

Grundbausteine des Mikrokosmos (3)

Das „Atom“ der Elektrizität ...



Für die Chemiker war es Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts völlig klar, daß die Materie aus kleinen, wahrscheinlich unteilbaren „Murmeln“ bestehen muß, die für jedes Element anders sind. Diese „Murmeln“ – Atome genannt – können sich nach bestimmten Regeln miteinander verbinden und damit neue, diesmal aus Molekülen aufgebaute Stoffe, bilden. Für das Grundverständnis dieser chemischen Prozesse war das Dalton'sche Atommodell eine durchaus gute Erklärungsgrundlage:

1. Alle Materie ist aus kleinsten, harten, unteilbaren Teilchen, den Atomen, aufgebaut.
2. Alle Atome eines gegebenen Elements sind gleich; sie haben identische Größe und Masse.
3. Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich in Größe, Masse und ihren Eigenschaften.
4. Atome sind chemisch unzerstörbar. Sie werden in chemischen Reaktionen nicht vernichtet oder erzeugt.
5. Bei chemischen Reaktionen werden Atome neu angeordnet. Sie verbinden sich zu Verbindungen, bilden andere Verbindungen oder lösen sich aus ihren Verbindungen.
6. Während einer chemischen Reaktion läßt sich keine Veränderung der Masse der Reaktionsstoffe beobachten. Die Masse aller Edukte ist gleich der Masse aller Produkte. (Gesetz der Erhaltung der Masse)
7. In einer Verbindung sind stets die gleichen Elemente im gleichen Massenverhältnis vorhanden. (Gesetz der konstanten Proportionen)
8. Entstehende Verbindungen bilden sich aus ganzzahligen Atomverhältnissen. Verändert sich das Atomverhältnis steigt oder sinkt die Gesamtmasse entsprechend der Atommassen der Eingangsstoffe. (Gesetz der multiplen Proportionen)

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

Die chemischen Elemente zeigten aber auch Eigenschaften, die sich mit Dalton's Atomen nicht erklären lassen, z. B. der Begriff der „Wertigkeit“

Die „Wertigkeit“ gibt an, wie viele Wasserstoff oder Fluoratom(e) (oder ganz allgemein „einwertige“ Stoffe) ein Atom eines bestimmten Stoffes binden oder ersetzen kann.

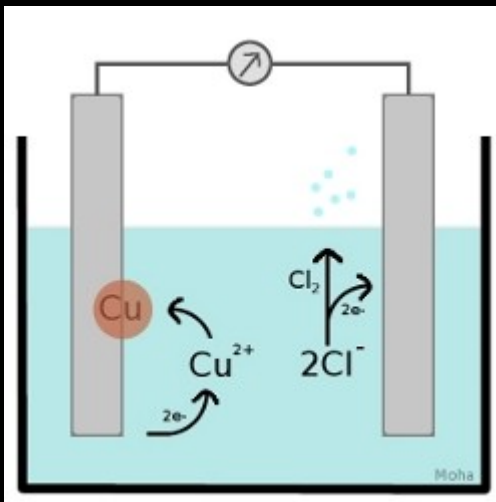
$NaH \rightarrow$ Na ist einwertig

$PH_3 \rightarrow$ Phosphor ist dreiwertig

$SiF_4 \rightarrow$ Silizium ist vierwertig

$SF_6 \rightarrow$ Schwefel ist sechswertig

Diese „Wertigkeiten“ offenbarten sich nicht nur bei chemischen Reaktionen, sondern auch in den Elektrolyse-Experimenten von Michael Farady (1791-1867).



Kupfer (II) –Chlorid $CuCl_2$

Kathode: $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

festes Cu setzt sich ab

Anode: $2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

gasförmiges Chlor wird frei

Gesamt: $Cu^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) \rightarrow Cu(s) + Cl_2(g)$

Bei der Elektrolyse werden elektrische Ladungen zwischen zwei Elektroden transportiert ...

Was „Ladungen“ sind, war vor den Faradayschen Versuchen noch ziemlich unklar.

Eine kurze Geschichte der elektrischen Ladung...

Entdeckt wurde die „Elektrizität“ durch die Erzeugung von „Aufladungen“ durch Reibung verschiedener Stoffe:

Reibung von Bernstein an Leder – „Harzelektrizität“ [-]

Reibung von Glasstäben an Leder – „Glaselektrizität“ [+]

(Charles des Fay um 1733)

→ **Zwei-Fluid-Theorie der „Elektrizität“** (von Bernstein = altgriechisch „Elektron“)
(Benjamin Franklin → „technische Stromrichtung“ Fluß von [+]-Ladungen ... { von + zu - }

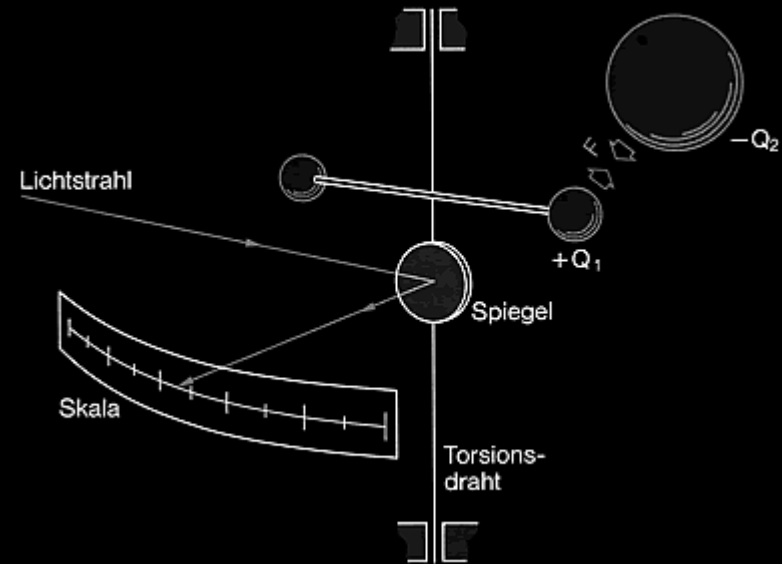
Charles Augustin Coulomb: 1785 Coulombsches Gesetz

→ **Definition der „Ladungsmenge“ über die Kraftwirkung zwischen geladenen Körpern**

Coulomb maß mit Hilfe einer genauen Drehwaage die Kraft zwischen zwei gleichnamigen (d.h. abstoßenden) Ladungen und entdeckte dabei das Coulombsche Gesetz:

$$F \approx \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Q bezeichnen dabei Elektrizitätsmengen, die später die Einheit Coulomb erhalten haben: $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$

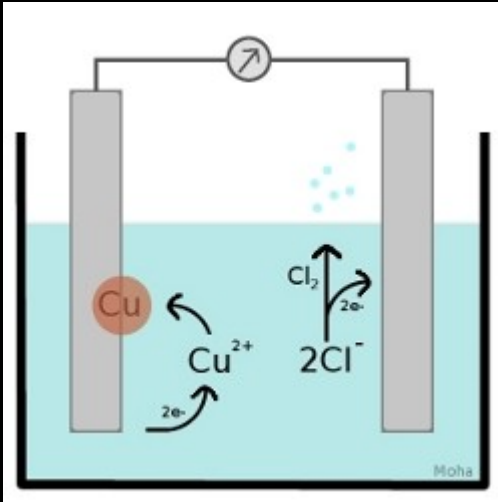


Zwei Ladungen mit jeweils 1 C, die sich in einem Abstand von 1 m befinden, stoßen sich mit einer Kraft von $9 \cdot 10^9 \text{ N}$ ab.

(Ein Glaswürfel mit einer Seitenlänge von 70 m wird mit der gleichen Kraft von der Erde angezogen)

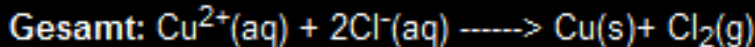
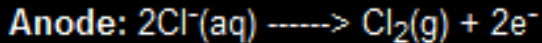
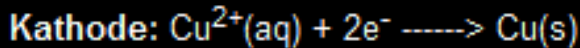
Das Ampere wurde zuerst über Abscheideraten von Silber in einer Silbernitratlösung bei Elektrolyse definiert $\rightarrow 1.118 \text{ mg Ag pro Sekunde} \rightarrow \text{Ladungsmenge } 1 \text{ C}$

Die Entdeckung der „körnigen“ Struktur der Elektrizität



Michael Faraday entdeckte, daß man zur Abscheidung eines Gramms eines beliebigen Stoffes genau eine Ladungsmenge von 96500 C von der einen Elektrode zur anderen Elektrode durch das Elektrolysebad transportiert werden muß.

→ **Vermutung:** Es gibt ein „Elektrizitätsatom“ mit einer Elementarladung e , deren ganzzahliges Vielfaches die gemessene Ladungsmenge gerade ergibt.



Da im Falle einwertiger Elemente die Molmasse und das „Grammäquivalent“ gleich ist, gilt:

$$e = \frac{96500 \text{ C}}{6.02 \cdot 10^{23}} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Damit war klar, daß es offensichtlich eine „kleinste“ Ladung geben muß und das alle anderen Ladungen ein ganzzahliges Vielfaches dieser „Elementarladung“ sind: $Q = n \cdot e$

96489 C = Faraday-Konstante = 30 Ampere-Stunden (Autobatterie)

Zur Veranschaulichung:

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{96489 \text{ C}}{1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 6 \cdot 10^{23} \text{ „Elektrizitätsatome“}$$

Wäre jedes von diesen „Elektrizitätsatomen“ genau einen mm groß, dann könnte man daraus einen Würfel mit ~ 2 km Kantenlänge formen...

Aber wie groß und wie schwer ist denn nun solch ein „Elektrizitätsatom“ ?

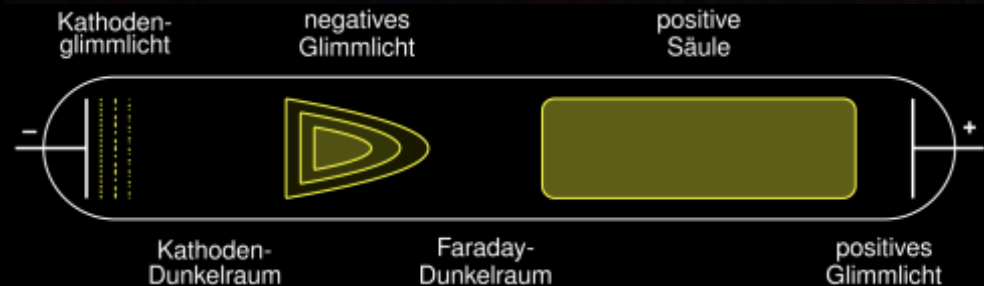
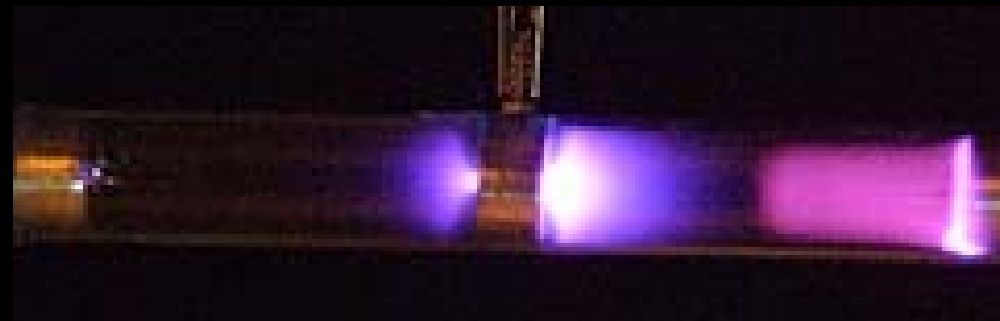
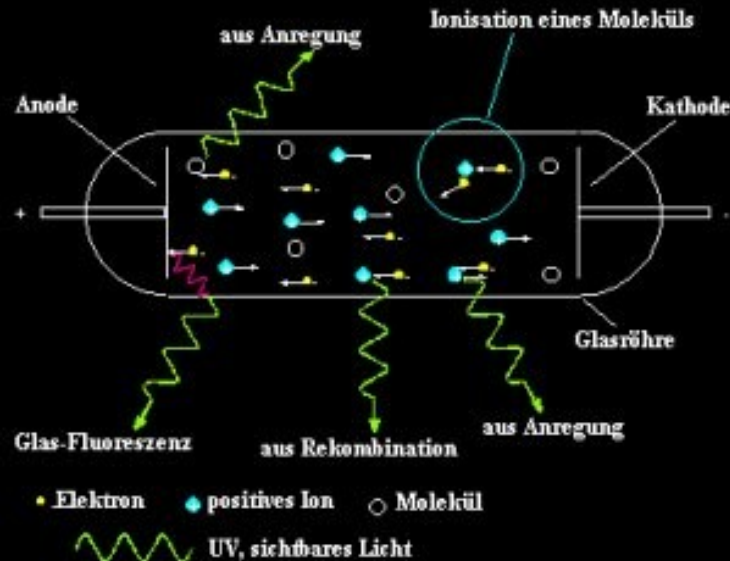


Entdeckung der Kathodenstrahlen

Julius Plücker, 1859

Man wußte, daß Wasser, in dem Salze gelöst sind, elektrisch leitfähig sind. Die Frage war, ob das auch für Gase gilt.

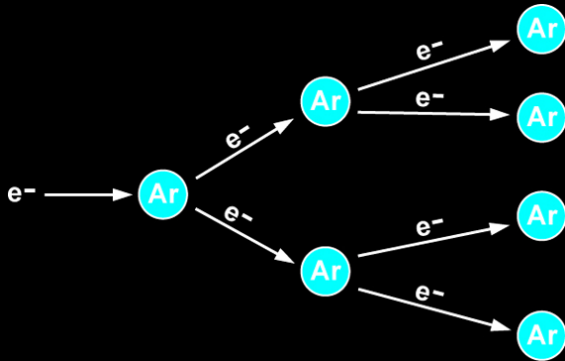
Glimmentladung



Je geringer die Gasdichte in der Röhre, desto besser die Leitfähigkeit des Gases ...

Warum das Gas „glimmt“ war nicht klar. Der Aufbau der Glimmentladung ließ sich aber durch zwei unterschiedlich schwere „Ladungssorten“ im Gas erklären:

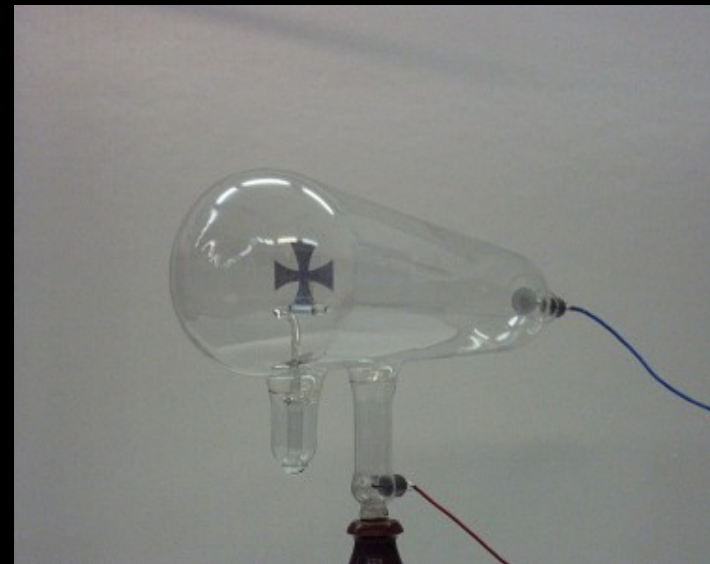
- massereiche und damit träge positiv geladene Ionen
- massearme negativ geladene Teilchen (später Elektronen genannt)



Stoßionisation

Ab einer bestimmten Spannung verstärkt sich der Stromfluß rasant...

Julius Plücker / William Crookes



Schattenkreuzröhre



Massearme negative
Ladungsträger bewegen
sich gradlinig

Die negativen Ladungsträger können durch Magnetfelder
abgelenkt werden...

Ampere hat entdeckt, daß auf einen elektrischen Leiter der Länge l , durch den ein Strom der Stromstärke $I = n e$ fließt und der sich in einem Magnetfeld mit der Induktion B befindet, eine Kraft $F = B I l$ wirkt.

Sind die Ladungsteilchen nicht in einem Draht gefangen und werden sie in ein Magnetfeld eingeschossen, wobei der Geschwindigkeitsvektor senkrecht zum Magnetfeld ausgerichtet ist, dann werden die Ladungsteilchen auf eine Kreisbahn mit dem Radius

$$r = \frac{m v}{e B}$$

gezwungen.

Ist l die Ausdehnung des Magnetfeldes ($l \ll r$), dann gilt für den Ablenkungswinkel des Ladungsträgerstrahls:

$$\alpha_m \approx \frac{l}{r} = \frac{e B l}{m v}$$

Eine ähnliche Relation erhält man auch bei einer Ablenkung im elektrischen Feld:

$$\alpha_e \approx \frac{v_e}{v} = \frac{e E l}{m v^2}$$

Hieraus läßt sich experimentell das Verhältnis von Elementarladung e zur Masse des Ladungsträger m ermitteln: (Geschwindigkeit v eliminieren)

$$\frac{e}{m} = \frac{(\alpha_m)^2 E}{\alpha_e B^2 l}$$

Ergebnis: $\frac{e}{m} = 1.77 \cdot 10^8 \text{ C/g}$ $m = \frac{1.6 \cdot 10^{-19}}{1.77 \cdot 10^8} \text{ g} = 9 \cdot 10^{-28} \text{ g}$

→! 1/2000 der Masse eines Wasserstoffatoms

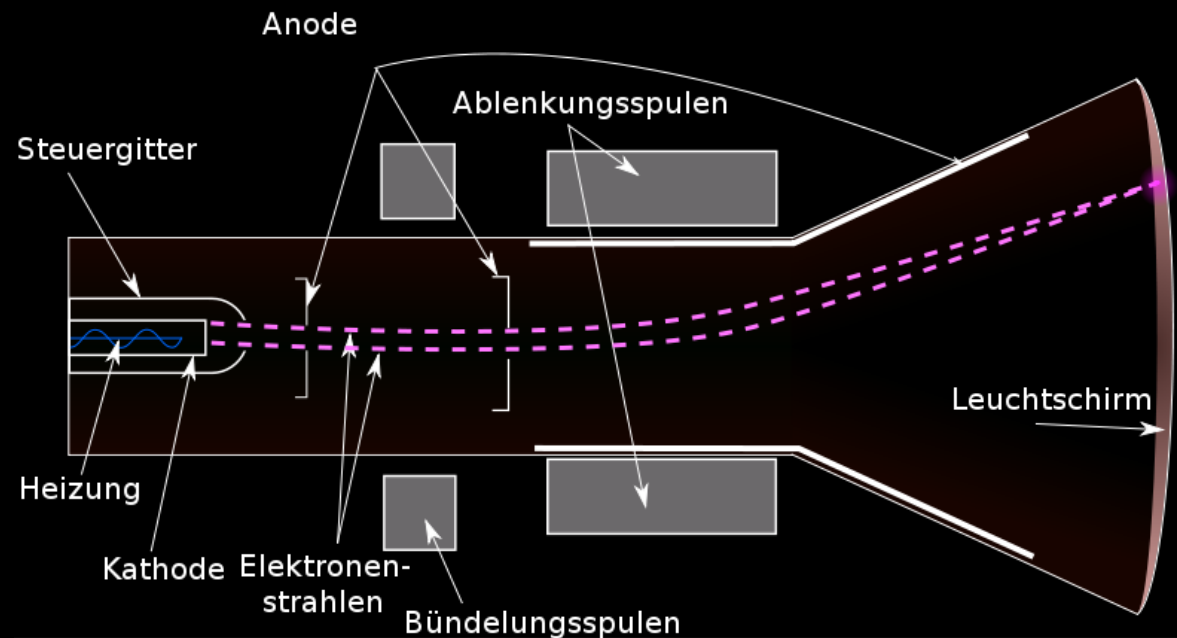
Der elementare Träger der negativen Ladung (Elementarladung) ist 2000 x leichter als ein Wasserstoffatom.

Dieses Teilchen wurde „**Elektron**“ genannt und war das erste experimentell nachgewiesene Elementarteilchen.

Dieser Begriff wurde 1874 von Hermann von Helmholtz (1821-1894) geprägt.

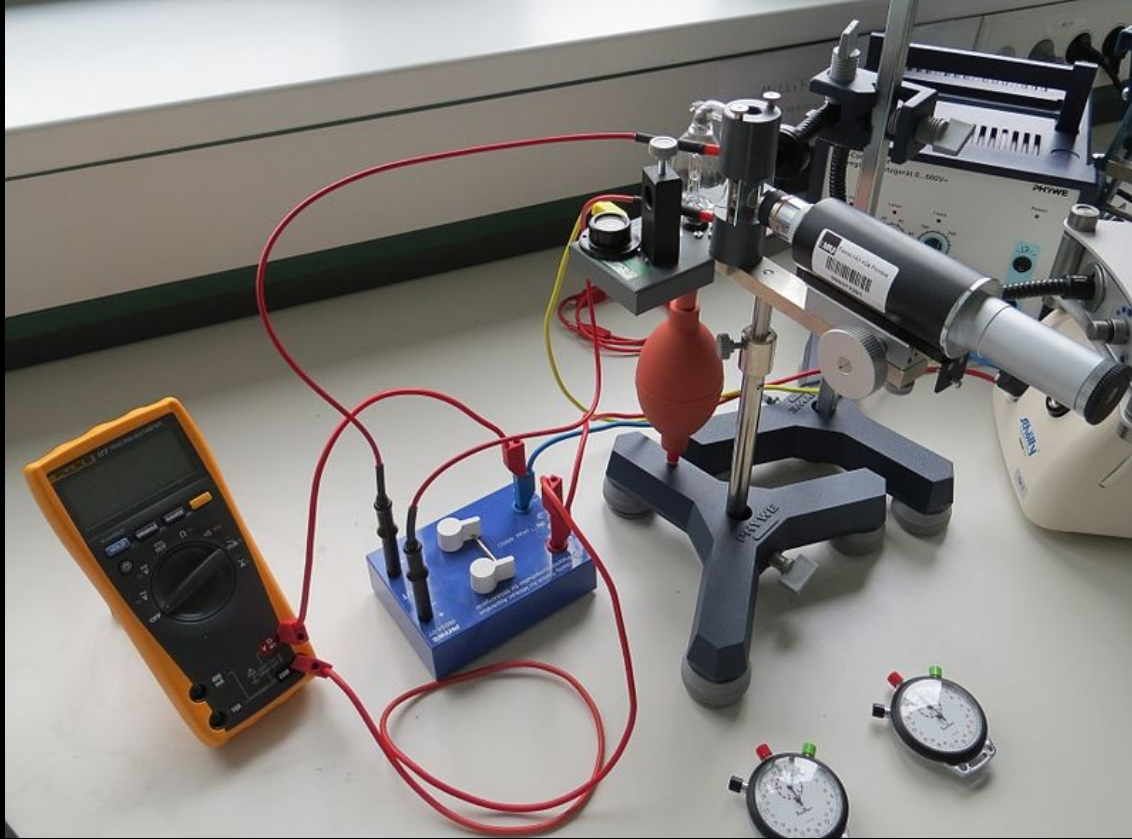
Das bedeutet, daß die Kathodenstrahlen ein Fluß elementarer Teilchen, die jeweils eine negative Elementarladung tragen, darstellen – quasi ein Elektronenstrahl ...

Braunsche Röhre





Unabhängige Bestimmung der Elementarladung durch Robert Andrews Millikan



- Plattenkondensator
- Kleine geladene Öltröpfchen
- Mikroskop

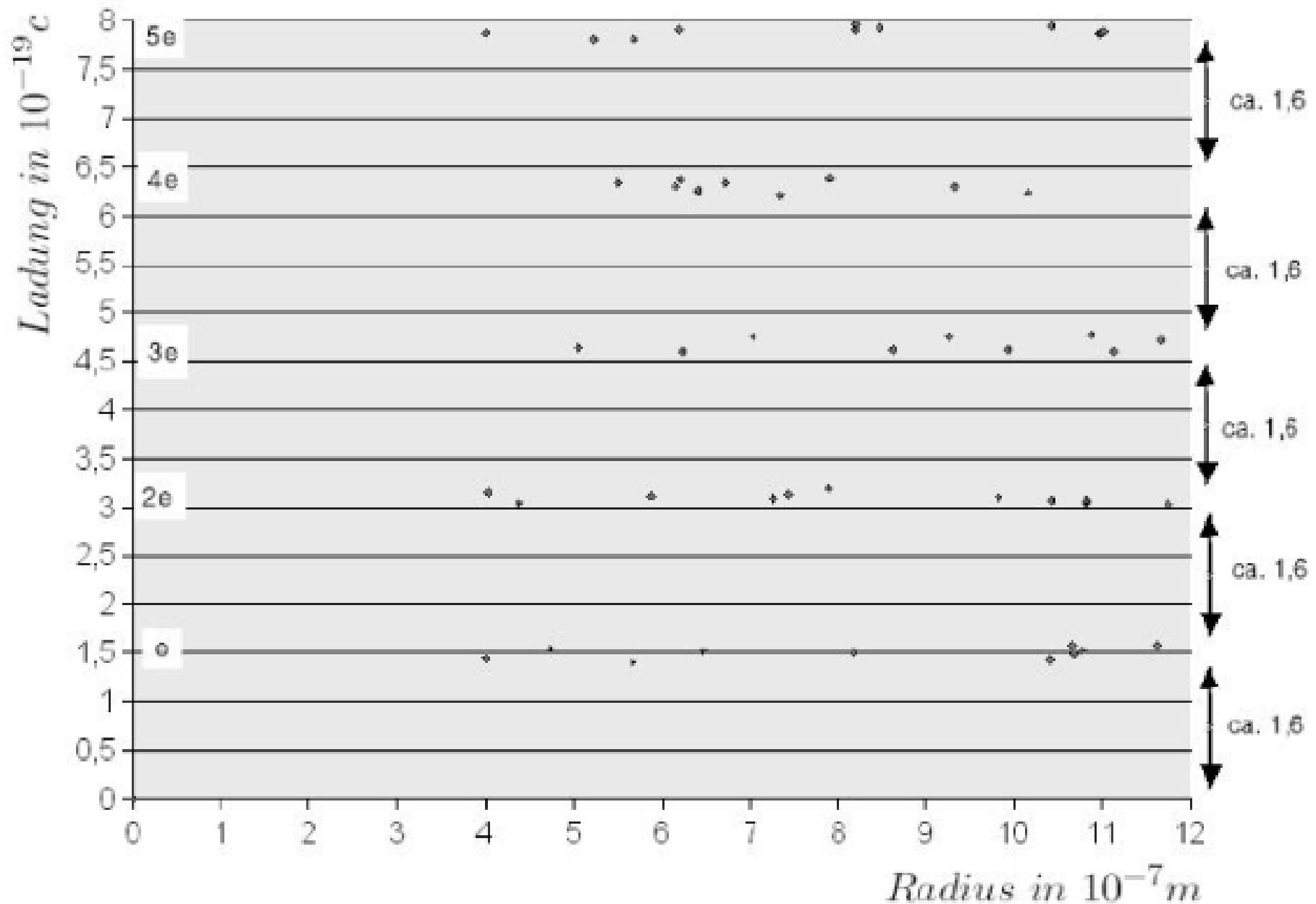
Schwebemethode:

Bei geladenen Kondensator (Feldstärke E zwischen Platten) werden elektrisch geladene schwebende Öltröpfchen beobachtet

Bei ausgeschaltetem elektr. Feld wird die Sinkgeschwindigkeit bestimmt, um über die Stoke'sche Reibung die Tröpfchengröße zu bestimmen

1923 Nobelpreis für Physik





Da jedes Öltröpfchen aus einer größeren Anzahl von Atomen besteht und nicht nur eine, sondern auch mehrere Ladungen tragen kann, ist jede berechnete Ladung eines Öltröpfchens ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung.

Das „Atom“ der Elektrizität ...

ist die Elementarladung $e = 1,602\,176\,565\,(35) \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Sie kommt in zwei Ausprägungen vor, die als „negativ“ und als „positiv“ bezeichnet werden. Dabei gilt:

- gleichnamige Ladungen stoßen sich ab
- ungleichnamige Ladungen ziehen sich an

d.h. zwischen Ladungen wirken Kräfte, die von der Größe der Ladungen und ihrem Abstand abhängen → **Coulombsche Gesetz**

- Der elementare Träger der negativen Ladung ist das **Elektron**. Seine Masse beträgt nur 1/2000 der Masse eines Wasserstoffatoms.
- Ladungen können nicht erzeugt und auch nicht zerstört, nur ausgeglichen werden.
- Elektrisch neutrale Körper enthalten genauso viele positive wie negative Ladungen.
- Da ein Atom elektrisch neutral ist, muß auch ein Atom aus gleichviel positiven wie negativen elektrischen Ladungen bestehen.
- Geladene Atome nennt man Ionen. Sie sind genauso schwer wie entsprechende neutrale Atome des gleichen Elements.