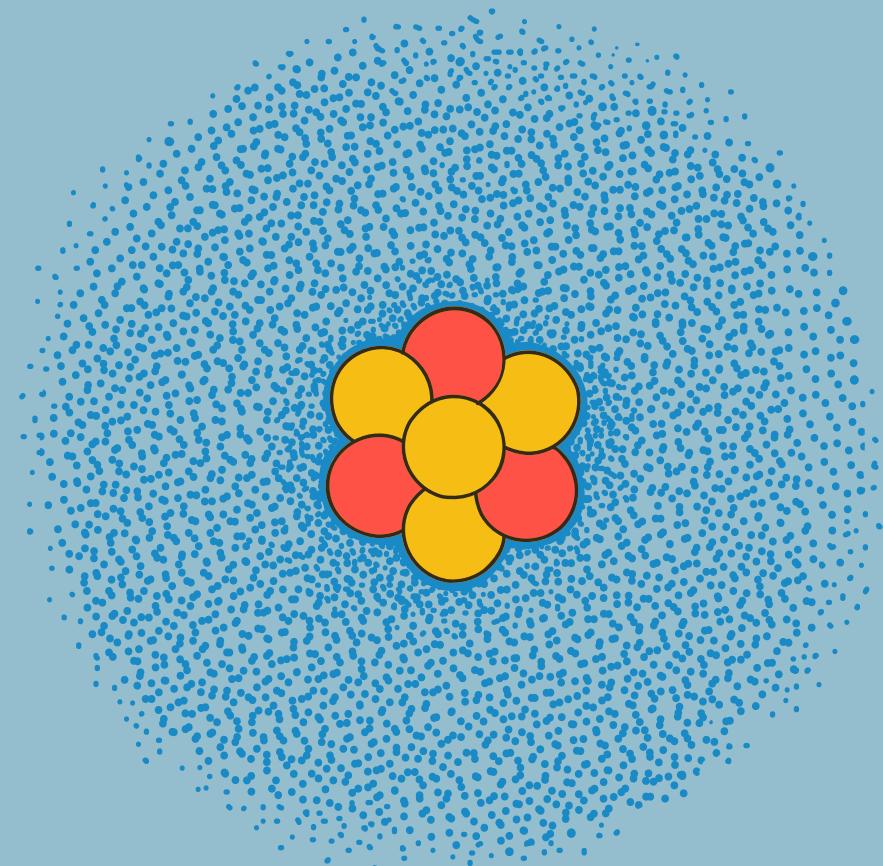


# Londonsche Kräfte

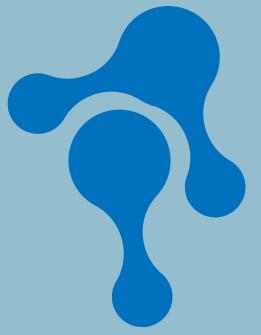
## Physikalisch betrachtet

Eine Einführung in das Verhalten  
unpolarer Moleküle



Johannes-Keppler-Gymnasium Bad-Cannstatt  
10a, Physik 2025  
Yehor Ivko

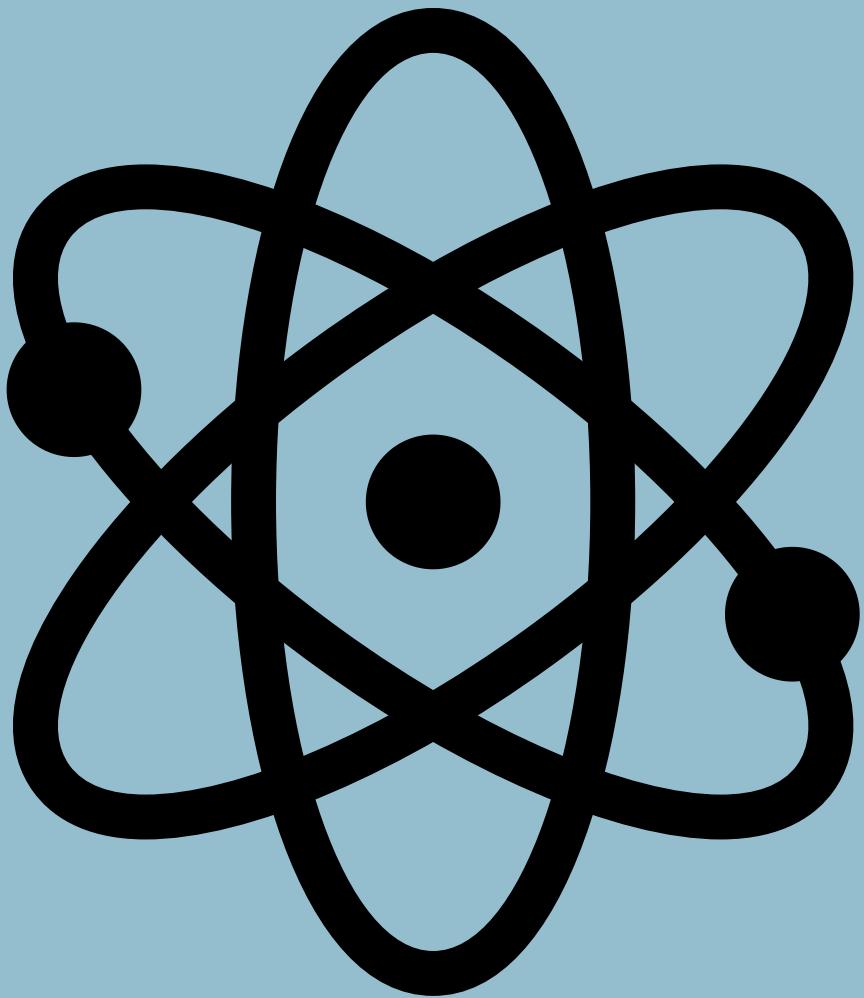


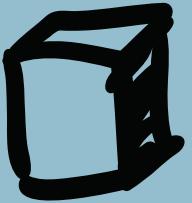
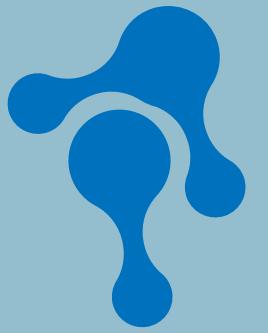


# Kurze Wiederholung

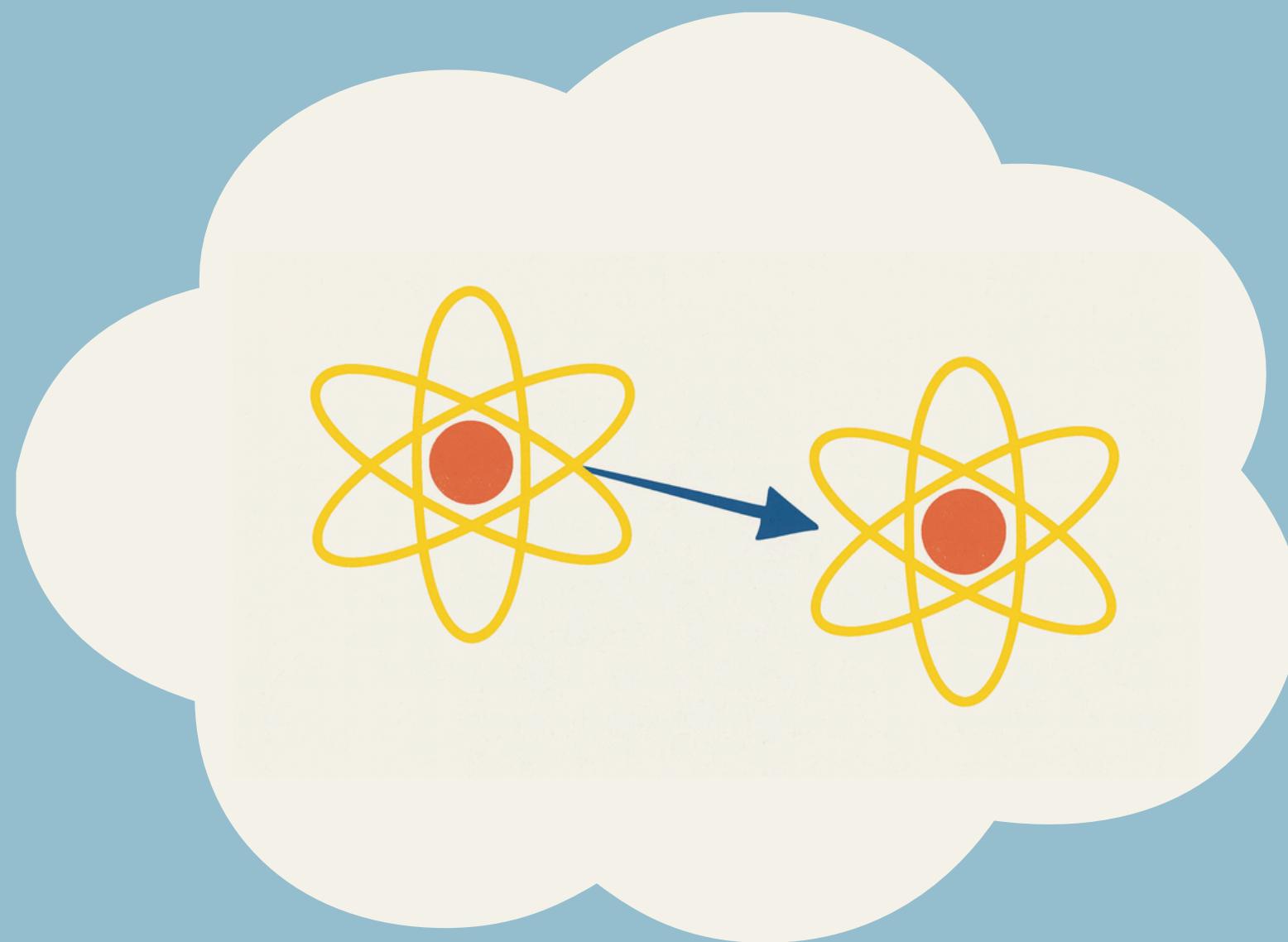
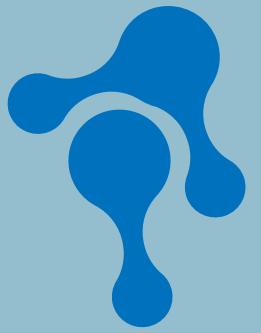
Elektronen wandern ständig in der Atomhülle, wodurch die Ladung ungleichmäßig verteilt wird.

Es entsteht ein temporärer Dipol, was zur gegenseitigen Anziehung zwischen den Molekülen führt.

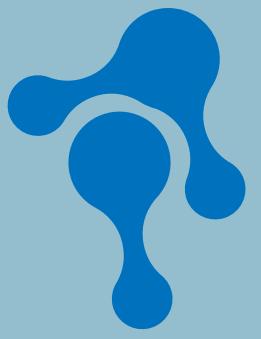




Wait a minute....



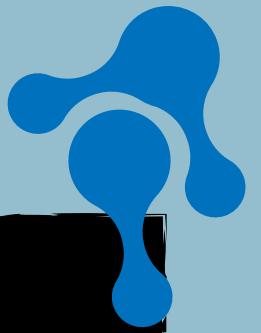
Sollte die  
Wanderung  
zufällig sein,  
würde es keine  
“Netto-Anziehung”  
geben...?



Im Jahr 1785 entwickelte Charles Augustin de Coulomb experimentell sein Gesetz

Er führte eine Reihe von Experimenten mit einer Torsionswaage, um auf die Beziehung zwischen Ladung, Abstand und Kraft zu bestimmen.

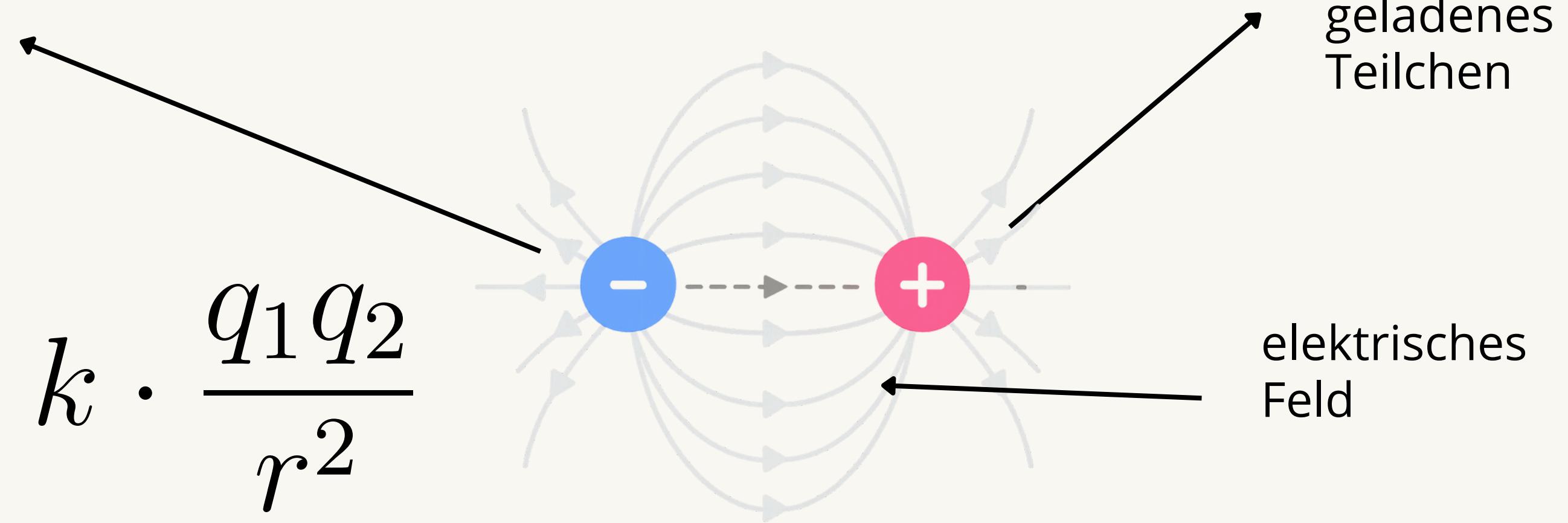




# COULOMB'SCHES GESETZ

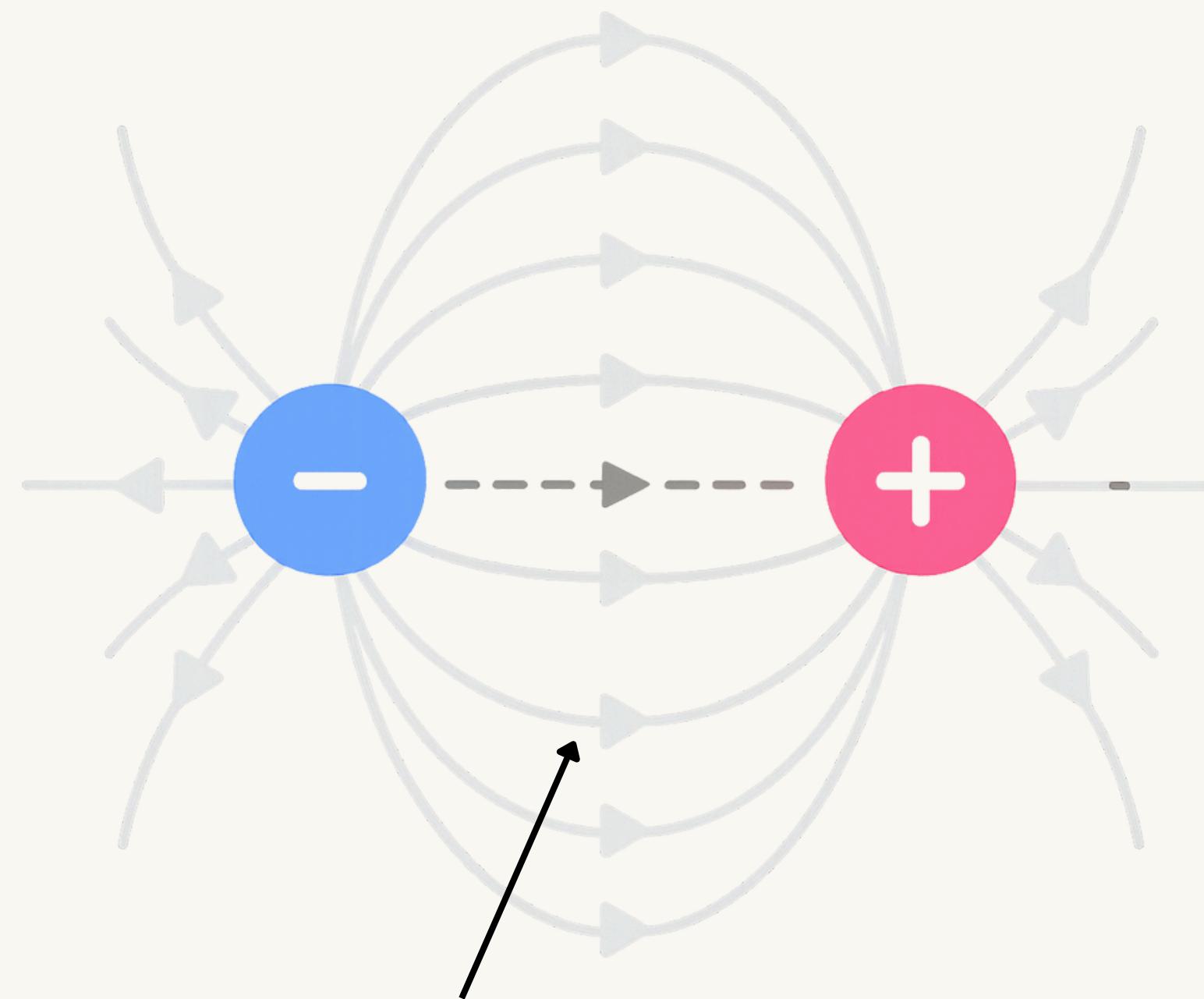
negativ  
geladenes  
Teilchen

$$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



Coulomb'sches Gesetz beschreibt die Wechselwirkung zwischen einem Paar geladener Teilchen.

# ELEKTRISCHES FELD



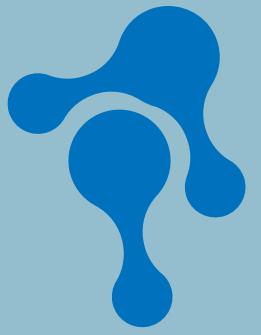
elektrisches  
Feld

Ein elektrisches Feld beschreibt den Raum um eine elektrische Ladung, in dem andere Ladungen eine Kraft erfahren würden.

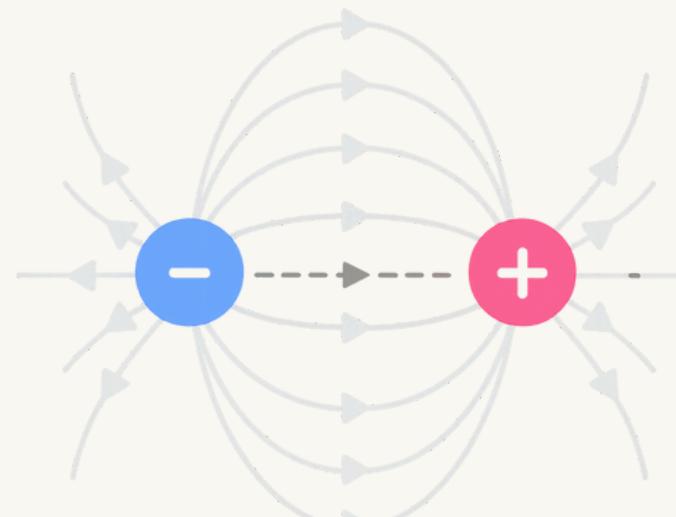
(Potentielle)

Energie:

$$\vec{E}_1(t) \propto \frac{\vec{p}_1(t)}{r^3}$$

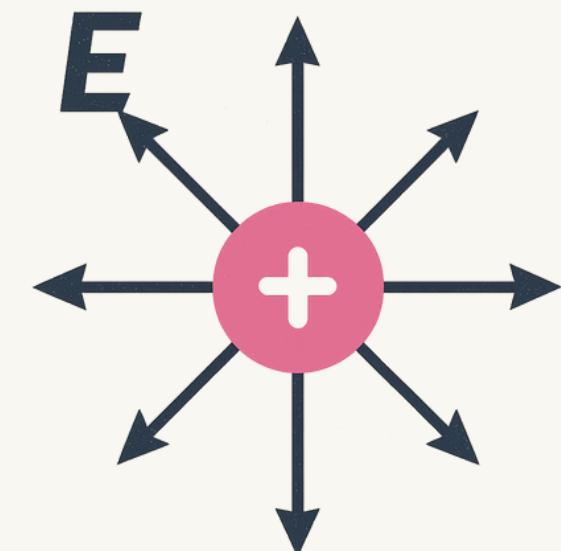


# HERLEITUNG



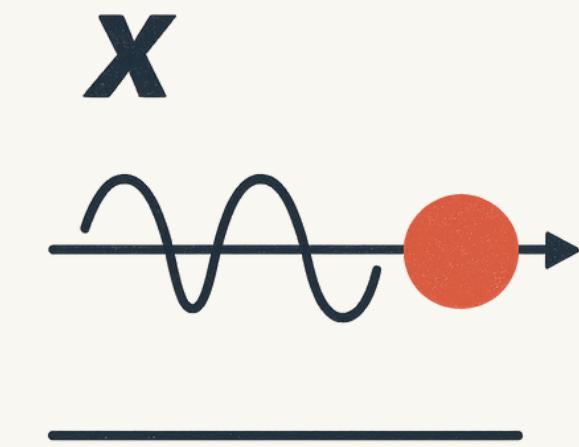
Coulomb'sches Gesetz

$$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



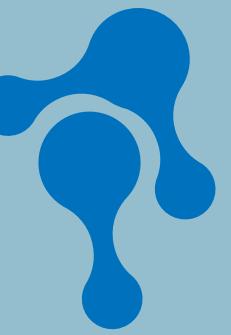
Elektrisches Feld

$$\vec{E}_1(t) \propto \frac{\vec{p}_1(t)}{r^3}$$



Harmonische  
Schwingungen

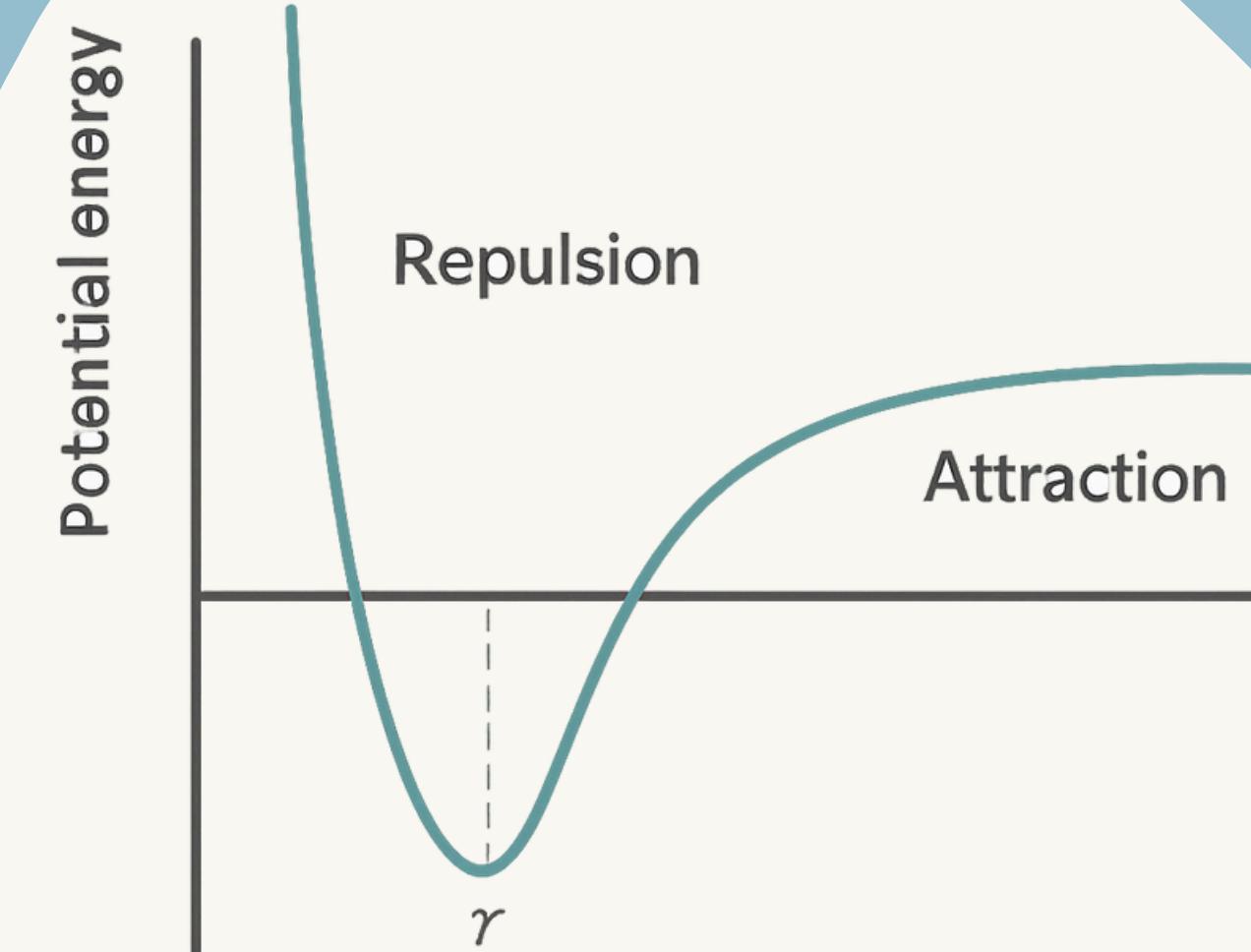
$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$



# Was sind Potentiale?

Potentiale geben an, wie viel Energie zwei(oder mehr) Teilchen haben, basierend auf dem Abstand zwischen ihnen.

Niedrigere Energien weisen auf die Stabilität eines Zustands hin.



Distance between particles



# LENNARD-JONES POTENTIAL

$$U(r) = 4\epsilon \left[ \left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r}\right)^6 \right]$$

Entwickelt von John Lennard-Jones im Jahr 1924.

## ANZIEHUNG

$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^6$$

Dieser Term ist für die Anziehung zweier Moleküle zuständig

## ABSTOSSUNG

$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12}$$

Dieser Term ist für die Abstoßung zweier Moleküle zuständig

DAS KOMMT IRGENDWIE BEKANNT VOR...

## ANZIEHUNG

$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^6$$

Dieser Term ist für die Anziehung  
zweier Moleküle zuständig



# LENNARD-JONES POTENTIAL

$$U(r) = 4\epsilon \left[ \left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r}\right)^6 \right]$$

Entwickelt von John Lennard-Jones im Jahr 1924.

## ANZIEHUNG

$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^6$$

Dieser Term ist für die Anziehung zweier Moleküle zuständig

## ABSTOSSUNG

$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12}$$

Dieser Term ist für die Abstoßung zweier Moleküle zuständig



WOHER KOMMT DIESER TERM?

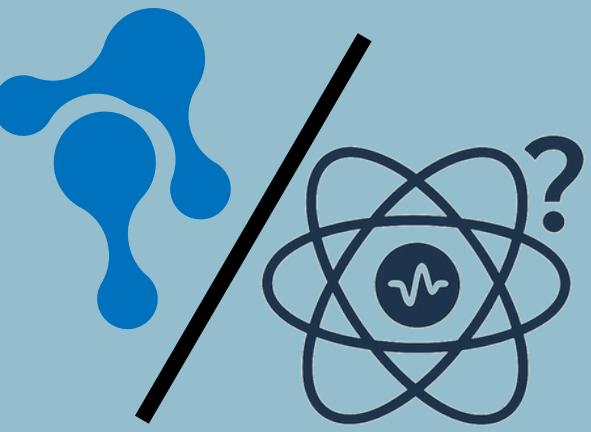
WAS BEDEUTET ES?

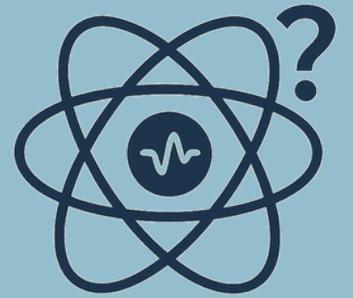


## ABSTOSSUNG

Dieser Term ist für die Abstoßung  
zweier Moleküle zuständig

$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12}$$





## ABSTOSSUNG

Dieser Term ist für die Abstoßung  
zweier Moleküle zuständig

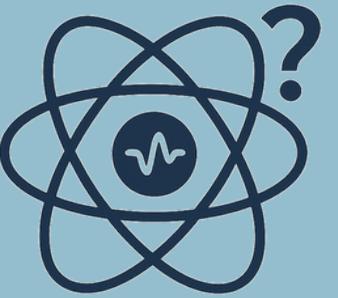
$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12}$$

## PAULI-AUSSCHLUSSPRINZIP

Kein Elektron in einem Atom kann  
denselben Satz von Quantenzahlen  
wie ein anderes Elektron haben.



Wolfgang Pauli



## ABSTOSSUNG

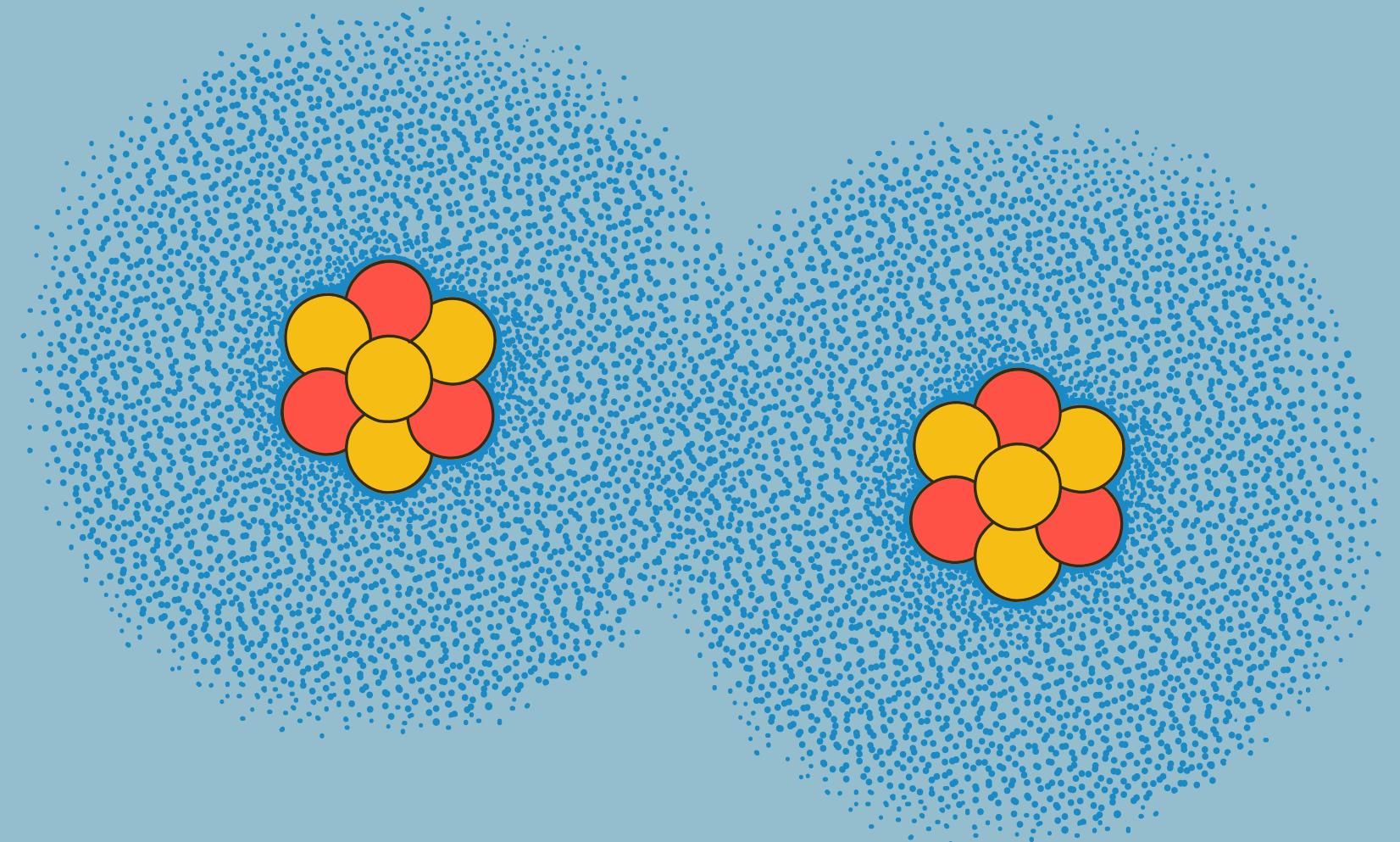
Dieser Term ist für die Abstoßung  
zweier Moleküle zuständig

$$\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12}$$

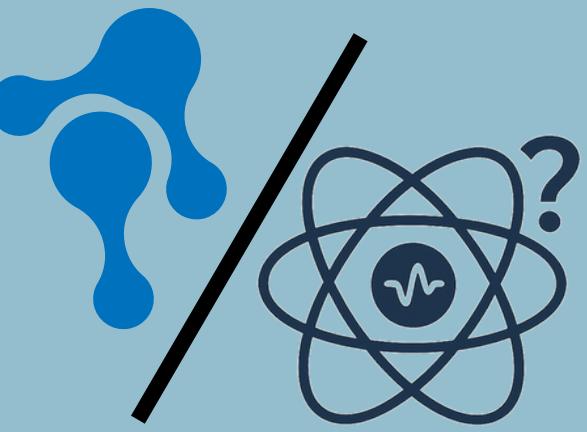
# Welche Folgen hat das für uns?

Die Elektronenwolken stoßen sich  
deswegen ab.

Die Atome erfahren eine Kraft, die  
sehr schnell mit dem abnehmenden  
Abstand zunimmt.



Wolfgang Pauli



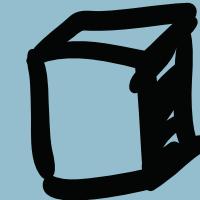
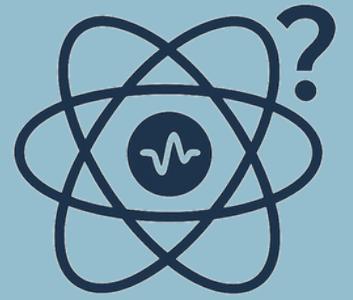
# KEY CONCEPTS

## ANZIEHUNG DURCH LADUNGSUNTERSCHIEDE

Ein elektrostatischer Effekt - Objekte mit gegenseitiger Ladung ziehen sich an

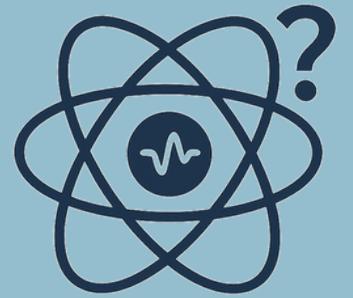
## ABSTOSSUNG WEGEN PAULI- AUSSCHLUSSPRINZIP

Ein quantenmechanischer Effekt - Elektronen können nicht den gleichen Zustand haben

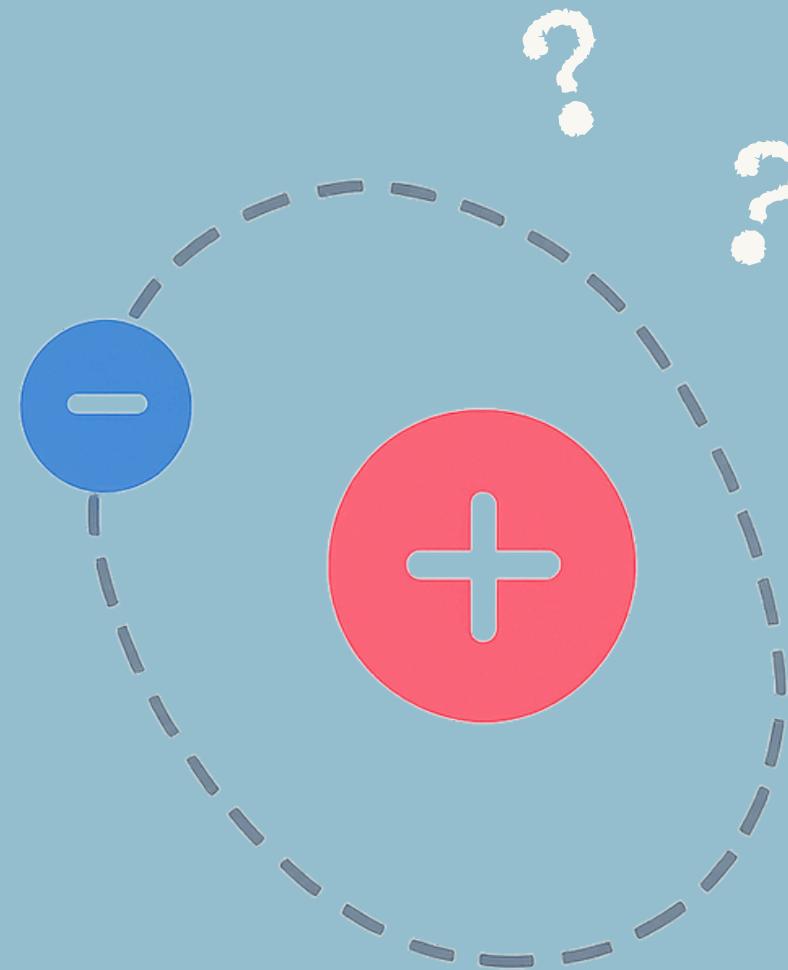


Wait a minute....

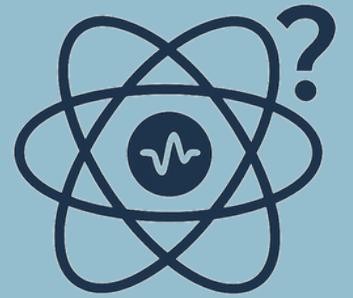
(wieder)



“Objekte mit gegenseitiger Ladung  
ziehen sich an”



WARUM KOLLABIEREN DIE  
ELEKTRONEN NICHT IN  
DEN ATOMKERN?

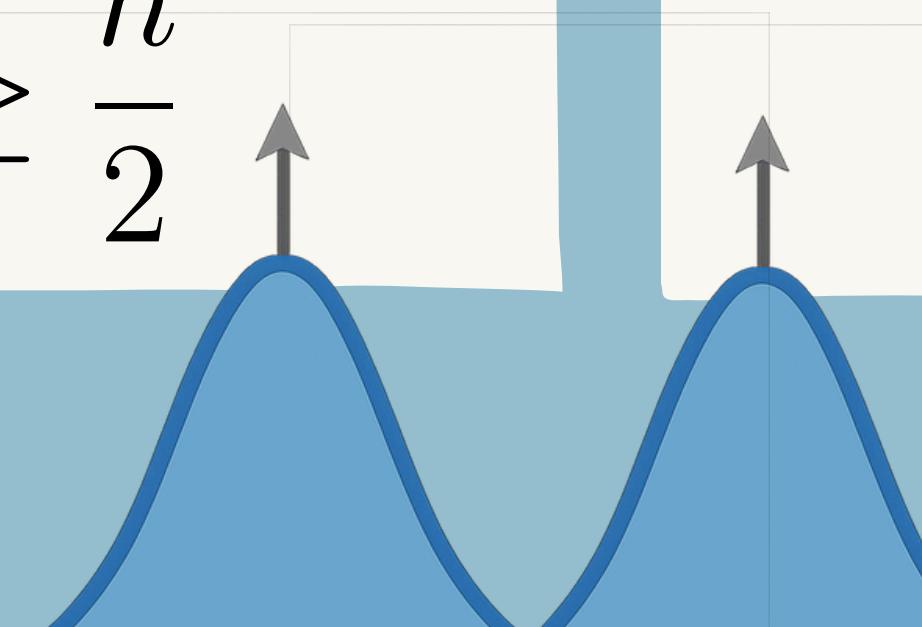


# KEY CONCEPTS

## HEISENBERGSCHE UNSCHÄRFERELATION

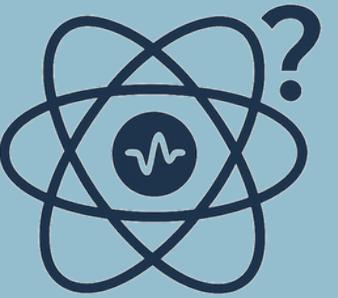
Es ist unmöglich gleichzeitig die Geschwindigkeit und die Position eines Teilchen zu wissen

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$



## VAKUUMFLUKTUATIONEN

Die Elektronen werden durch Wellenfunktionen beschrieben. Dabei ist ein Elektron eine quantenmechanische Welle (stehende Welle)



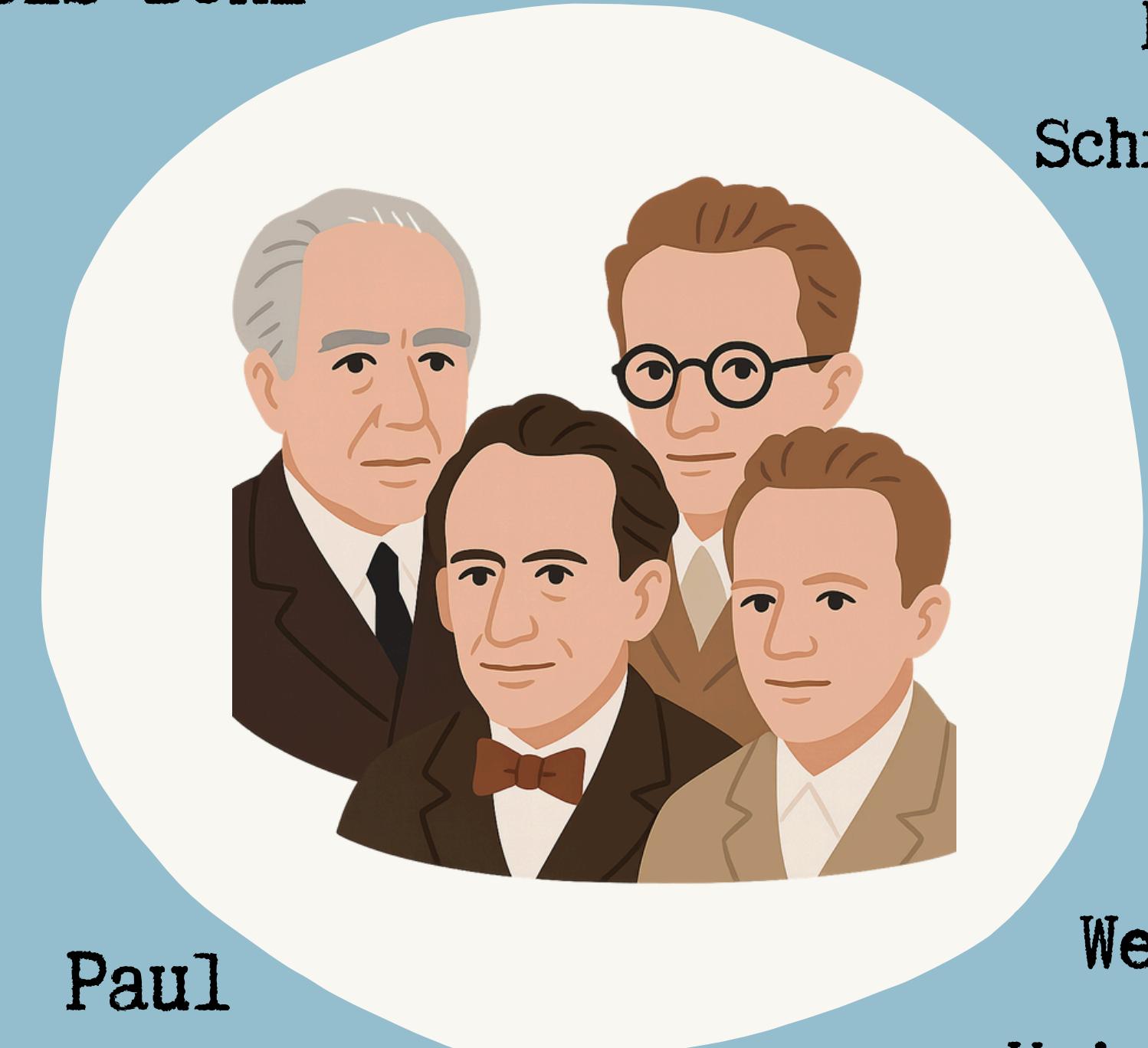
Erwin  
Schrödinger

# Quantenmechanik erklärt das!

Elektronen sind eigentlich keine Teilchen in dem Sinne wie wir es uns vorstellen.

Dazu könnt ihr selber im Internet ein paar Videos anschauen. Das macht Spaß, promised!

Niels Bohr

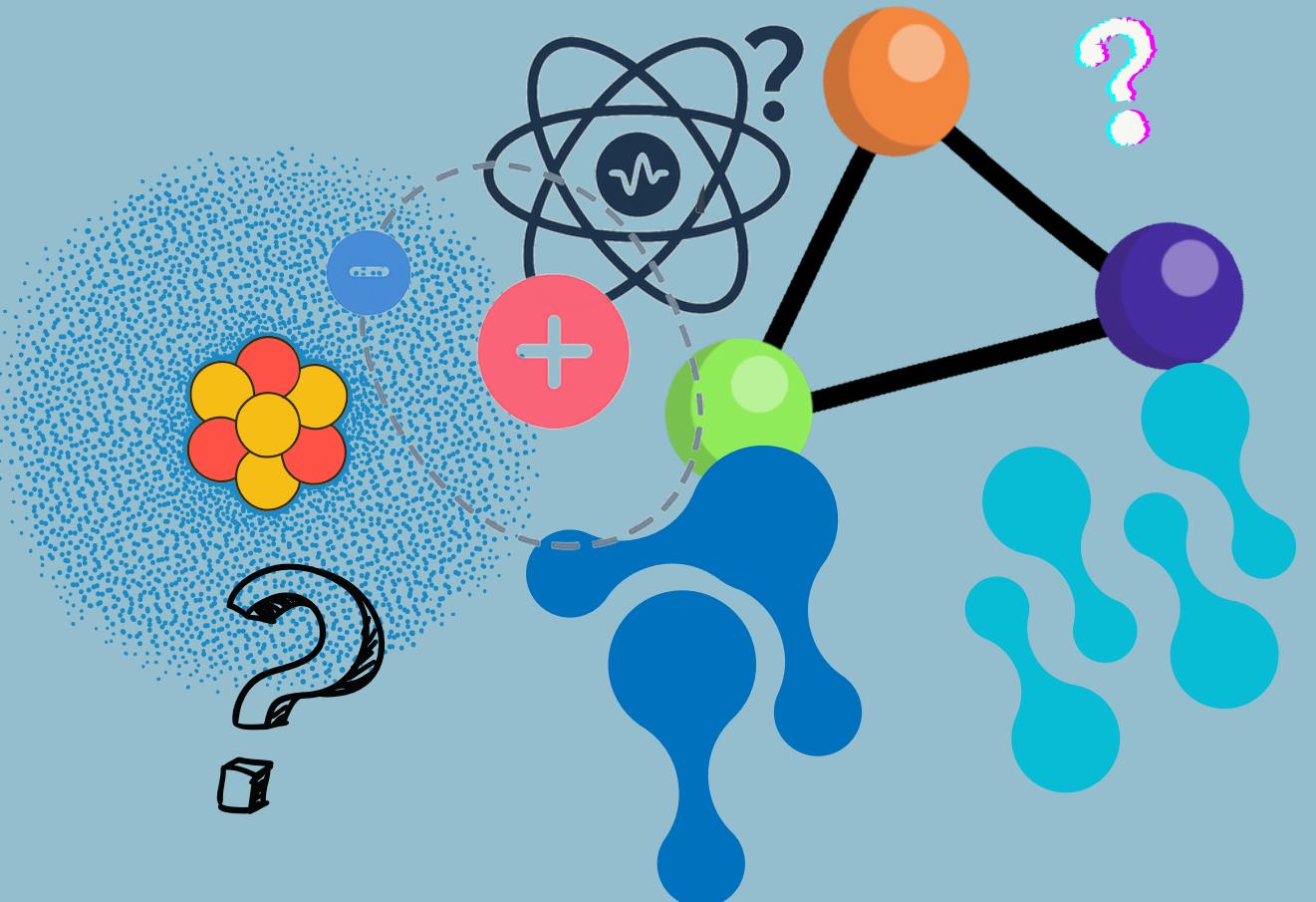
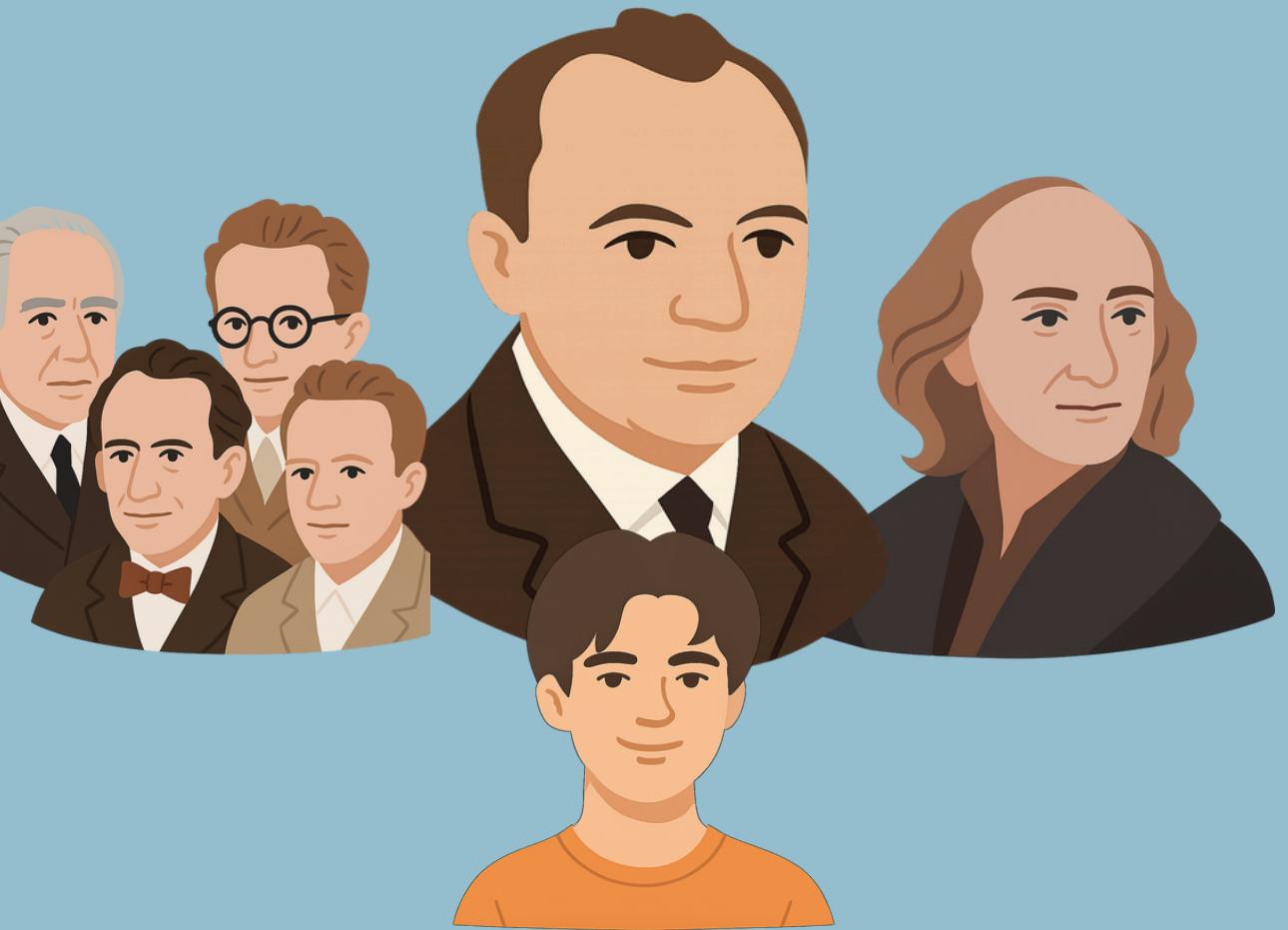


Paul  
Dirac

Werner  
Heisenberg

**Vielen Dank für  
Eure  
Aufmerksamkeit!**

Auf dem Handout findet ihr die wichtigste Information zum Thema und einige Screenshots der Simulationen!



# Quellen

## Inhalt/Wissen:

- UNIVERSITY PHYSICS VOL I, II, III
- PHYSICS VOL I, II - RESNIK, HALLIDAY, KRANE
- INTRODUCTION TO QUANTUM MECHANICS - DAVID J. GRIFFITHS
- INTRODUCTION TO ELECTRODYNAMICS - DAVID J. GRIFFITHS
- [https://en.wikipedia.org/wiki/London dispersion force](https://en.wikipedia.org/wiki/London_dispersion_force)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Lennard-Jones potential](https://en.wikipedia.org/wiki/Lennard-Jones_potential)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum dynamics](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_dynamics)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Van der Waals force](https://en.wikipedia.org/wiki/Van_der_Waals_force)
- ORPHEUS SEMINAR IN JENA: VORTRÄGE QUANTENMECHANIK I, II, III

## Simulationen/Rechnungen:

Selbstgemacht - die Mehrheit ist auf

<https://www.youtube.com/cn3sto447>  
verfügbar

## Abbildungen/Template:

- Canva Template ("What is visible light?") -

## Inspiration:

<https://www.canva.com/templates/EAGPIIQQX970/>

- Abbildungen: ChatGPT generiert

## Einige Graphik-Elemente:

<https://www.canva.com/graphics/>

Hydrogen 1s Orbital (Probability Cloud)

