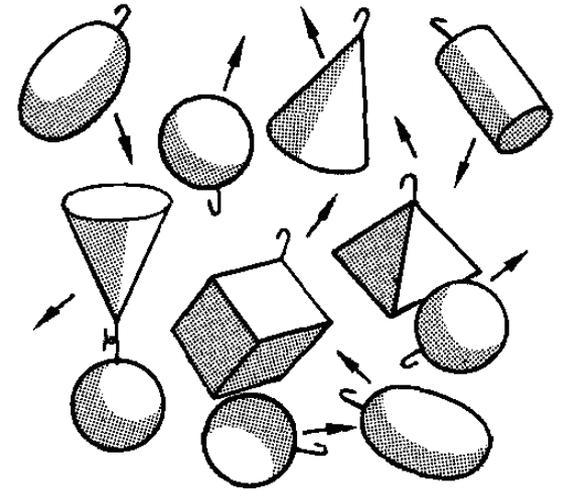
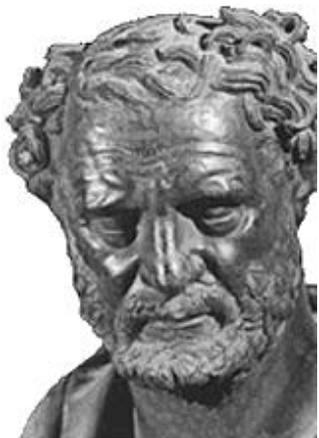


Atome und kinetische Gastheorie

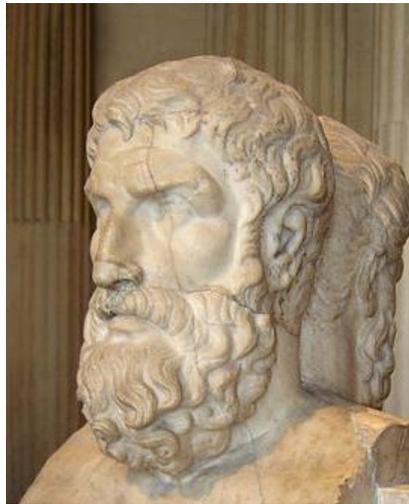
1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. Atome in der Chemie
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte
5. Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik
6. Ludwig Boltzmann
7. Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?
8. Sichtbarmachung von Atomen



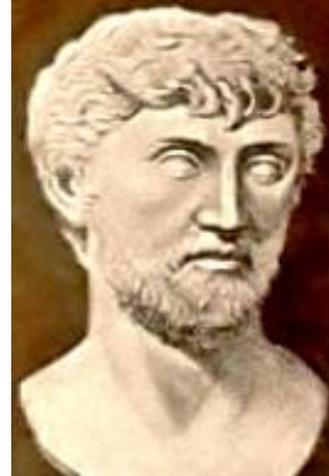
„Atomisten“ in der Philosophie



Demokrit (um 460 – um 371 v.Chr.)



Epikur (um 341 – um 270 v. Chr.)



Lukrez (um 95 – um 54 v. Chr.)



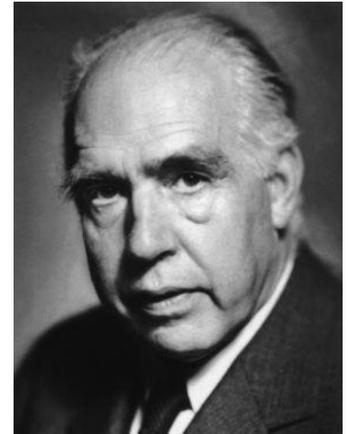
Al-Rashid Mausoleum in Tus, Iran mit dem Grab von Al-Ghazali (1058 – 1111)



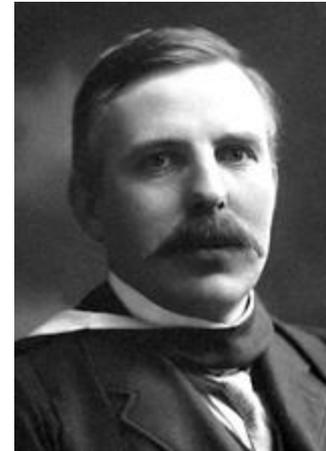
Pierre Gassendi (1592-1665)

„Atomisten“ in der Wissenschaft

Niels Bohr (1885 – 1962)



Ernest Rutherford (1871 – 1937)



Joseph John Thomson (1856 – 1940)



John Dalton (1766 – 1844)

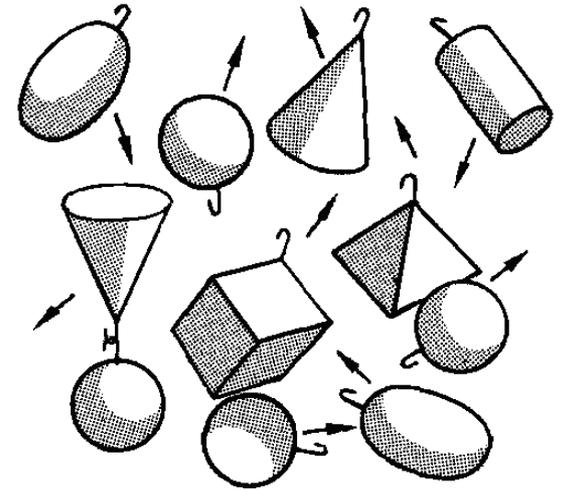


Daniel Bernoulli (1700 – 1782)



Atome und kinetische Gastheorie

1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. **Atome in der Chemie**
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte
5. Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik
6. Ludwig Boltzmann
7. Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?
8. Sichtbarmachung von Atomen



Gesetzmäßigkeiten bei chemischen Reaktionen

1. Gesetz von der Erhaltung der Masse:

Bei chemischen Reaktionen bleibt die Gesamtmasse der Reaktionspartner unverändert.

2. Gesetz der konstanten Proportionen:

In einer chemischen Verbindung sind die einzelnen Bestandteile stets in einem bestimmten, charakteristischen Massenverhältnis enthalten.

3. Gesetz der multiplen Proportionen:

Können zwei Bestandteile mehrere chemische Verbindungen bilden, so stehen die Mengen des einen Bestandteils, welche sich mit ein und derselben Menge des anderen Bestandteils verbinden können, im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen. (Dalton, 1804)

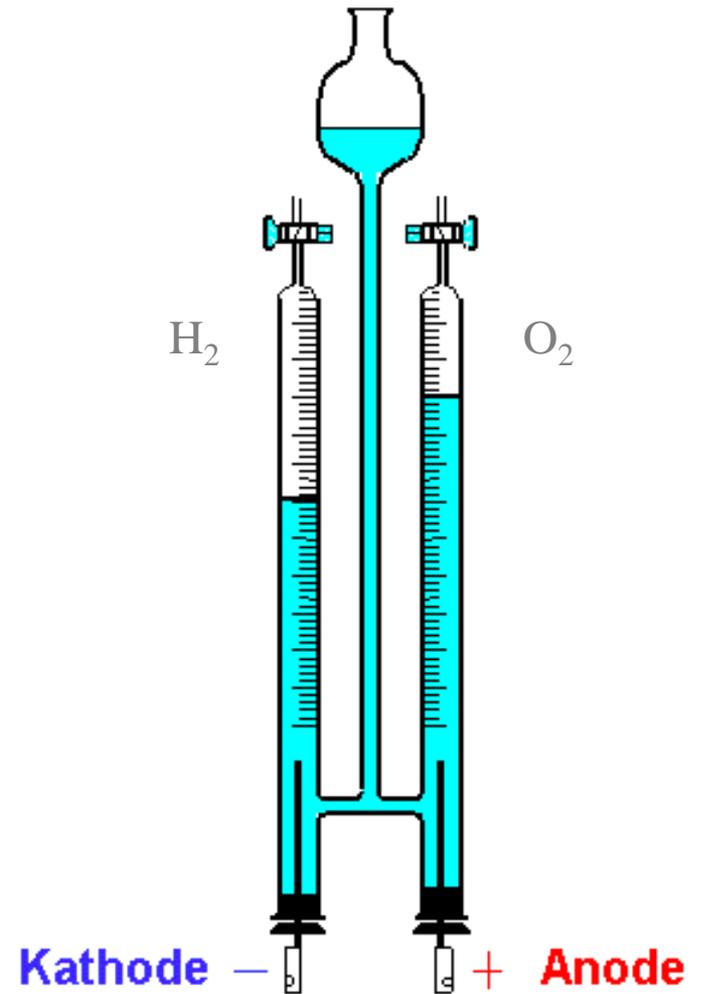
4. Volumenverhältnisse

Bei Reaktionen mit mehreren gasförmigen Reaktionspartnern stehen die Volumina der Partner in einfachen ganzzahligen Verhältnissen. (Gay-Lussac)

5. Hypothese von Avogadro (1811)

Gleiche Volumina verschiedener Gase enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur immer die gleiche Anzahl von Atomen bzw. Molekülen.

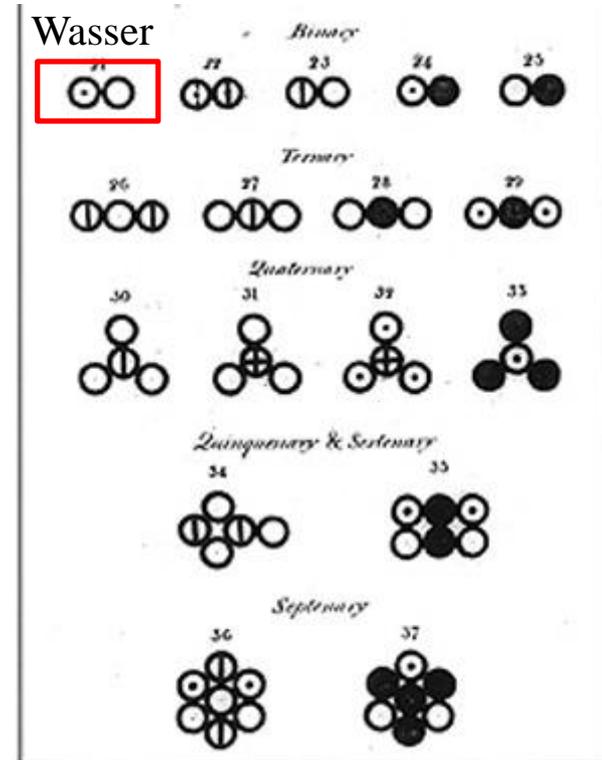
Elektrolyse von Wasser



Daltons Vorstellung von den Atomen und Molekülen

ELEMENTS		
	Hydrogen	1
	Azote	5
	Carbon	5
	Oxygen	7
	Phosphorus	9
	Sulphur	13
	Magnesia	20
	Lime	24
	Soda	28
	Potash	42
	Strontian	46
	Barytes	68
	Iron	50
	Zinc	56
	Copper	56
	Lead	90
	Silver	190
	Gold	190
	Platina	190
	Mercury	167

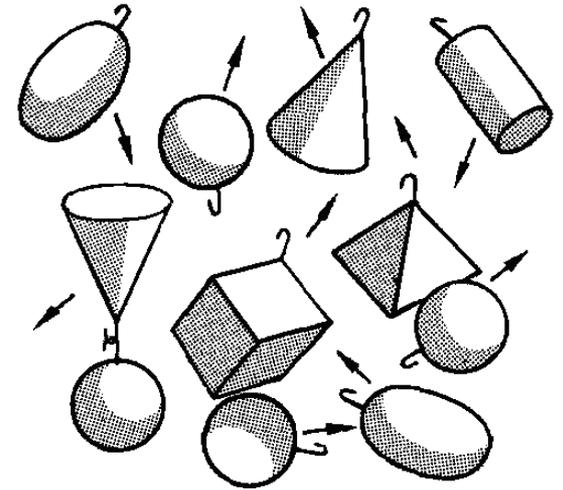
Elemente



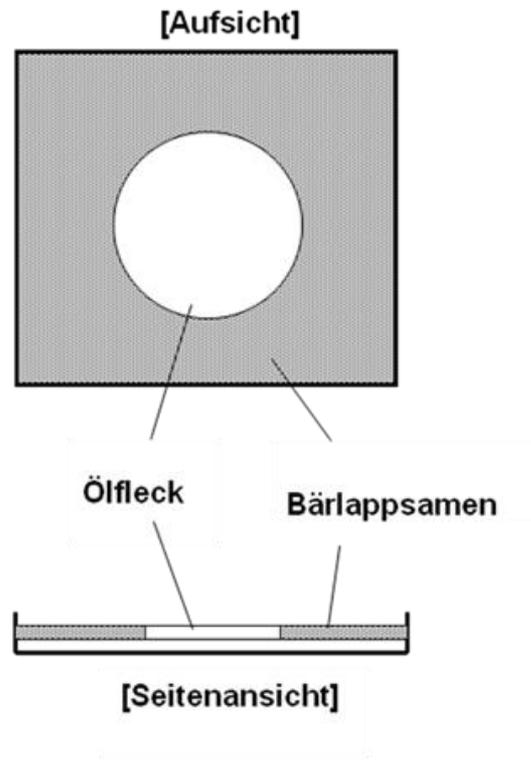
Moleküle

Atome und kinetische Gastheorie

1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. Atome in der Chemie
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte
5. Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik
6. Ludwig Boltzmann
7. Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?
8. Sichtbarmachung von Atomen



Öltröpfchenversuch zur Bestimmung der Größe von Ölmolekülen



Die Größe der Ölmoleküle beträgt etwa 1 Millionstel Millimeter = 1 Nanometer.
Damit befinden sich etwa 10^{21} Moleküle in einem Gramm Öl.

Loschmidts Überlegungen zur Atom- bzw. Molekülgröße

Ausgangspunkt ist die Beziehung zwischen der Teilchenzahldichte $n = N/V$, dem Streuquerschnitt σ und der mittleren freien Weglänge ℓ

$$1 = n \cdot \ell \cdot \sigma$$

Ist r der Teilchenradius, so gilt bei der Annahme kugelförmiger Teilchen:

für den Streuquerschnitt:

$$\sigma = \pi \cdot (2 \cdot r)^2$$

für das Volumen eines Teilchens:

$$V_1 = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$$

für den Volumenanteil eines Moleküls im Gasraum: $1/n = V/N$

Aus obiger Beziehung folgt:

$$1/n = 4 \pi \cdot \ell \cdot r^2$$

$n V_1$ ist der sog. Kondensationskoeffizient ε , das ist das Volumen eines Teilchens dividiert durch den Volumenanteil eines Moleküls im Gasraum. Damit erhält man:

$$\varepsilon = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3 / (4\pi \cdot r^2 \cdot \ell) = 1/3 r/\ell$$

und für den Durchmesser eines Teilchens

$$2 r = 6 \cdot \varepsilon \cdot \ell$$

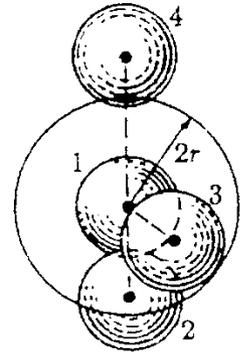
Der Kondensationskoeffizient ε ergibt sich näherungsweise aus dem Verhältnis der Dichten eines Stoffes im gasförmigen und im flüssigen Zustand.

Für Luft z.B. gilt $\varepsilon = 1,3 \cdot 10^{-3} / 0,9 = 0,0014$

Für die mittlere freie Weglänge benutzte Loschmidt einen von Maxwell aus dem Koeffizienten der inneren Reibung ermittelten Wert von 62 nm.

Daraus ergibt sich für den **Durchmesser eines Luftmoleküls**

$$2 r = 6 \cdot 0,0014 \cdot 62 \text{ nm} = 0,5 \text{ nm}$$



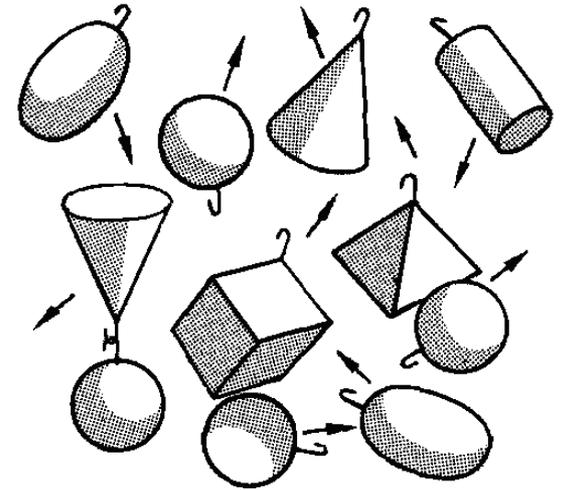
Joseph Loschmidt (1821 – 1895)



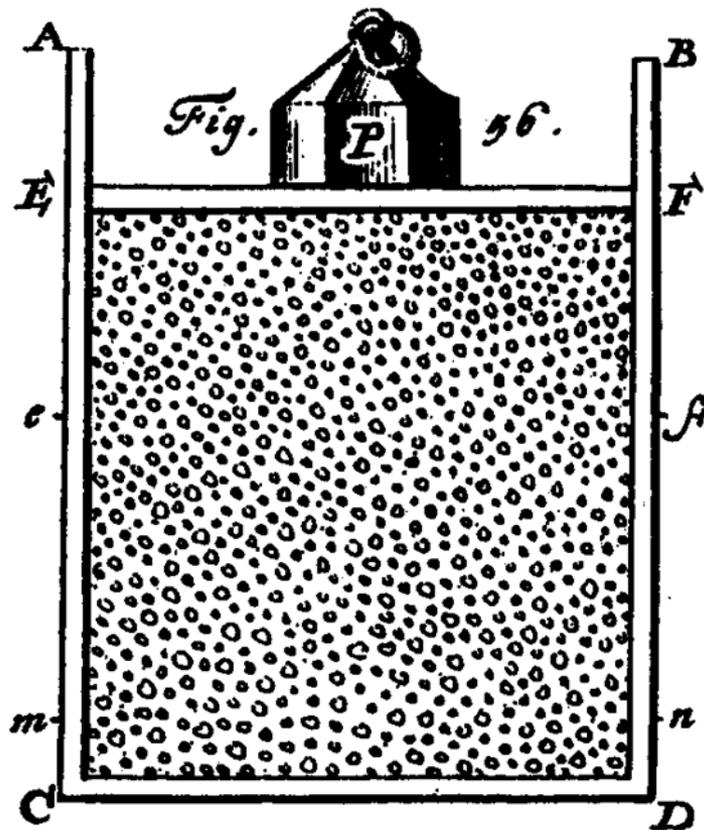
- 1821 Geboren in der Nähe von Karlsbad als Sohn einer armen Bauernfamilie
- 1837 Studium der Philosophie und Mathematik in Prag
- 1841 Studium der Physik und Chemie in Wien
- 1856 Gymnasiallehrer in Wien, experimentelle Arbeiten im Labor der Schule zur Größe von Atomen
- 1866 Dozent an der Universität Wien, später ordentlicher Professor

Atome und kinetische Gastheorie

1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. Atome in der Chemie
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. **Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte**
5. Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik
6. Ludwig Boltzmann
7. Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?
8. Sichtbarmachung von Atomen



Daniel Bernoullis Vorstellung vom Druck (1738)



Das Bild zeigt die Verhältnisse im Gas qualitativ richtig, jedoch ist das Verhältnis Molekülabstand zu -größe viel zu klein (ca. Faktor 50).

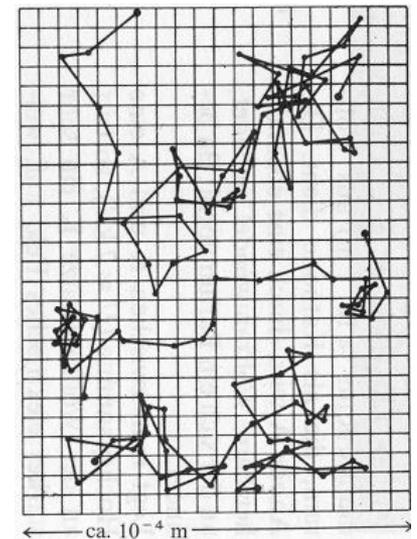
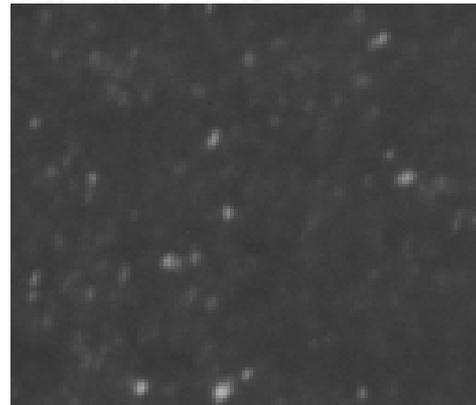
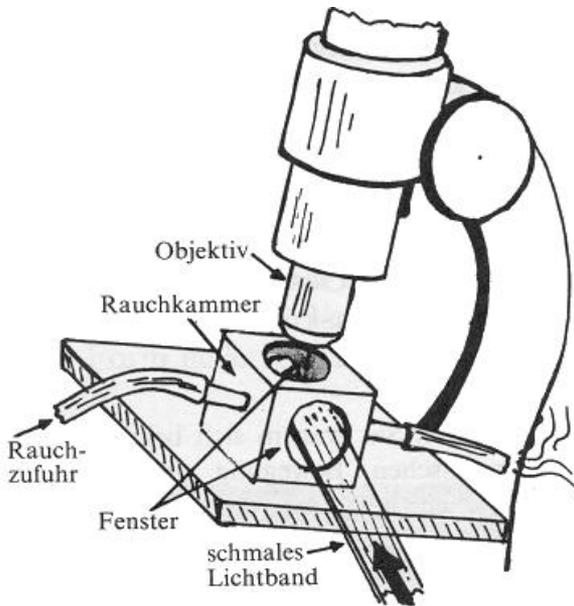
Bernoulli hat den Molekülen bereits eine Geschwindigkeit zugeordnet und gefunden, dass der Druck proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit ist.

Brownsche Molekularbewegung (1823)

1785 zuerst entdeckt von dem holländischen Arzt Jan Ingenhousz
1905 erst durch Albert Einstein quantitativ erklärt

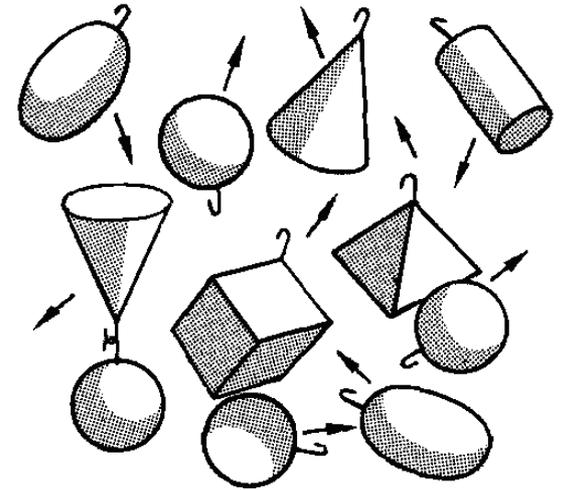


Robert Brown (1773 – 1858)



Atome und kinetische Gastheorie

1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. Atome in der Chemie
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte
5. **Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik**
6. Ludwig Boltzmann
7. Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?
8. Sichtbarmachung von Atomen



Geschichte der kinetischen Gastheorie

1738 Daniel Bernoulli (Stöße gegen die Wand \rightarrow Druck)

1857 Rudolf Clausius (u.a. mittlere freie Weglänge)

1859 James Clerk Maxwell (Maxwell Verteilung, erstes statistisches Gesetz)

1871 Ludwig Boltzmann, (u.a. Zusammenhang von Entropie und Wahrscheinlichkeit)

1905 Albert Einstein, Erklärung der Brownschen Bewegung, Experiment von Perrin, 1. Solvay Konferenz 1911

$$\text{Druck auf die Wand } P = \frac{1}{3} \cdot n \cdot m \cdot \langle v^2 \rangle$$

$$\text{Maxwell Verteilung: } dN \sim \exp(-3/2 \cdot m \cdot v^2 / kT) d^3v$$

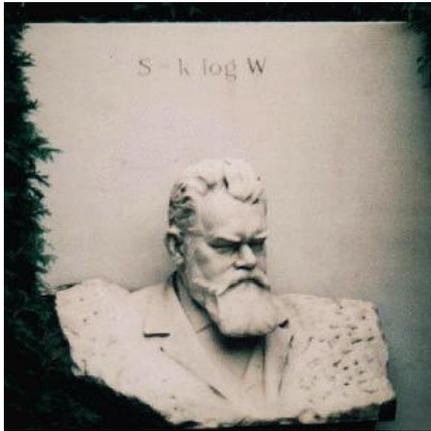
Boltzmanns Transport Theorie und Zusammenhang mit der Entropie

Einteilchen-Dichteverteilung im Phasenraum $f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t)$ $dN = f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t) d^3\mathbf{r} d^3\mathbf{p}$

Bewegungsgleichung $\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\mathbf{p}}{m} \cdot \nabla f + \mathbf{F} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{p}} = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{\text{coll}}$

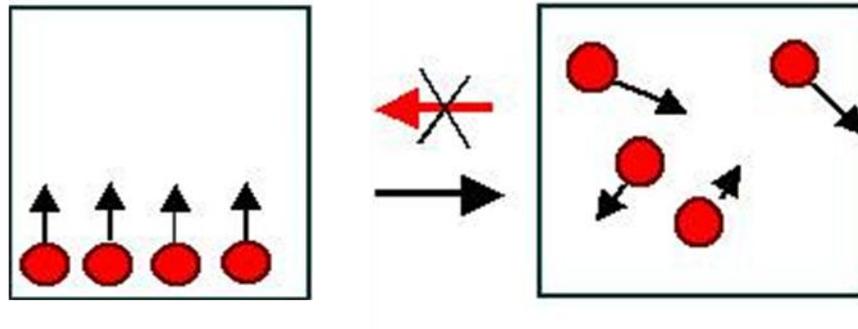
$H = N \int f \ln f d^3r d^3p$ Mit Stoßzahlansatz: $dH/dt < 0$

$$S = -k \cdot H = [k \cdot \ln W]$$



Entropie als Maß für die Unordnung

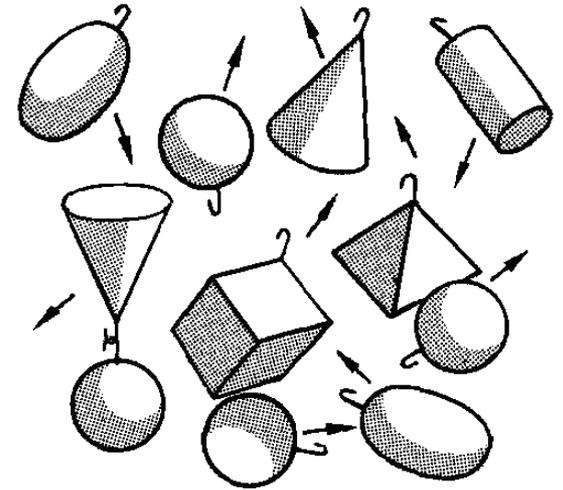
$$S = k \cdot \log W$$



Links ein geordneter, rechts ein ungeordneter Zustand

Atome und kinetische Gastheorie

1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. Atome in der Chemie
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte
5. Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik
6. **Ludwig Boltzmann**
7. Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?
8. Sichtbarmachung von Atomen



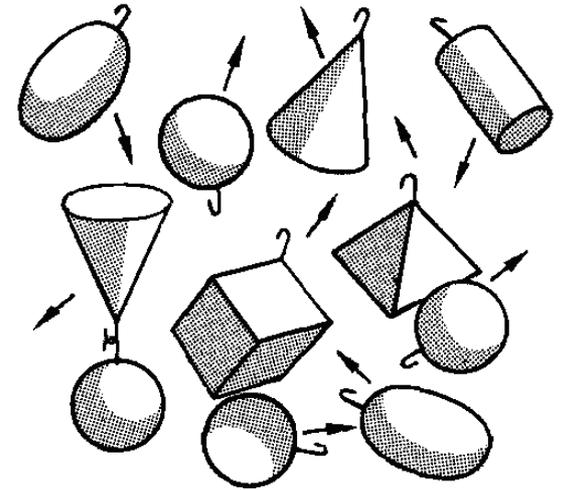
Ludwig Boltzmann (1844 – 1906)



- 1844 Geboren in Wien
- 1863 Studium der Mathematik und Physik an der Universität Wien, Promotion über die kinetische Gastheorie
- 1869 Ordentlicher Professor für mathematische Physik in Graz, danach Lehrstühle in Wien, Graz, München, Wien, Leipzig und wieder Wien
- 1906 Selbstmord

Atome und kinetische Gastheorie

1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. Atome in der Chemie
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte
5. Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik
6. Ludwig Boltzmann – Leben und Persönlichkeit
7. **Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?**
8. Sichtbarmachung von Atomen



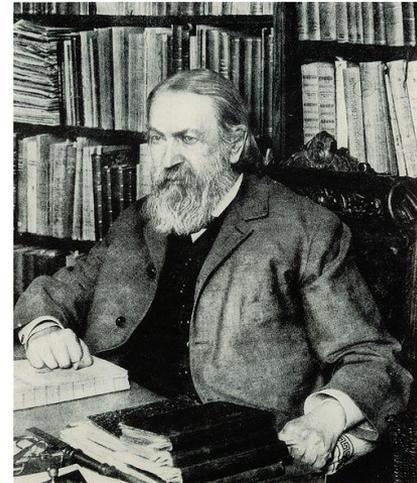
Wurden Atome in Gegenwart Machs erwähnt, kam bald die höhnische Frage: "Habens' schon eins gesehen?"

Der **Positivismus** ist eine Richtung in der Philosophie, die fordert, Erkenntnis auf die Interpretation von „positiven“ Befunden zu beschränken, also solchen, die im Experiment unter vorab definierten Bedingungen einen erwarteten Nachweis erbrachten. (Wikipedia)

Begründer : Auguste Comte (1798 – 1857)

In den Naturwissenschaften besonders

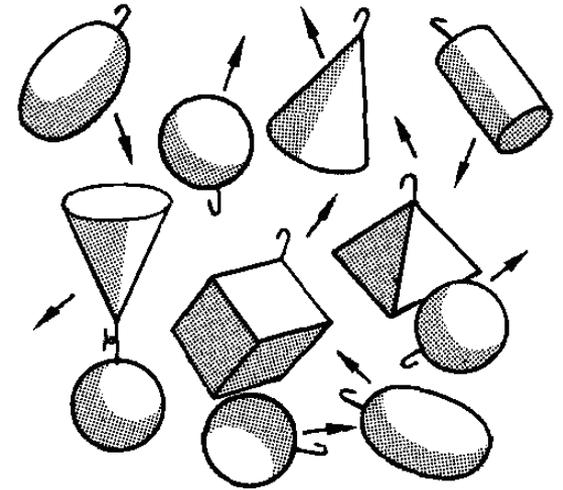
Ernst Mach (1838 – 1916)



Ernst Mach

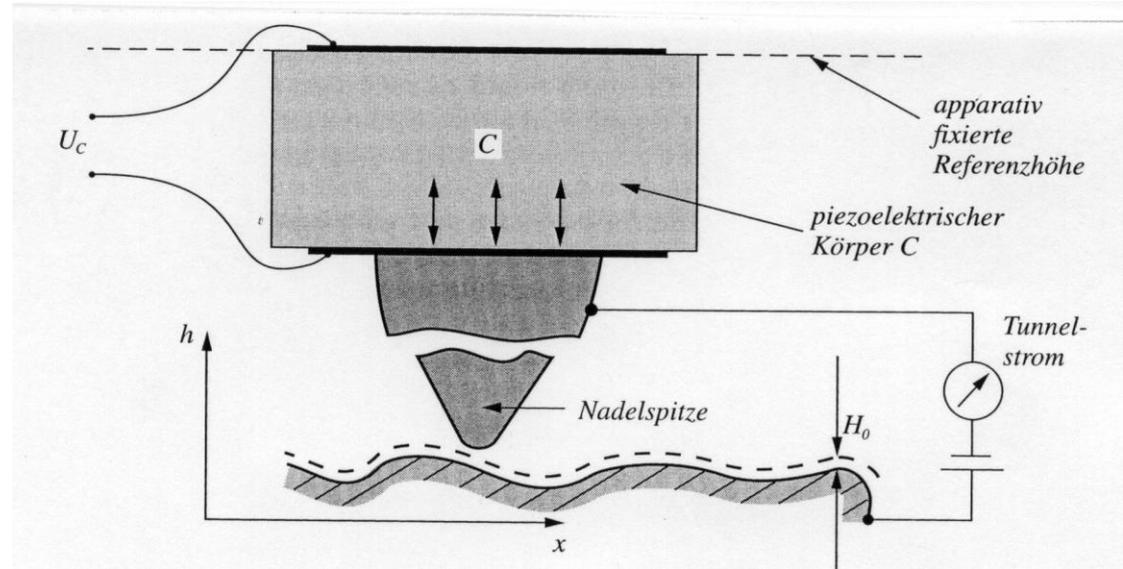
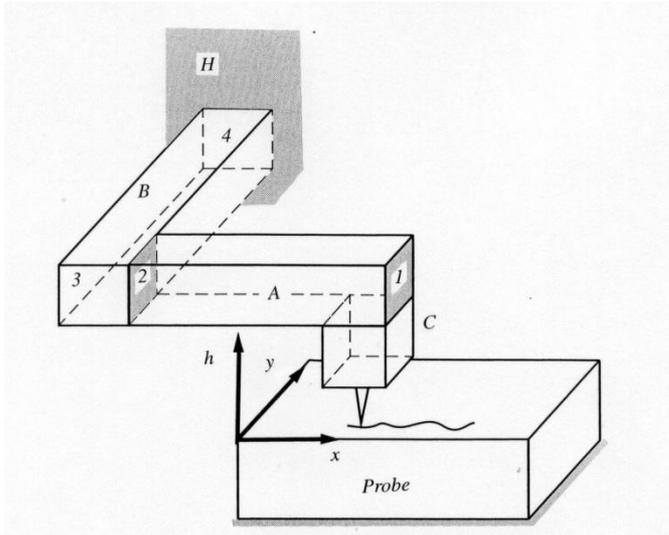
Atome und kinetische Gastheorie

1. Die Geschichte des Atombegriffs
2. Atome in der Chemie
3. Anzahl und Größe der Atome,
Joseph Loschmidt
4. Auf Teilchenbewegungen beruhende Effekte
5. Kinetische Gastheorie - Statistische Mechanik
6. Ludwig Boltzmann – Leben und Persönlichkeit
7. Positivismusdebatte – Gibt es Atome wirklich?
8. **Sichtbarmachung von Atomen**

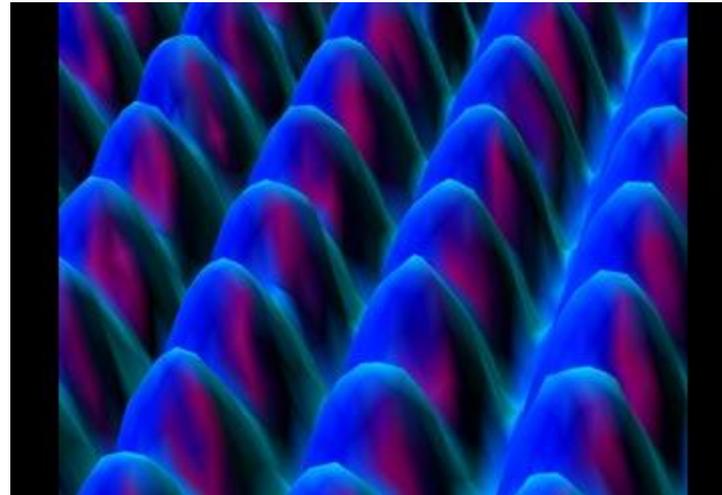


Aufbau und Arbeitsweise eines Raster-Tunnel-Mikroskops

Nobelpreis für Gerd Binnig und Heinrich Rohrer 1986



Abtasten der Blindenschrift



Abtastbild einer Nickeloberfläche

1. Solvay-Konferenz Brüssel 1911



Einige der Teilnehmer:

- 3 Max Planck
- 6 Ernst Solvay
- 8 Hendrik Antoon Lorentz
- 7 Arnold Sommerfeld
- 13 Jean Baptist Perrin
- 19 Ernest Rutherford
- 20 Marie Curie
- 21 Henri Poincaré
- 22 Heike Kammerlingh Onnes
- 23 Albert Einstein
- 24 Paul Langevin

