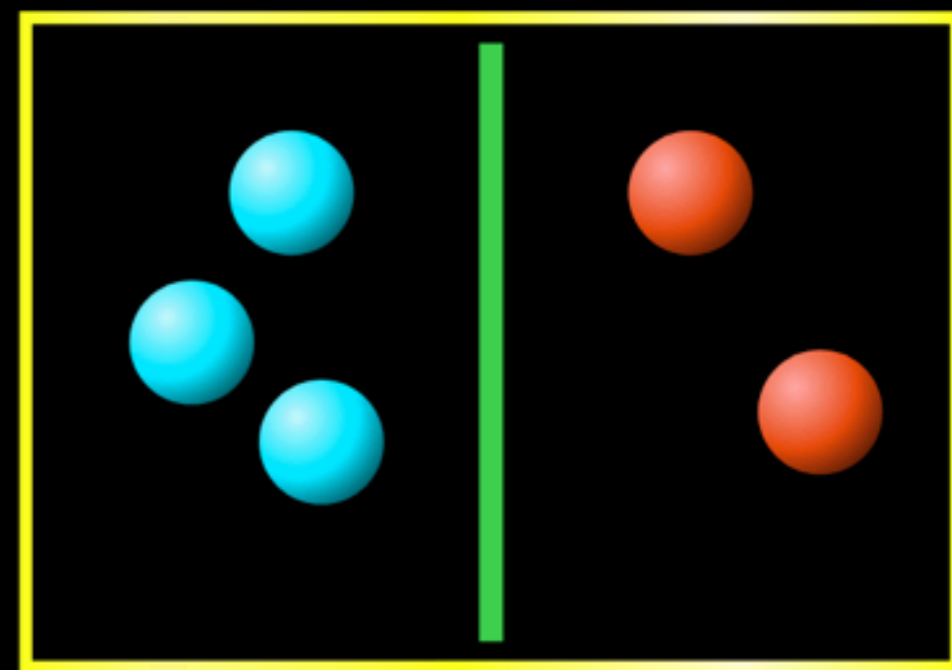
Ideale



Esplora

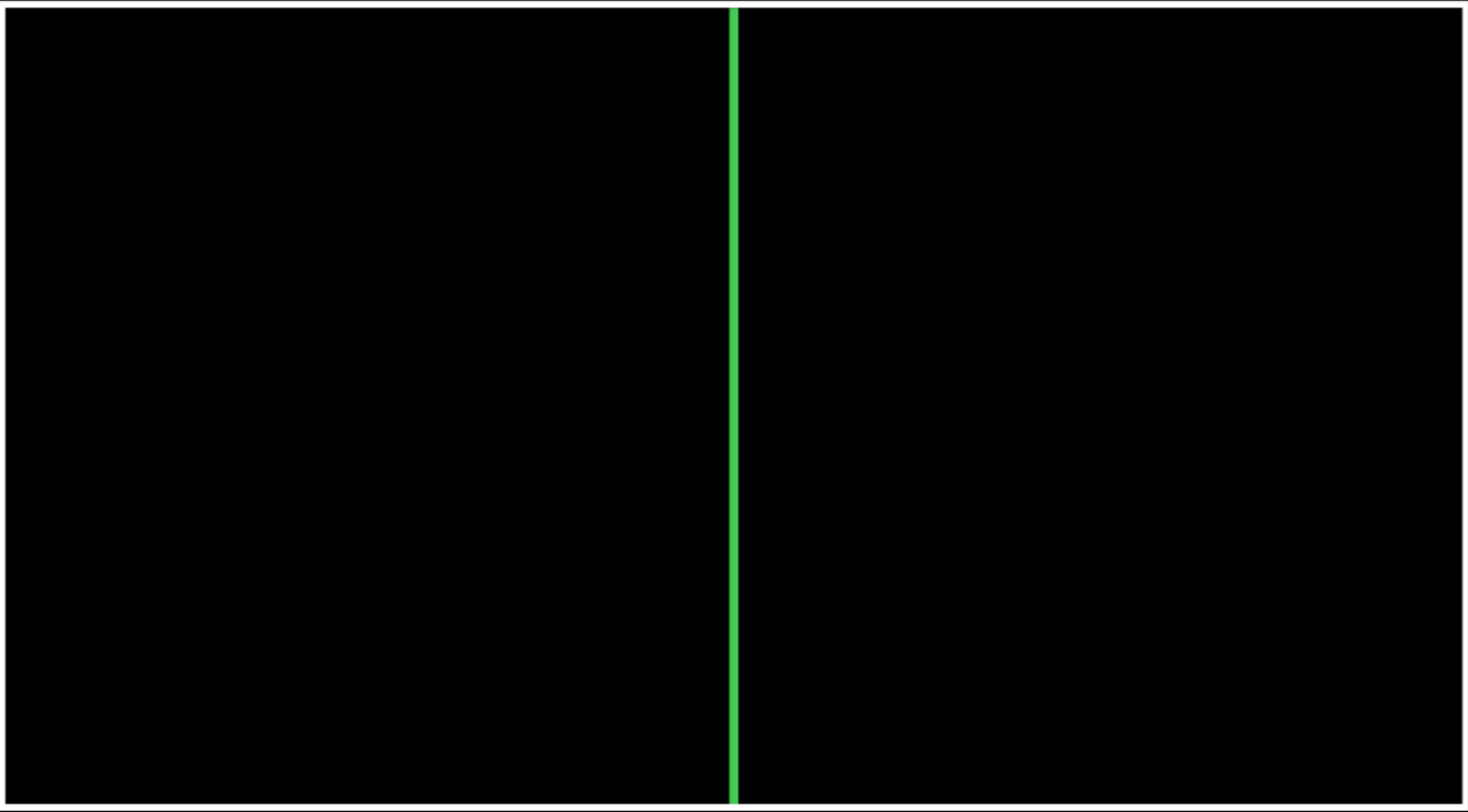


Energia



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 ↻

# Un'occhiata alla schermata iniziale

Quali dati possiamo cambiare?  
(input)

Quali risultati otteniamo?  
(output)

**Per cominciare:**

**Sperimenta liberamente per pochi minuti...**



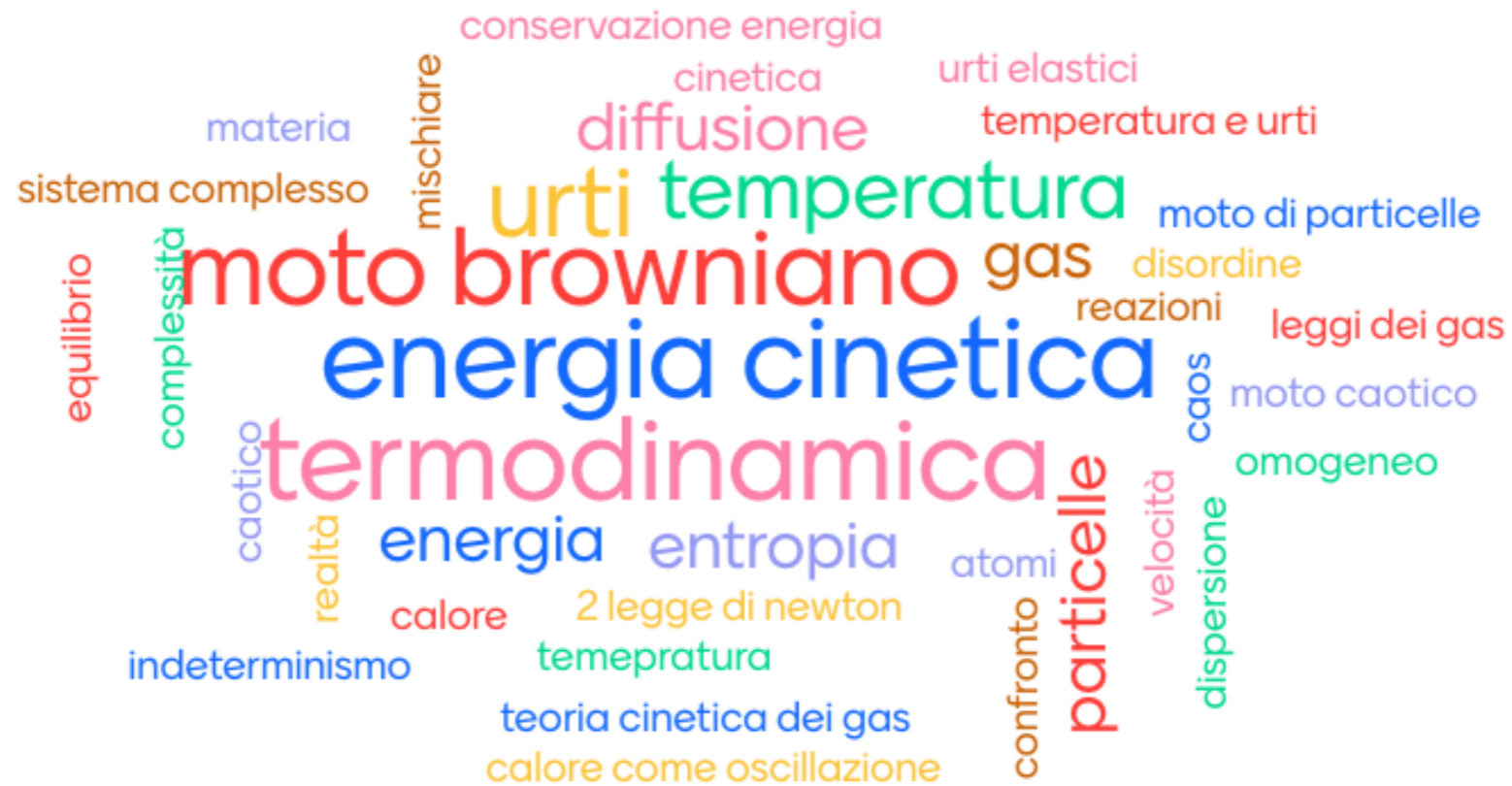


(da un esperimento precedente con un gruppo di studenti tra la IV e V scuola superiore)

Join at [menti.com](https://www.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://lite.framacalc.org/9pds-fisica-2021>
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)

https://lite.framacalc.org/9pds-fisica-2021

Edit Format Sort Audit Comment Names Clipboard Form Graph Anciennes révisions

'Stage1' Search sheet...

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

# Esperimento 2: equilibrio

(esito delle misure del gruppo di studenti)

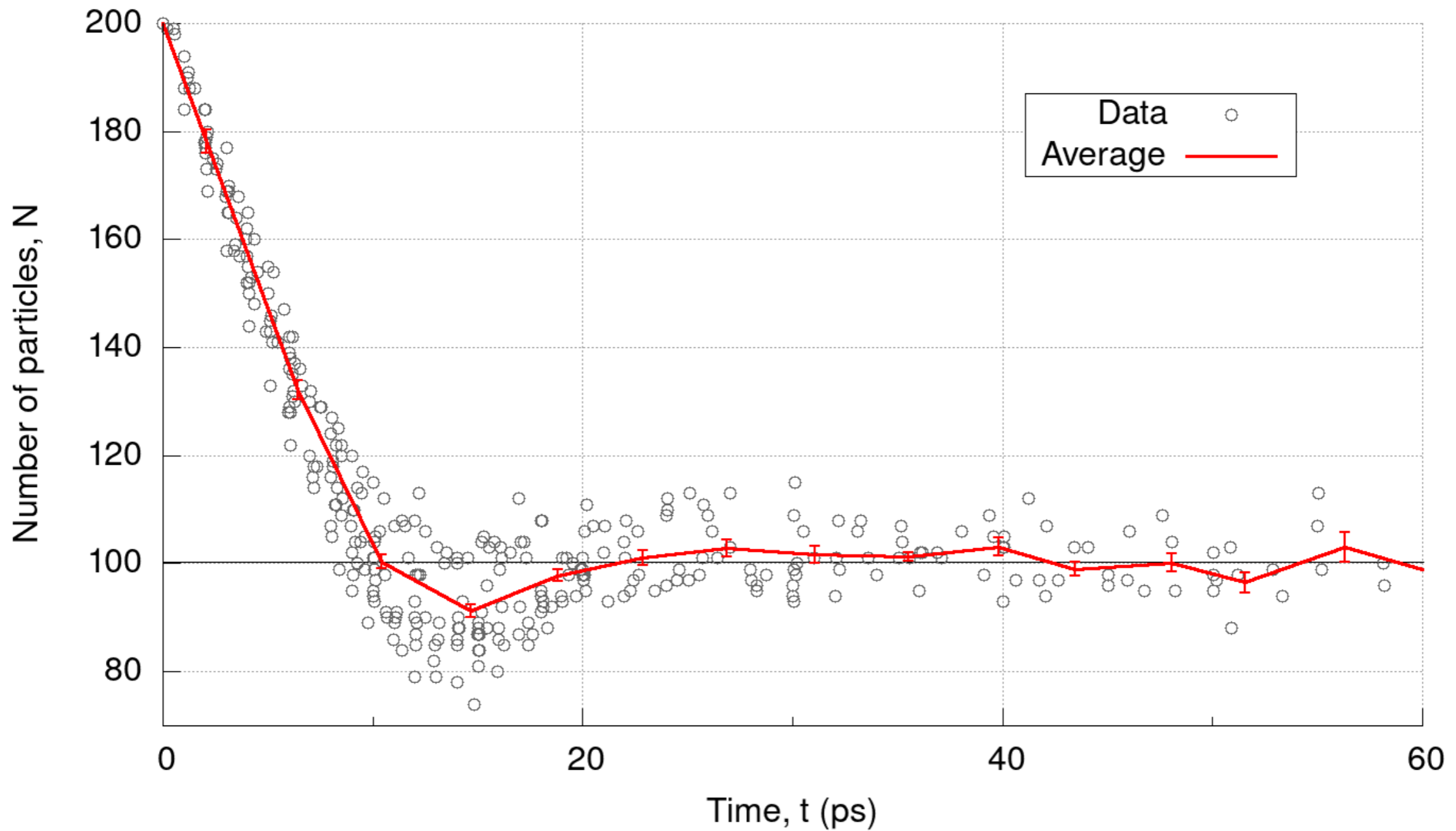
Alcuni commenti:

- 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 ( $\cos(2\pi\nu t)$ ), e non  $\sin$  perché altrimenti partirebbe da zero!

$$N_{left}(t) = N_{left}(0) - (N_{left}(0) - N_{eq})(1 - \exp(-t/\tau))(\cos(2\pi\nu t))$$

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



# 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 toglì 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"**