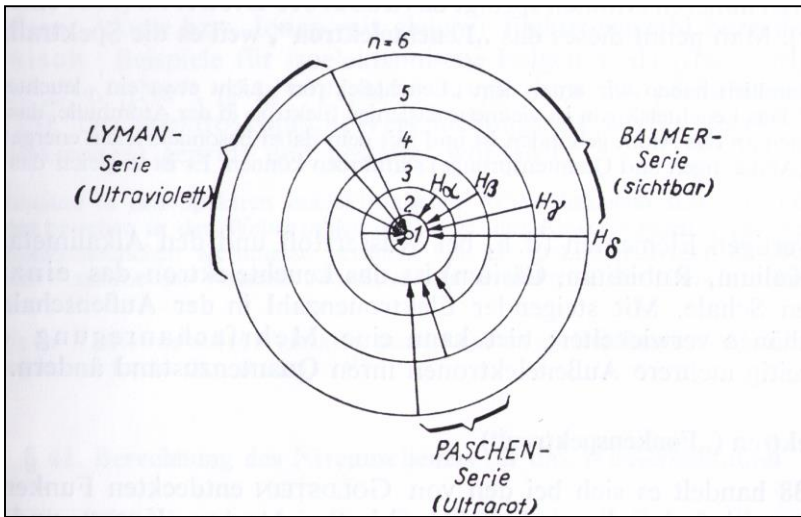


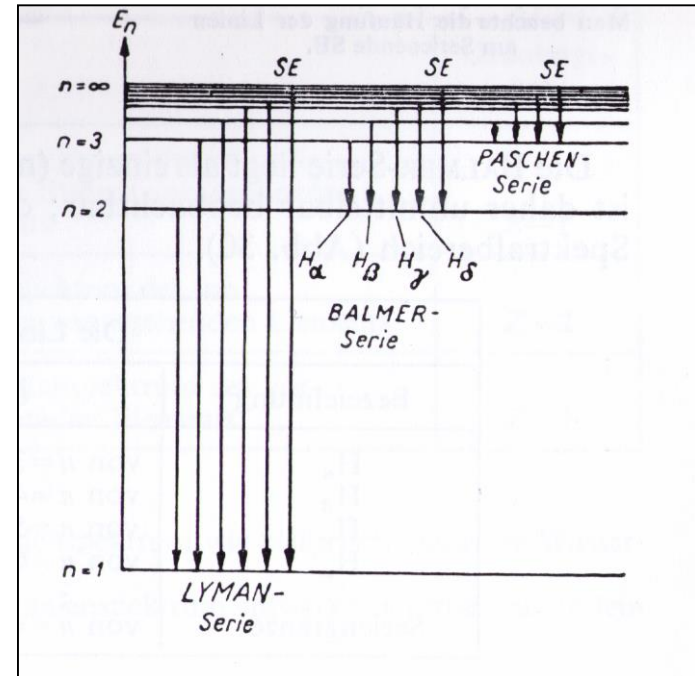
# Atomphysik für Studierende des Lehramtes

Teil 4

# Diskrete Energieniveaus der Elektronen im Atom



drei der fünf bekannten Spektrallinien im Bohr'schen Modell des Wasserstoffatoms

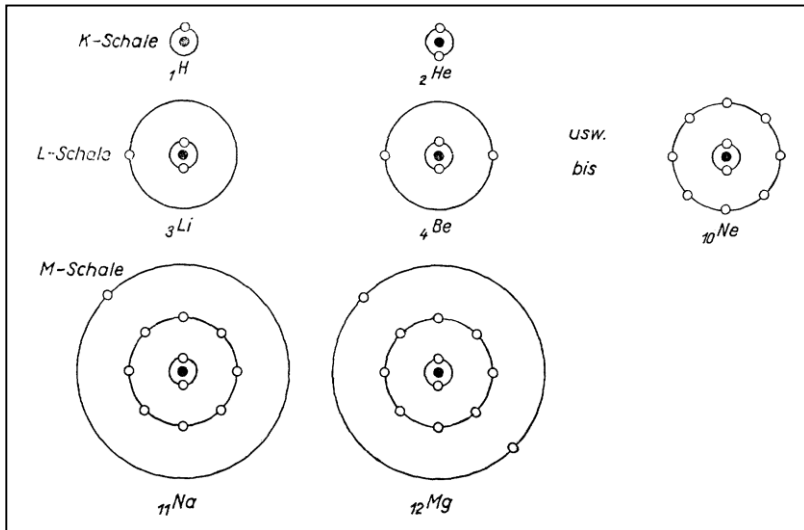


drei der fünf bekannten Spektrallinien im Energieniveauschema

# Schalenaufbau der Atomhülle

**Energieabgabe** → Emission von elektromagnetischer Strahlung

**Energieaufnahme** → Absorption von elektromagnetischer Strahlung und Stoßanregung



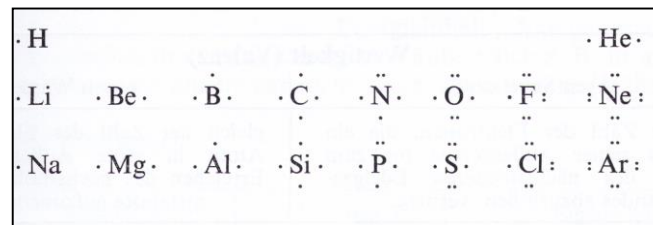
Schale	$n$ (Hauptquantenzahl)	Zahl der Elektronen = $2n^2$
K	1	$2 \cdot 1^2 = 2$
L	2	$2 \cdot 2^2 = 8$
M	3	$2 \cdot 3^2 = 18$
N	4	$2 \cdot 4^2 = 32$
O	5	$2 \cdot 5^2 = 50$
P	6	$2 \cdot 6^2 = 72$
Q	7	$2 \cdot 7^2 = 98$

Besetzungszahlen der Schalen im Bohr'schen Atommodell

Aufteilung der Elektronen auf die Schalen der Atomhülle

## Valenztheorie

	Schale							Elektronen- Gesamtzahl
	K	L	M	N	O	P	Q	
<b>Alkalimetalle:</b>								
Lithium	2	1						3
Natrium	2	8	1					11
Kalium	2	8	8	1				19
Rubidium	2	8	18	8	1			37
Cäsium	2	8	18	18	8	1		55
Francium	2	8	18	32	18	8	1	87
<b>Halogene:</b>								
Fluor	2	7						9
Chlor	2	8	7					17
Brom	2	8	18	7				35
Jod	2	8	18	18	7			53
Astat	2	8	18	32	18	7		85
<b>Edelgase:</b>								
Helium	2							2
Neon	2	8						10
Argon	2	8	8					18
Krypton	2	8	18	8				36
Xenon	2	8	18	18	8			54
Radon	2	8	18	32	18	8		86



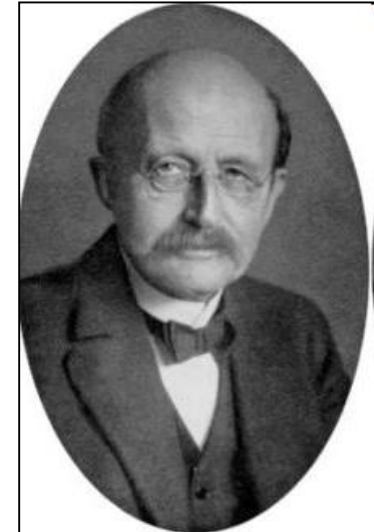
## Quantelung der Energie

**Planck übertrug die atomistische Auffassung auch auf die Energie.**

$$E = h \cdot \nu$$

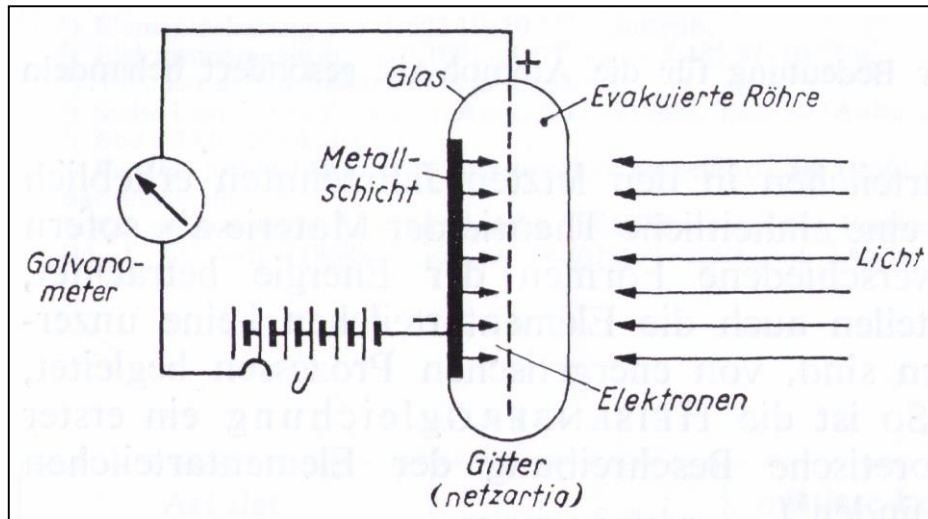
Die Energie der Quanten ist ihrer Frequenz proportional.

$$h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$



Max Planck  
(1858 - 1947)

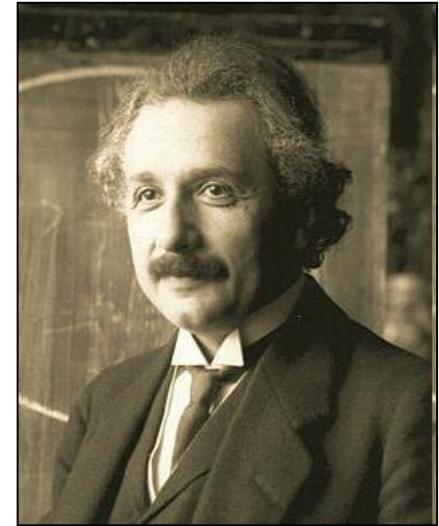
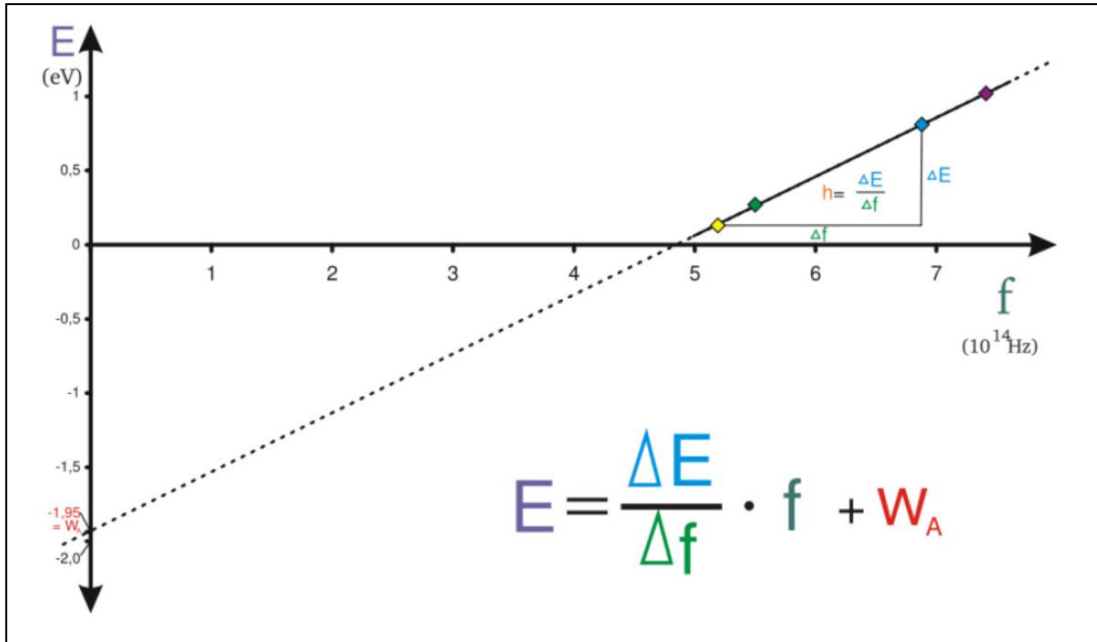
## Foto-Effekt und Lichtquanten



Wilhelm Hallwachs

(1859 - 1922)

# Photoelektrischer Effekt



Albert Einstein  
(1879 - 1955)

Nobelpreis für Physik 1922

$$h \cdot \nu = W_A + \frac{1}{2} m_e v^2$$

# Das Elektron

Wie groß ist die Elementarladung?

Mit der Feldenergie einer  
homogen geladenen Kugel

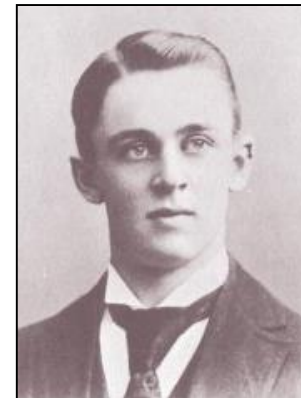
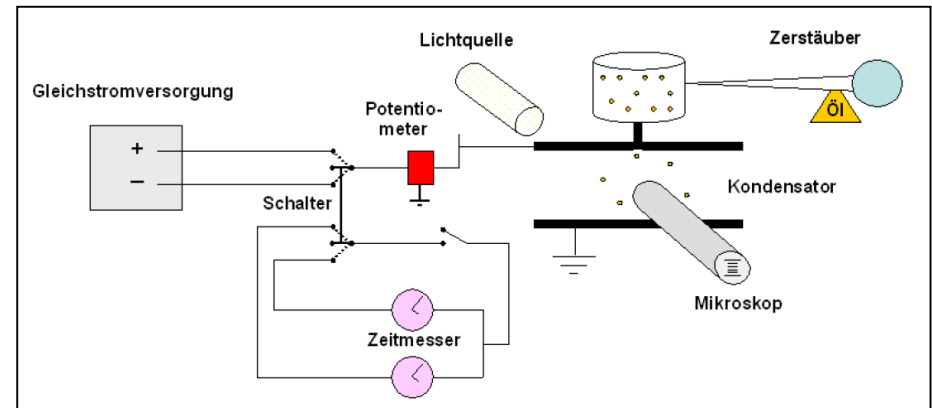
$$E = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e}$$

und aus der Ruheenergie  
der Elektronen

$$E = m_e c^2$$

folgt:

$$r_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2} = 2,817 \cdot 10^{-15} m$$



Robert A. Millikan  
(1868 - 1953)



# Der Millikan-Versuch

**Feld eingeschaltet  
Öltröpfchen schwebt**

**Feld ausgeschaltet  
Öltröpfchen sinkt**

---

**Kräftebilanz bei eingeschaltetem Feld**

$F_{\text{Gewicht}} - F_{\text{Auftrieb}} = F_{\text{Elektr. Feld}}$ $\dots = Q \cdot E$ $\dots = Q \cdot \frac{U}{d}$	<p>F Kraft in N d Plattenabstand in m Q Elektrische Ladung in C U Elektrische Spannung in V E Elektrische Feldstärke in V/m</p>
--	---

---

**Kräftebilanz bei ausgeschaltetem Feld**

$F_{\text{Gewicht}} - F_{\text{Auftrieb}} = F_{\text{Stokesche Reibung}}$ $m_{\text{Öl}} \cdot g - m_{\text{Luft}} \cdot g = 6 \pi r \cdot \mu_{\text{Luft}} \cdot v$ $V \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g = \dots$ $\frac{4}{3} \pi r^3 \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g = \dots$	<p>v Sinkgeschwindigkeit in m/s g Erdbeschleunigung in m/s<sup>2</sup> r Tröpfchenradius in m μ Viskosität in Ns/m<sup>2</sup> ρ Dichte in kg/m<sup>3</sup> F Kraft in N</p>
---	--

**Bestimmung des Radius eines fallenden Öltröpfchens  
aus seiner Sinkgeschwindigkeit**

$$r^3 = \frac{18 \pi r \cdot \mu_{\text{Luft}} \cdot v}{4 \pi \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu_{\text{Luft}} \cdot v}{2 \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g}}$$

**Herleitung der Formel für die Ladung  
des fallenden Öltröpfchens  $Q = f(U, d, v)$**

$$F_{\text{Gewicht}} - F_{\text{Auftrieb}} = \sqrt{\frac{162 \pi^2 \cdot \mu_{\text{Luft}}^3}{(\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g}} \cdot \sqrt{v^3} = Q \cdot \frac{U}{d}$$

$$\sqrt{\frac{162 \pi^2 \cdot \mu_{\text{Luft}}^3}{(\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g}} \cdot \sqrt{v^3} \cdot \frac{d}{U} = Q$$

$e = 1,602176462 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

## ... und die Elektronenmasse

elektrische Ladungen in magnetischen Feldern

aus  $v \times B$  folgt eine Kreisbewegung der elektrischen  
Ladungen im magnetischen Feld

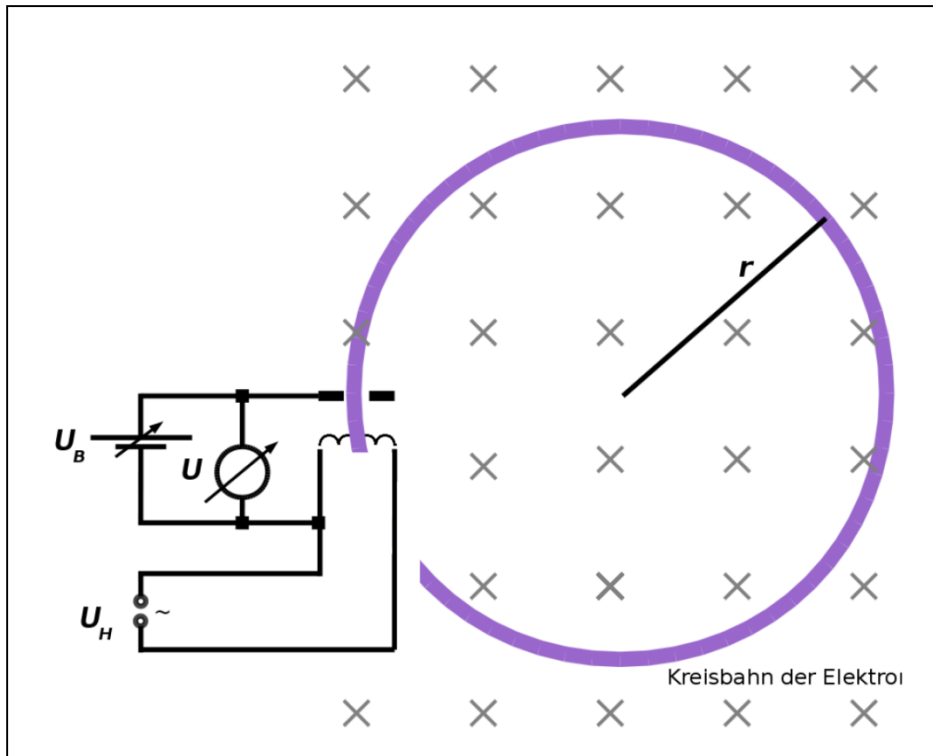
$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = \mathbf{F}_z$$

$$e \cdot v \cdot B = m_e \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{(B \cdot r)}$$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{r^2 \cdot B^2}$$

# Fadenstrahlrohr



$$r = 4\text{cm}$$

$$I_{\text{Spule}} = 2\text{A}$$

$$B = 1,44\text{mT}$$

$$U = 295\text{V}$$



$$\frac{e}{m_e} = 1,778 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

**Literaturwert:  $1,7588202 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$**

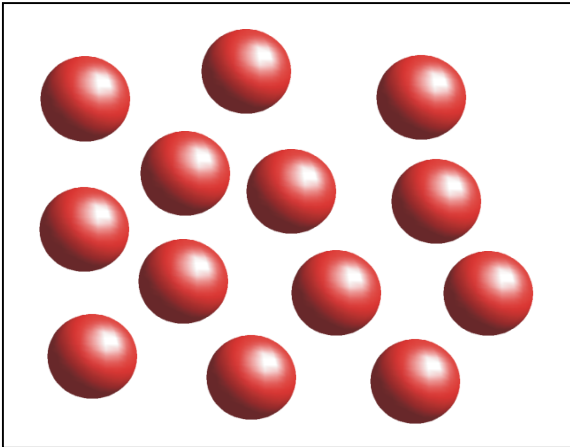
und mit  $e$  ergibt sich die Masse

$$m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

# Ionisation von Atomen

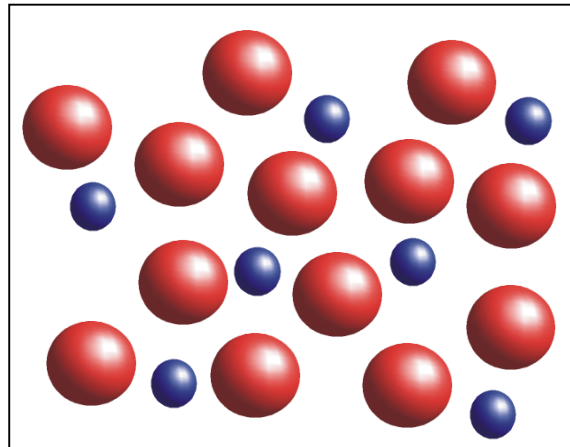
Erzeugung ionisierter Gase (Plasma) durch Stoßionisation

$$\sum q_i n_i = n_e$$



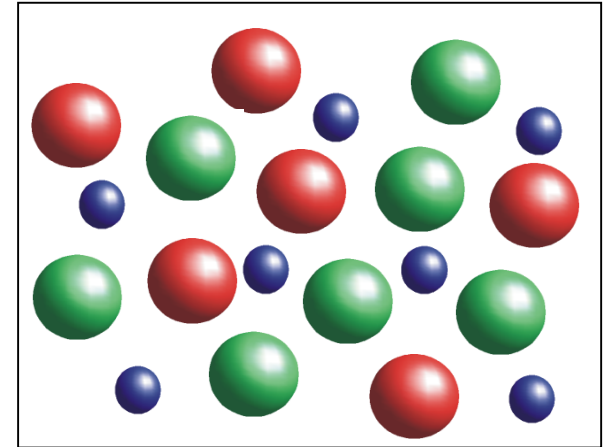
Bereitstellung freier Atome im  
Plasmagenerator durch:

- Einlassen eines Arbeitsgases
- Schmelzen und Verdampfen
- Sputtern von Feststoffen



Bereitstellung freier  
Elektronen durch:

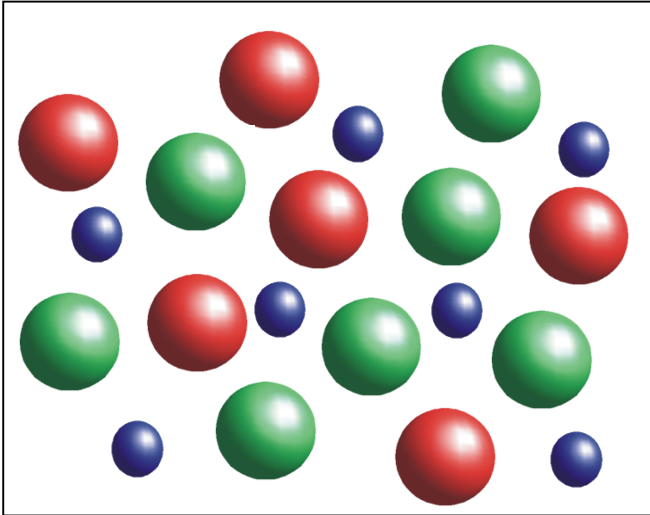
- Glühemission
- Photoionisation
- Funkenentladung



Bereitstellung der Ionisations-  
energie durch:

- Beschleunigung der Elektronen
- HF-Heizung
- E x B-Drift

## Plasmaparameter



Debye - Länge

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e (1 + q k T_e / k T_i)}}$$

Plasmafrequenz

$$\omega_{pe}^2 = \frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e}$$

Wann ist ein Plasma ein Plasma?

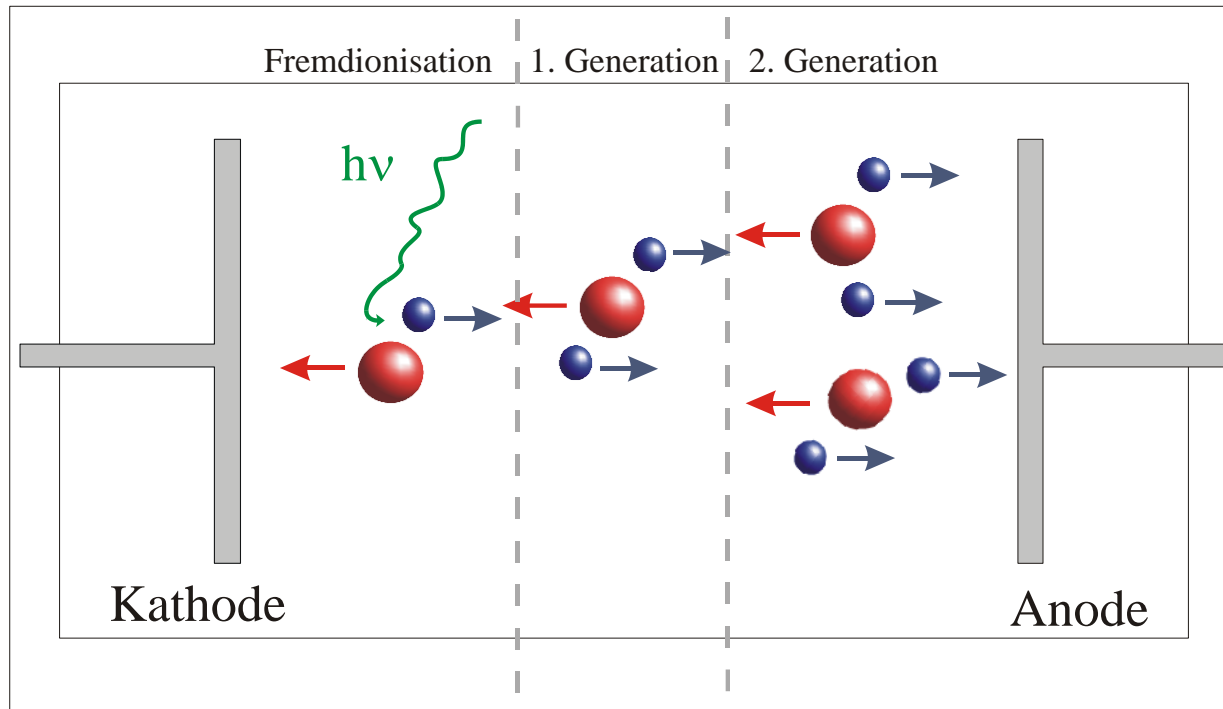
- Anzahl der Partikel in der Debye-Kugel  $n \lambda_D \gg 1$
- Debye-Länge ist kleiner als die Ausdehnung des Plasmas  $\lambda_D < L$
- Zeitlängen sind größer als  $T > 2\pi/\omega_{pe}$
- Quasineutralität



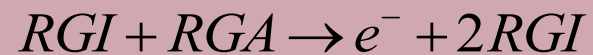
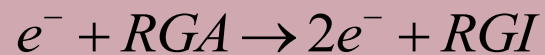
Peter Debye

(1884 - 1966)

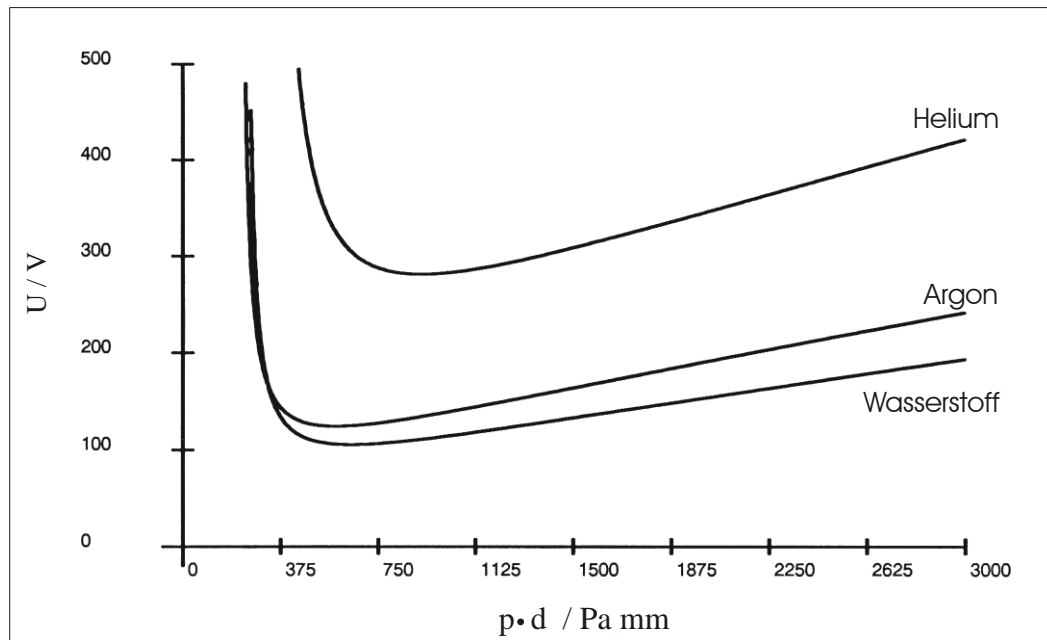
## Erzeugung von freien Ladungsträgern



Beobachtung: Die Erzeugung von freien Ladungsträgern ist proportional zum Gasdruck und dem elektrischen Feld.



## Oberhalb der Paschen - Kurven zündet eine Gasentladung



Friedrich Paschen

(1865 - 1947)

## Experimente mit der Geißler – Röhre

a) Astonscher Dunkelraum

b) Kathodenschicht Ionen  
(Kathodenaufprall)

c) Hittorfscher Dunkelraum

d) Glimmsaum

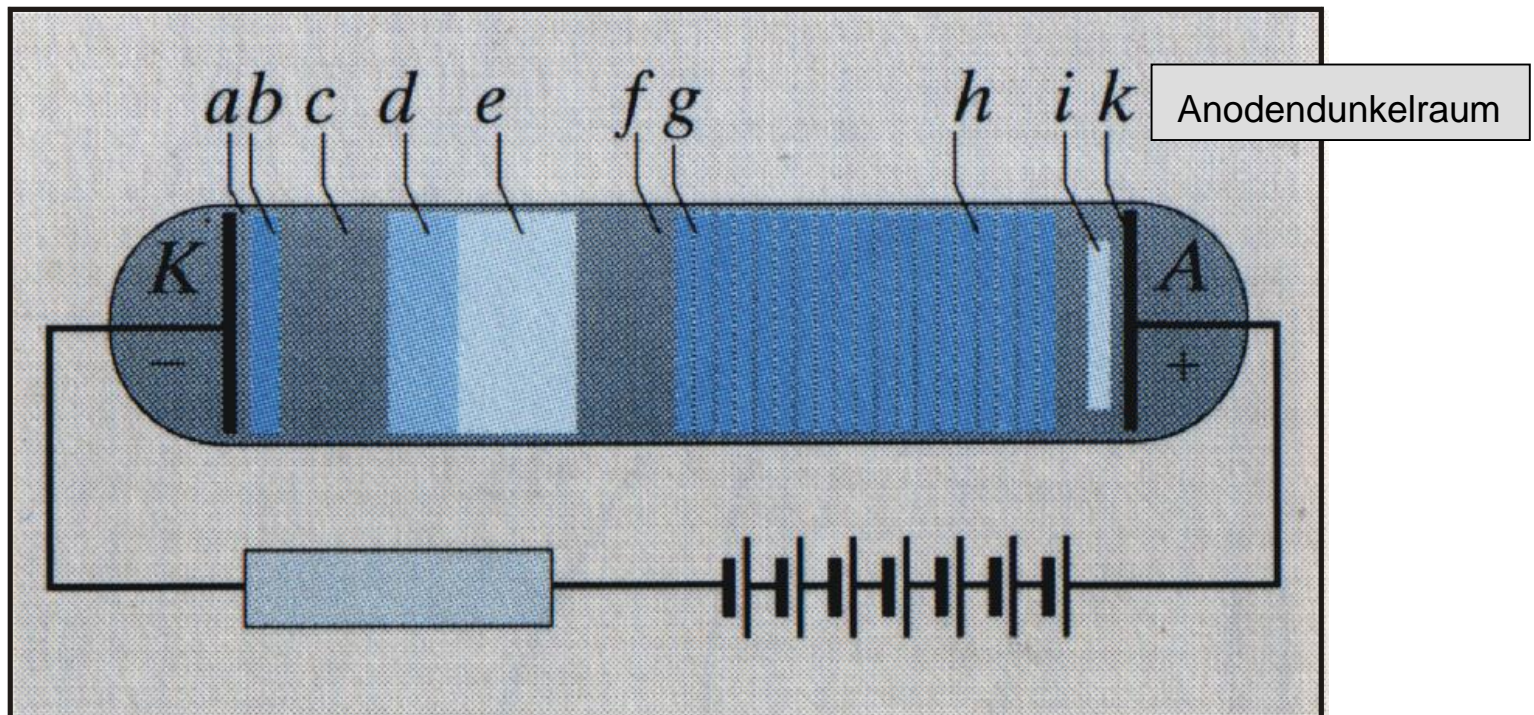
e) negatives Glimmlicht

f) Farradayscher  
Dunkelraum

g) Scheitel der positiven  
Säule

h) positive Säule

i) anodisches Glimmlicht



Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus mit gezündeter Gasentladung



## Welle-Teilchen-Dualismus

$$h \cdot \nu = \frac{1}{2} m v^2$$

mit

$$p = \sqrt{2mE_{kin}}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_{kin}}}$$

(nicht relativistisch)

$$\lambda = \frac{h}{p}$$



Louis-Victor Pierre Raymond  
de Broglie

(1892 - 1987)