

3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

Die Physik um 1900

Abgeschlossene Arbeiten:

Maxwells Theorie des Elektromagnetismus
Thermodynamik und Kinetische Gastheorie (Boltzmann)

Offene Fragen:

Das Spektrum thermischer Strahlungsquellen
Die Realität der Atome

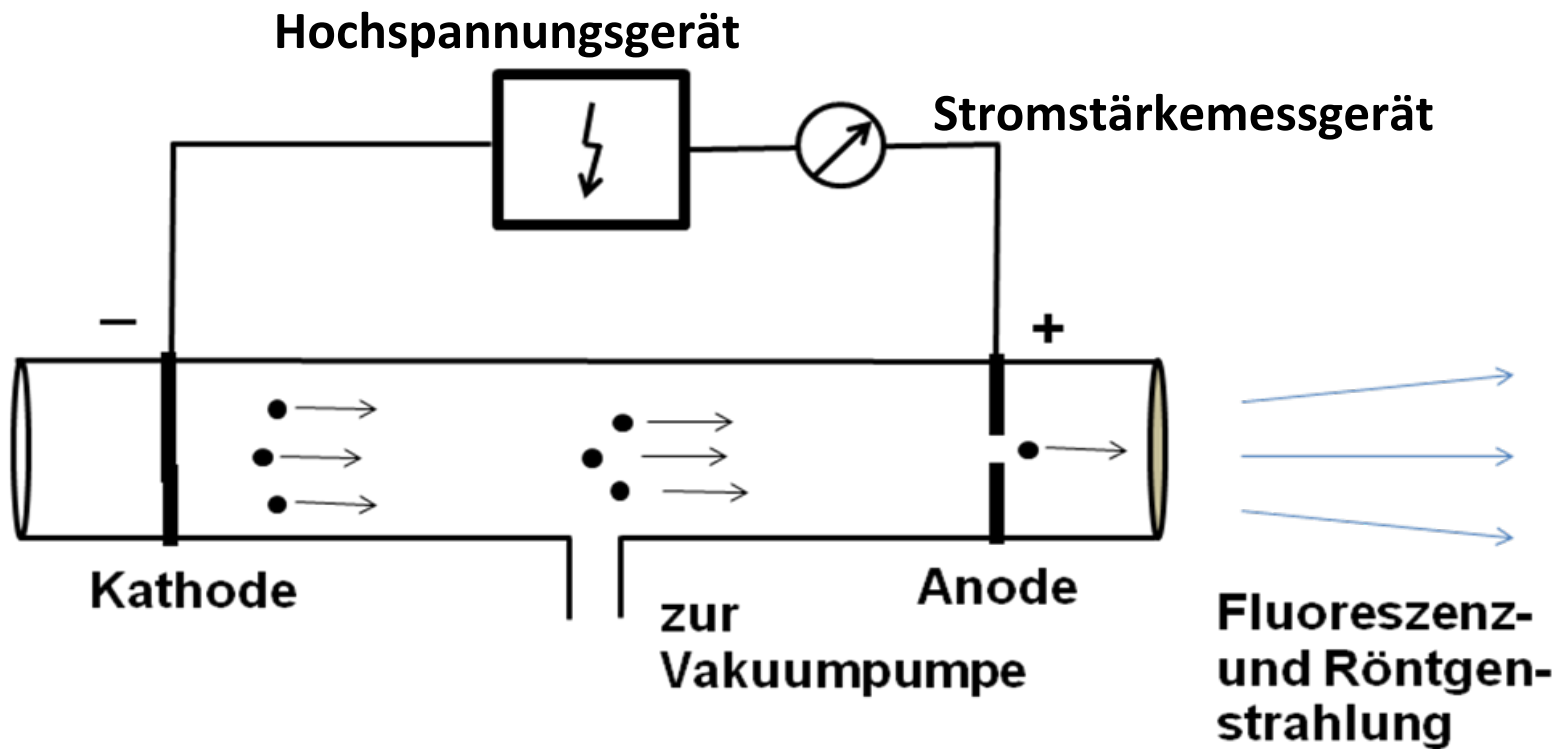
Neue Entdeckungen:

1895 Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen
1896 Radioaktivität durch Henri Becquerel
1897 Das Elektron durch Joseph John Thomson

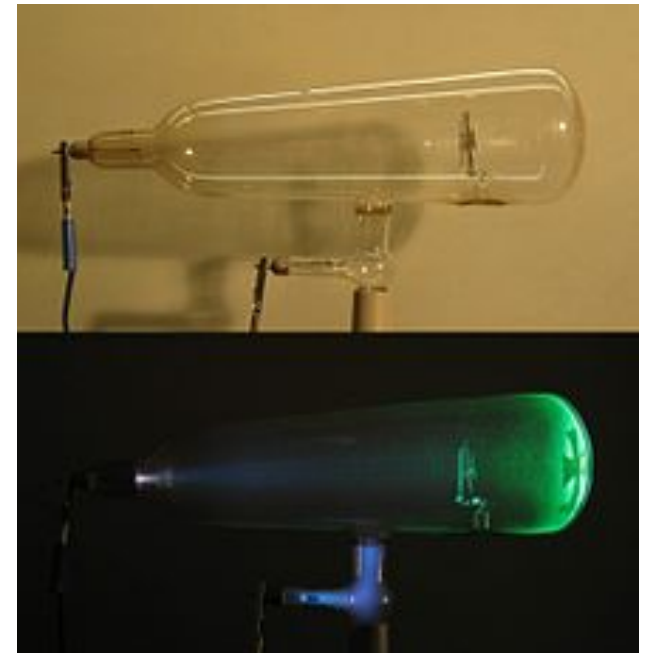
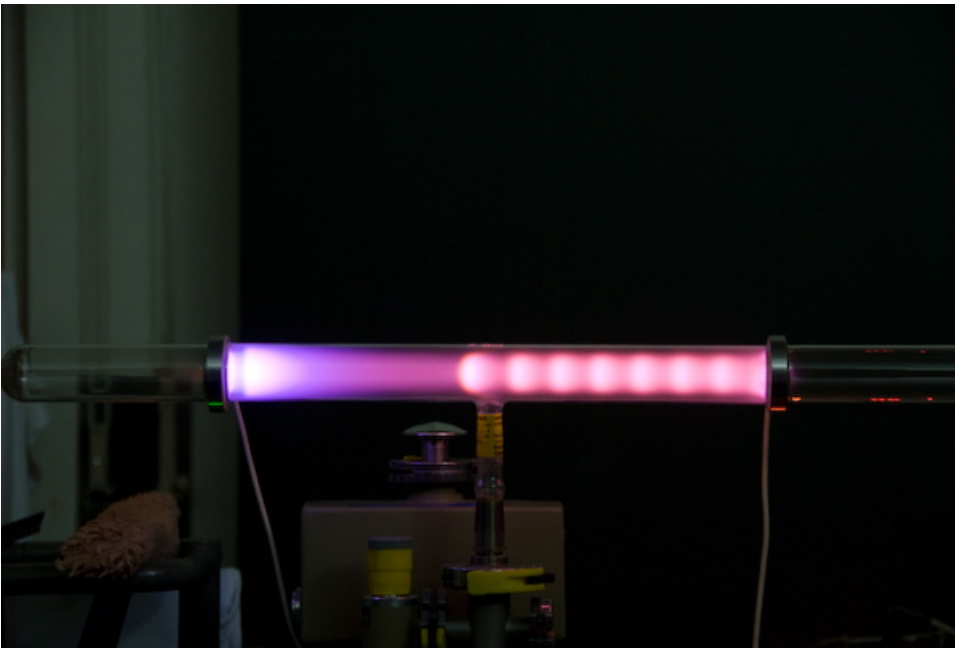
Theoretische Durchbrüche:

1900 Plancks Quantenhypothese
1905 Einsteins Spezielle Relativitätstheorie

Gasentladungsröhre

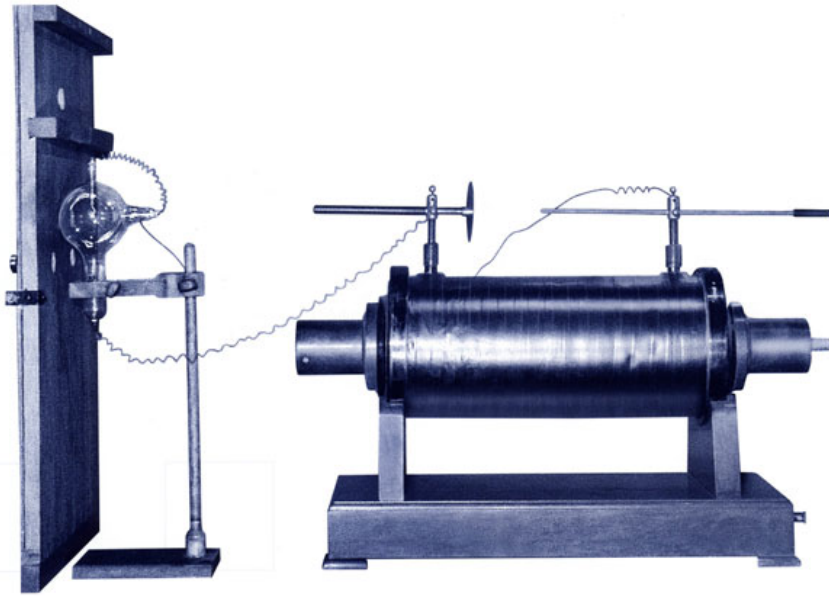


Experimente zur Gasentladung



Schattenkreuzröhre

Röntgens Originale



Versuchsapparatur aus dem Jahre 1895
(Deutsches Museum, München)

Aus den Sitzungsberichten der Würzburger Physik-med. Gesellschaft 1895.

W. C. Röntgen: Ueber eine neue Art von Strahlen.

(Vorläufige Mittheilung.)

1. Lässt man durch eine *Hittorf'sche* Vacuumröhre, oder einen genügend evacuirten *Lenard'schen*, *Crookes'schen* oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines grösseren *Ruhmkorff's* gehen und bedeckt die Röhre mit einem ziemlich eng anliegenden Mantel aus dünnem, schwarzem Carton, so sieht man in dem vollständig verdunkelten Zimmer einen in die Nähe des Apparates gebrachten, mit Bariumplaticyanür angestrichenen Papierschirm bei jeder Entladung hell aufleuchten, fluoresciren, gleichgültig ob die angestrichene oder die andere Seite des Schirmes dem Entladungsapparat zugewendet ist. Die Fluorescenz ist noch in 2 m Entfernung vom Apparat bemerkbar.

Man überzeugt sich leicht, dass die Ursache der Fluorescenz vom Entladungsapparat und von keiner anderen Stelle der Leitung ausgeht.

2. Das an dieser Erscheinung zunächst Auffallende ist, dass durch die schwarze Cartonhülse, welche keine sichtbaren oder ultravioletten Strahlen des Sonnen- oder des elektrischen Bogenlichtes durchlässt, ein Agens hindurchgeht, das im Stande ist, lebhaft Fluorescenz zu erzeugen, und man wird deshalb wohl zuerst untersuchen, ob auch andere Körper diese Eigenschaft besitzen.

Man findet bald, dass alle Körper für dasselbe durchlässig sind, aber in sehr verschiedenem Grade. Einige Beispiele führe ich an. Papier ist sehr durchlässig: ¹⁾ hinter einem eingebundenen Buch von ca. 1000 Seiten sah ich den Fluorescenzschirm noch deutlich leuchten; die Druckerschwärze bietet kein merkliches Hinderniss. Ebenso zeigte sich Fluorescenz hinter einem doppelten Whistspiel; eine einzelne Karte zwischen Apparat

¹⁾ Mit „Durchlässigkeit“ eines Körpers bezeichne ich das Verhältniss der Helligkeit eines dicht hinter dem Körper gehaltenen Fluorescenzschirmes zu derjenigen Helligkeit des Schirmes, welcher dieser unter denselben Verhältnissen aber ohne Zwischenschaltung des Körpers zeigt.

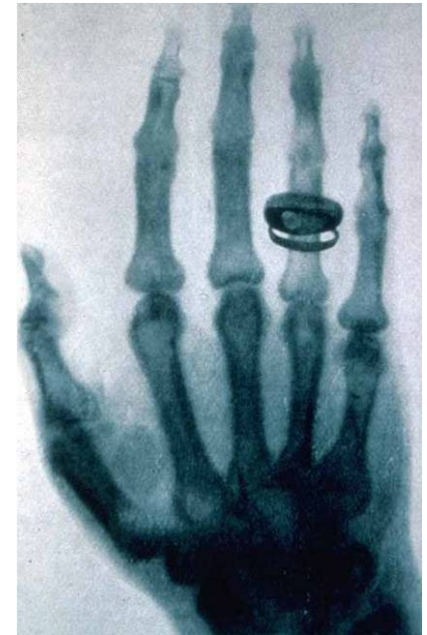
Röntgens Bilder von zwei Händen



Die schwarzen Punkte sind Schrotkugeln, die bei einem Jagdunfall in die Hand gelangt waren.

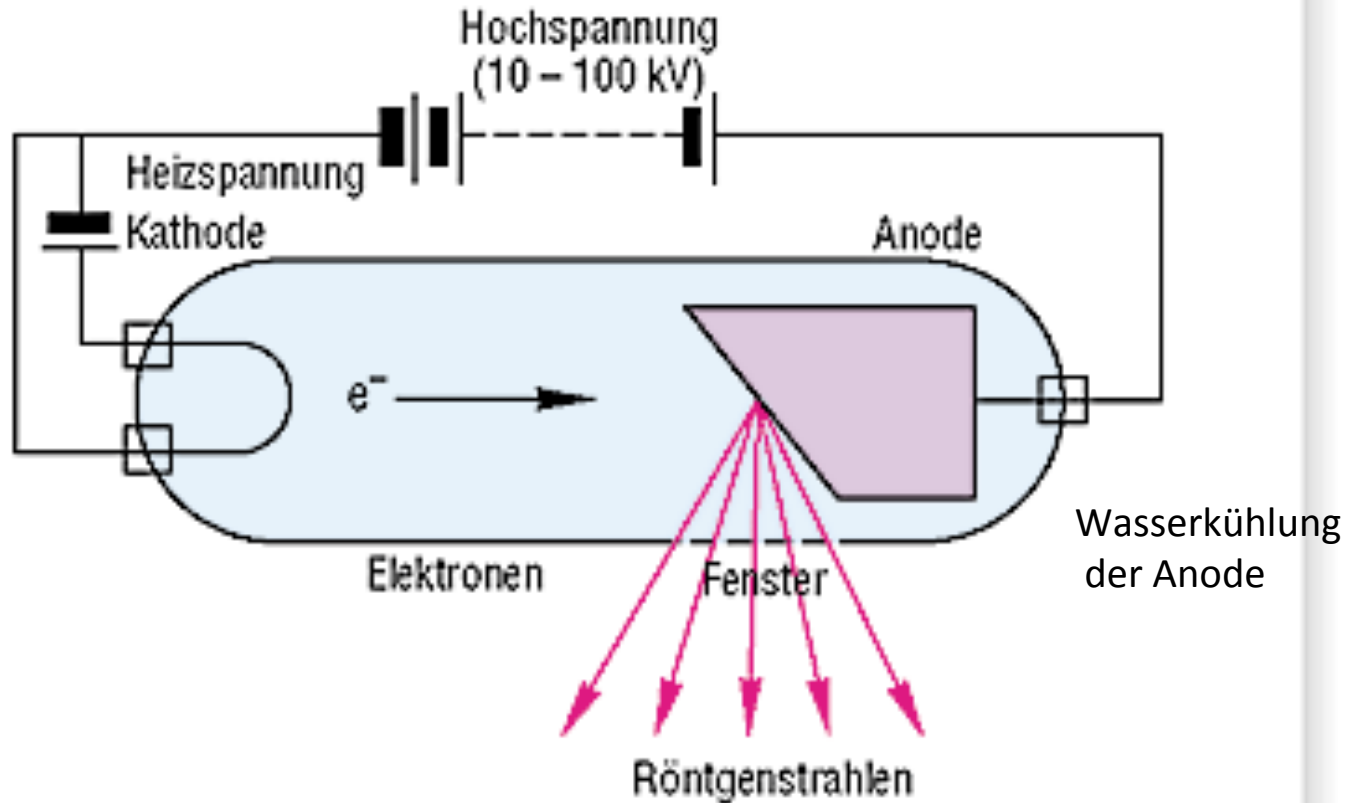
Das linke Bild wurde im Februar 1896, also 3 Monate nach Entdeckung der Röntgenstrahlen aufgenommen.

Das rechte Bild zeigt die Hand des Anatomen Albert von Koelliker aufgenommen von Röntgen im Januar 1896



Auf dieser Aufnahme sind sehr gut die Unterschiede in der Absorption der Strahlung durch verschiedene Materialien zu erkennen

Prinzip einer Röntgenröhre



3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923)



- 1845 Geboren in Lennep bei Remscheid
- 1864 Studium der Ingenieurwissenschaften am Polytechnikum in Zürich, anschließend Promotion in Physik
- 1874 Dozent für Physik in Straßburg
- 1888 Professor an der Universität Würzburg
- 1895 Entdeckung der x-Strahlen
- 1900 Professor in München
- 1901 Erster Nobelpreis für Physik
- 1923 Gestorben in München

Physik-Nobelpreise 1901 - 1906

1901	Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923)	Deutsches Reich	„als Anerkennung des außerordentlichen Verdienstes, den er sich durch die Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen erworben hat“
1902	Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928)	Niederlande	„als Anerkennung des außerordentlichen Verdienstes, den sie sich durch ihre Untersuchungen über den Einfluss des Magnetismus auf die Strahlungsphänomene erworben haben“ (Aufspaltung von Spektrallinien im Magnetfeld, Zeeman-Effekt)
	Pieter Zeeman (1865–1943)	Niederlande	
1903	Antoine Henri Becquerel (1852–1908)	Frankreich	„als Anerkennung des außerordentlichen Verdienstes, den er sich durch die Entdeckung der spontanen Radioaktivität erworben hat“
	Marie Curie (1867–1934)	Frankreich	„als Anerkennung des außerordentlichen Verdienstes, den sie sich durch ihre gemeinsamen Arbeiten über die von H. Becquerel entdeckten Strahlungsphänomene erworben haben“
	Pierre Curie (1859–1906)	Frankreich	
1904	John William Strutt, 3. Baron Rayleigh (1842–1919)	Vereinigtes Königreich	„für seine Untersuchungen über die Dichte der wichtigsten Gase und seine im Zusammenhang damit gemachten Entdeckung des Argons “
1905	Philipp Lenard (1862–1947)	Deutsches Reich	„für seine Arbeiten über die Kathodenstrahlen “
1906	Joseph John Thomson (1856–1940)	Vereinigtes Königreich	„als Anerkennung des großen Verdienstes, den er sich durch seine theoretischen und experimentellen Untersuchungen über den Durchgang der Elektrizität durch Gase erworben hat“



3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

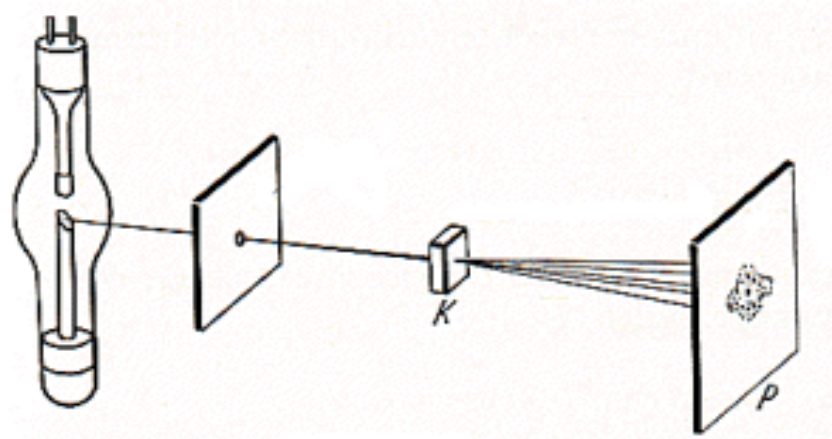
3.10 Biographie Rutherford

3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

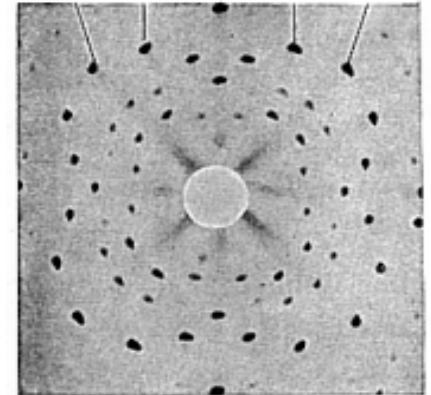


Max von Laue
(1879 – 1960)

Röntgenbeugung an Kristallen



Prinzip der Apparatur



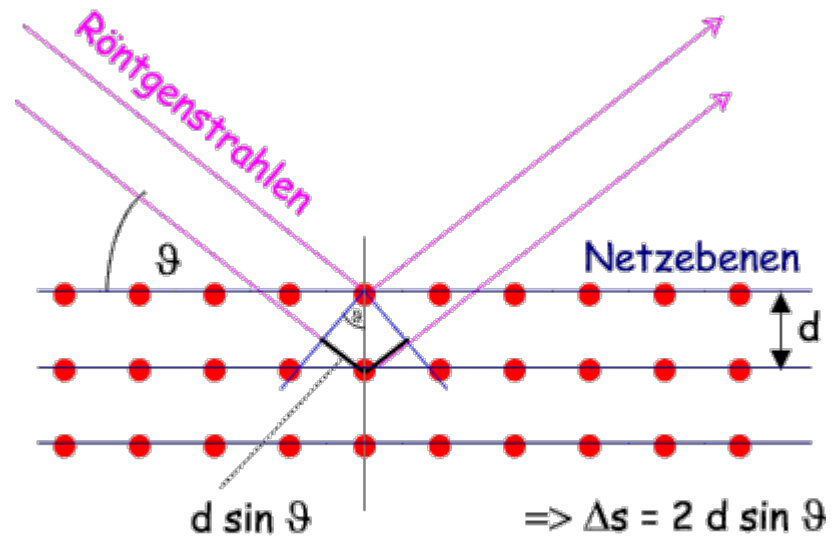
Interferenzbild

1912: Experiment mit
Friedrich und Knipping
1914: Nobelpreis



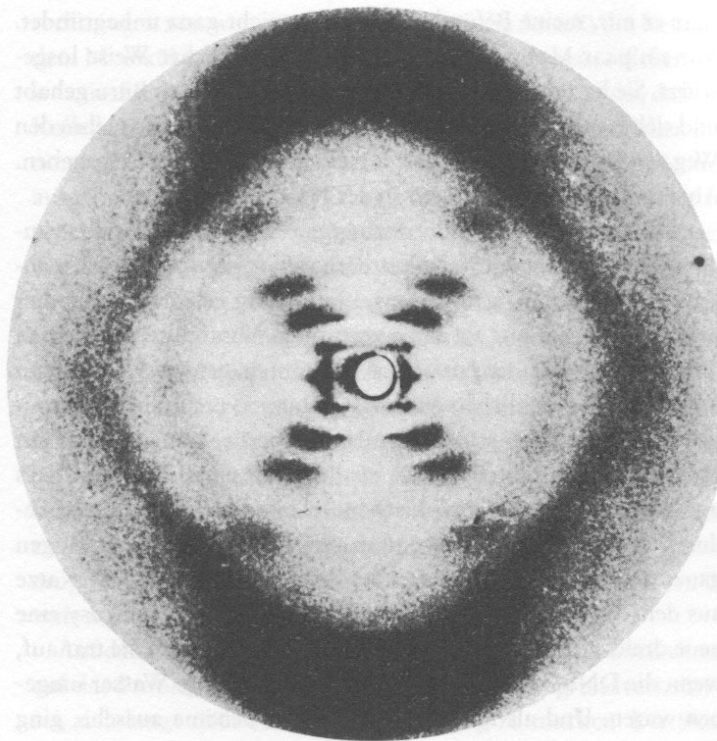
NaCl-Kristall
Netzebenenabstand : $283 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Bragg-Bedingung für konstruktive Interferenz

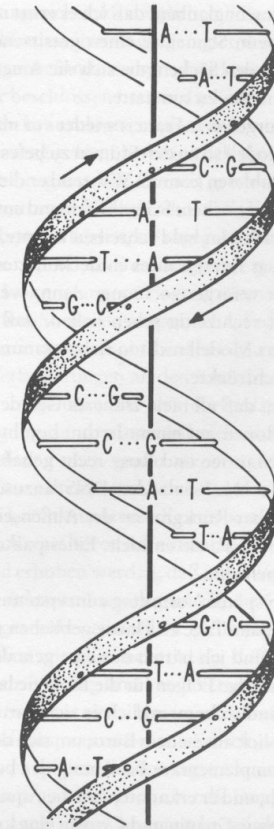


\Rightarrow Verstärkung für $k \lambda = 2 d \sin \vartheta$

Die Doppelhelixstruktur der DNS



Eine Röntgenbeugungsaufnahme der DNS in ihrer B-Form, Ende 1952 aufgenommen von Rosalind Franklin.



Eine schematische Darstellung der Doppelhelix. Die beiden Zucker-Phosphat-Rückgrate schlingen sich auf der Außenseite um die flachen wasserstoffgebundenen Basenpaare, die den Kern bilden. So betrachtet gleicht die Struktur einer Wendeltreppe, deren Stufen durch die Basenpaare gebildet werden.

3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

Die Entdeckung der Radioaktivität durch Henri Becquerel (1852-1908)



Schwärzung des Films

3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

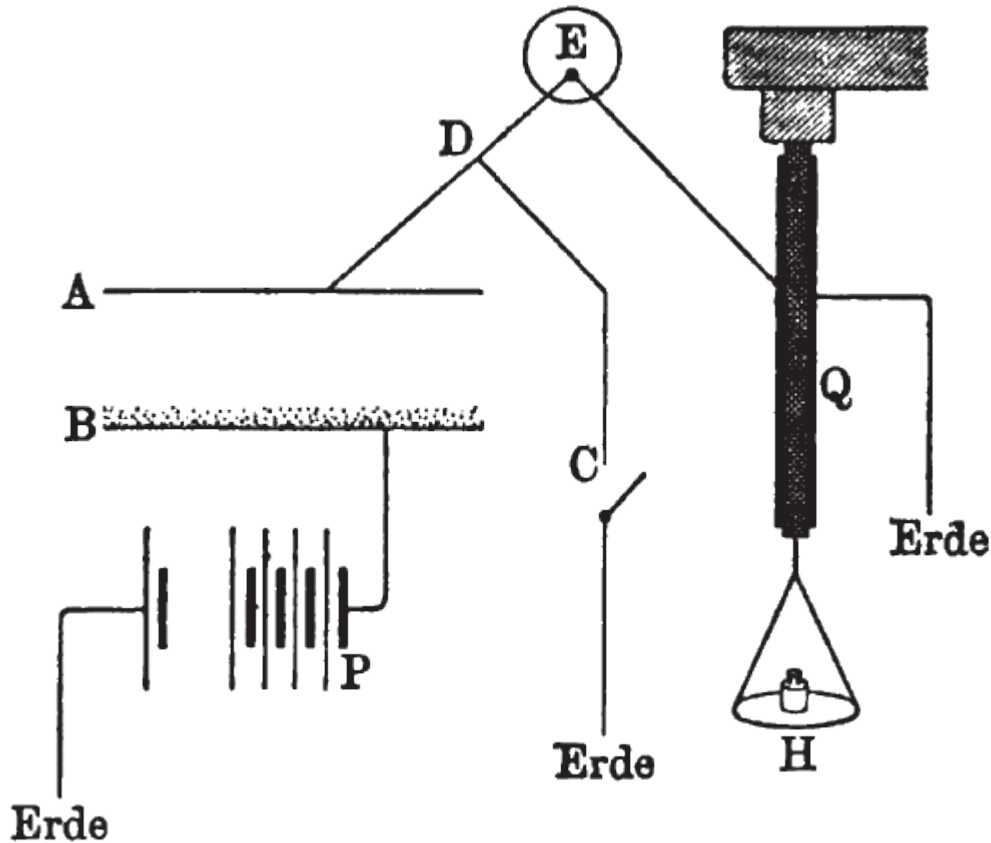
3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

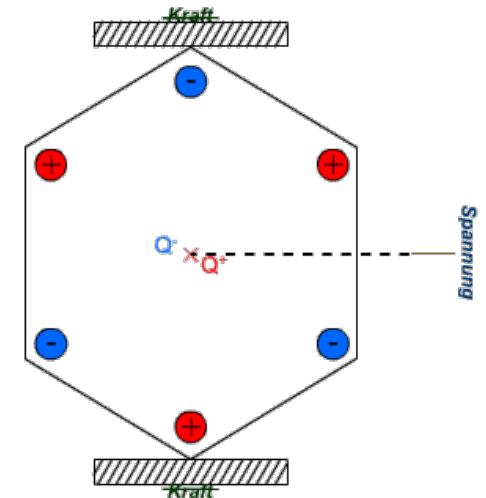
3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

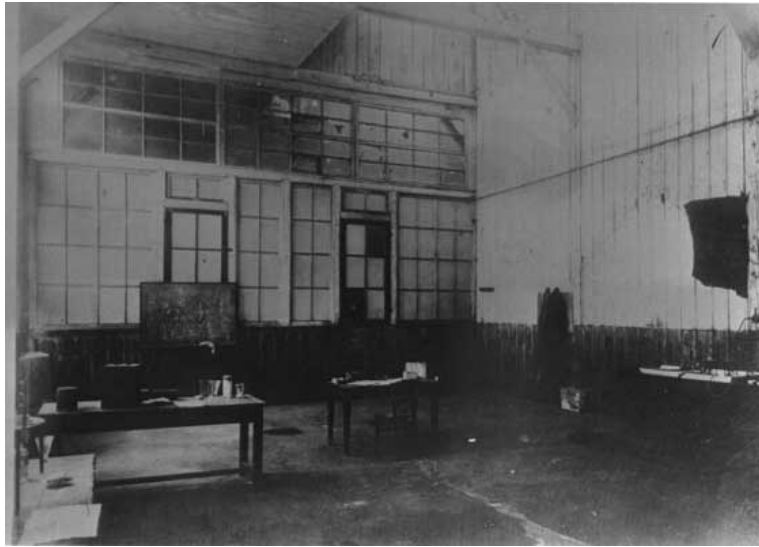
Anordnung zur Messung der Radioaktivität



- A, B Plattenkondensator
- C Schalter
- E Elektrometer
- H Schale für Gewichte
- P Batterie
- Q Piezoelektrischer Quarz

Der direkte Piezoeffekt wurde im Jahre 1880 von den Brüdern [Jacques](#) und [Pierre Curie](#) entdeckt. Auf diesem basiert das Piezo-Elektrometer zum Messung der Spannungen am Elektrometer E durch Beobachtung der Elongation des piezoelektrischen Quarzes Q





Die Entdeckung des Poloniums und Radiums durch Marie und Pierre Curie



Pechblende oder Uraninit



Zusammensetzung: Hauptsächlich UO_2 . Durch den radioaktiven Zerfall enthält Uraninit stets einen gewissen Anteil [Bleioxid](#) (PbO), der in Abhängigkeit vom geologischen Alter bis zu 20 % betragen kann. (Im Gleichgewicht befindet sich auch Radium unter den Zerfallsprodukten: etwa 0.3g Radium pro 1t Uranmetall)

Befindet sich das Uran im [säkularen Gleichgewicht](#) mit seinen [Tochternukliden](#), weist reiner Uraninit eine [spezifische Aktivität](#) von etwa 157,8 $\text{kBq/g}^{[2]}$ auf (zum Vergleich: natürliches [Kalium](#) 31,2 Bq/g ;



[abgebrannter Kernbrennstoff](#) 18 $\text{GBq/g}^{[5]}$). Deshalb sollte Uraninit nur unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen gelagert und verarbeitet werden.

Periodensystem der Elemente

1																	18	
1	H Wasserstoff 1.01																	He Helium 4.00
2	Li Lithium 6.94	Be Beryllium 9.01											B Bor 10.81	C Kohlenstoff 12.01	N Stickstoff 14.01	O Sauerstoff 15.999	F Fluor 18.998	Ne Neon 20.18
3	Na Natrium 22.99	Mg Magnesium 24.31											Al Aluminium 26.98	Si Silicium 28.09	P Phosphor 30.97	S Schwefel 32.07	Cl Chlor 35.45	Ar Argon 39.95
4	K Kalium 39.10	Ca Calcium 40.08	Sc Scandium 44.96	Ti Titan 47.88	V Vanadium 50.94	Cr Chrom 52.00	Mn Mangan 54.94	Fe Eisen 55.85	Co Cobalt 58.93	Ni Nickel 58.70	Cu Kupfer 63.55	Zn Zink 65.41	Ga Gallium 69.72	Ge Germanium 72.64	As Arsen 74.92	Se Selen 78.96	Br Brom 79.90	Kr Krypton 83.80
5	Rb Rubidium 85.47	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.91	Zr Zirkonium 91.22	Nb Niobium 92.91	Mo Molybdän 95.94	Tc Technetium (98)	Ru Ruthenium 101.07	Rh Rhodium 102.91	Pd Palladium 106.42	Ag Silber 107.87	Cd Cadmium 112.41	In Indium 114.82	Sn Zinn 118.71	Sb Antimon 121.76	Te Tellur 127.60	I Iod 126.90	Xe Xenon 131.29
6	Cs Cäsium 132.91	Ba Barium 137.33	La-Lu	Hf Hafnium 178.49	Ta Tantal 180.95	W Wolfram 183.84	Re Rhenium 186.21	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.22	Pt Platin 195.08	Au Gold 196.97	Hg Quecksilber 200.59	Tl Thallium 204.38	Pb Blei 207.2	Bi Bismut 208.98	Po Polonium (209)	At Astat (210)	Rn Radon (222)
7	Fr Francium (223)	Ra Radium (226)	Ac-Lr	Rf Rutherfordium (261)	Db Dubnium (262)	Sg Seaborgium (263)	Bh Bohrium (262)	Hs Hassium (265)	Mt Meitnerium (266)	Ds Darmstadtium (281)	Rg Roentgenium (272)							

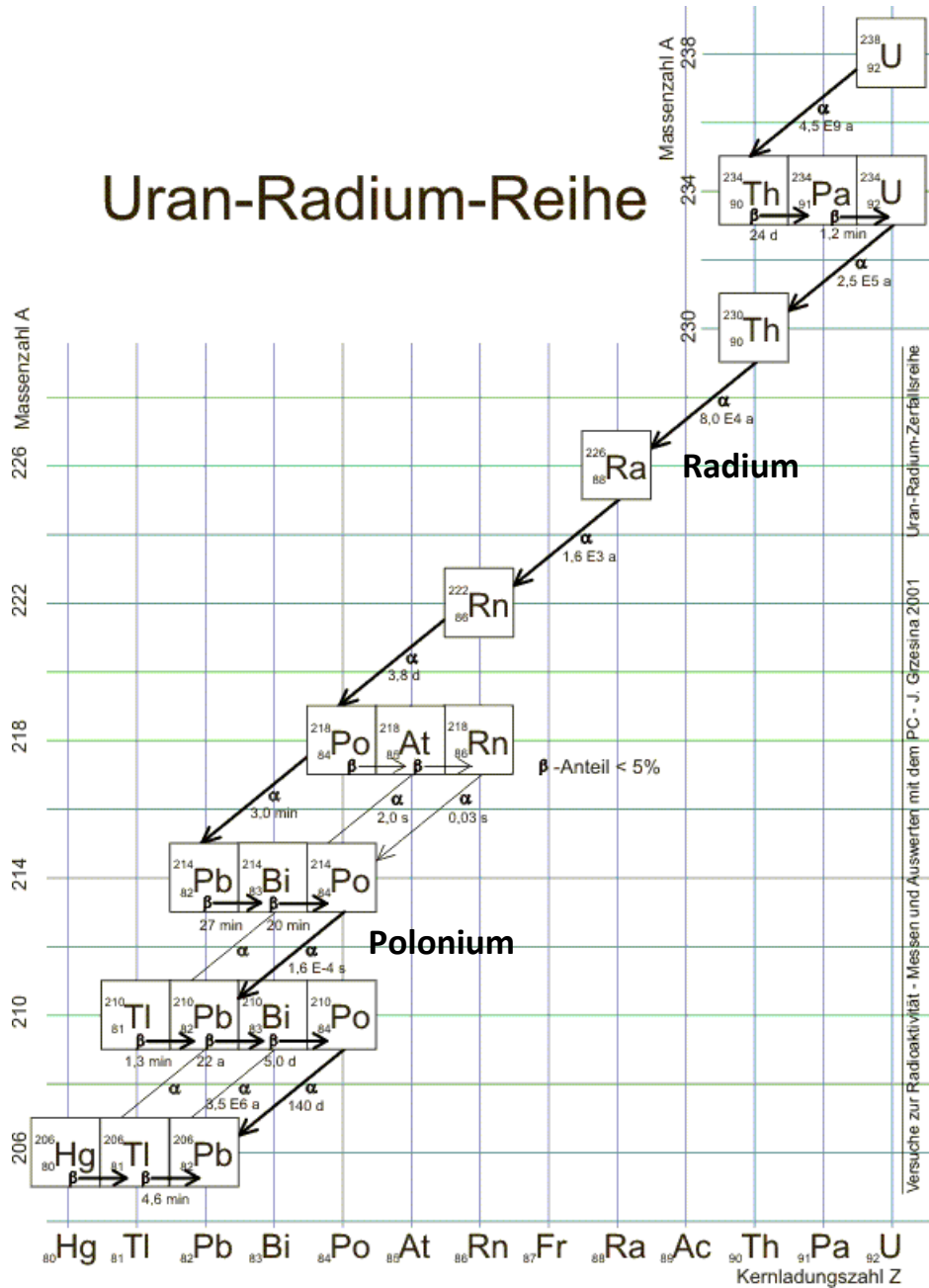
Ordnungszahl — **6** **Fe** — Feste Elemente
 Elementsymbol — **C** **O** — Gasförmige Elemente
 Elementname — **Kohlenstoff** **Hg** — Flüssige Elemente (20°C)
 Rel. Atommasse — **12.01** **Tc** — Radioaktive Elemente

Radium

Polonium

57 La Lanthan 138.91	58 Ce Cer 140.12	59 Pr Praseodym 140.91	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promethium (147)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.97	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97
89 Ac Actinium 227.03	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uran 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Uran-Radium-Reihe



3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

Marie Curie (1867 – 1934)



- 1867 Geboren als Maria Sklodowska in Warschau
- 1868 Vater Leiter eines Gymnasiums, Mutter Leiterin einer Mädcheschule
- 1891 Emigration nach Paris, dort Studium der Physik und Mathematik
- 1895 Heirat ihres Lehrers Pierre Curie
- 1900-1906 Lehrerin an einer Grundschule
- 1903 Promotion und Nobelpreis für Physik für die Entdeckung der Radioaktivität
- 1906 Pierre Curie stirbt, Marie Curie übernimmt seine Professur an der Sorbonne
- 1911 Nobelpreis für Chemie für die Entdeckung des Radiums
- 1914 Leitung des Radium-Instituts der Pariser Universität, Einrichtung von mobilen Röntgenstationen an der Front
- 1921 Triumphale Reise durch die USA
- 1934 Ihre Tochter Irène und ihr Schwiegersohn Frédéric Joliot-Curie entdecken die künstliche Radioaktivität
- 1934 Tod durch Leukämie

3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

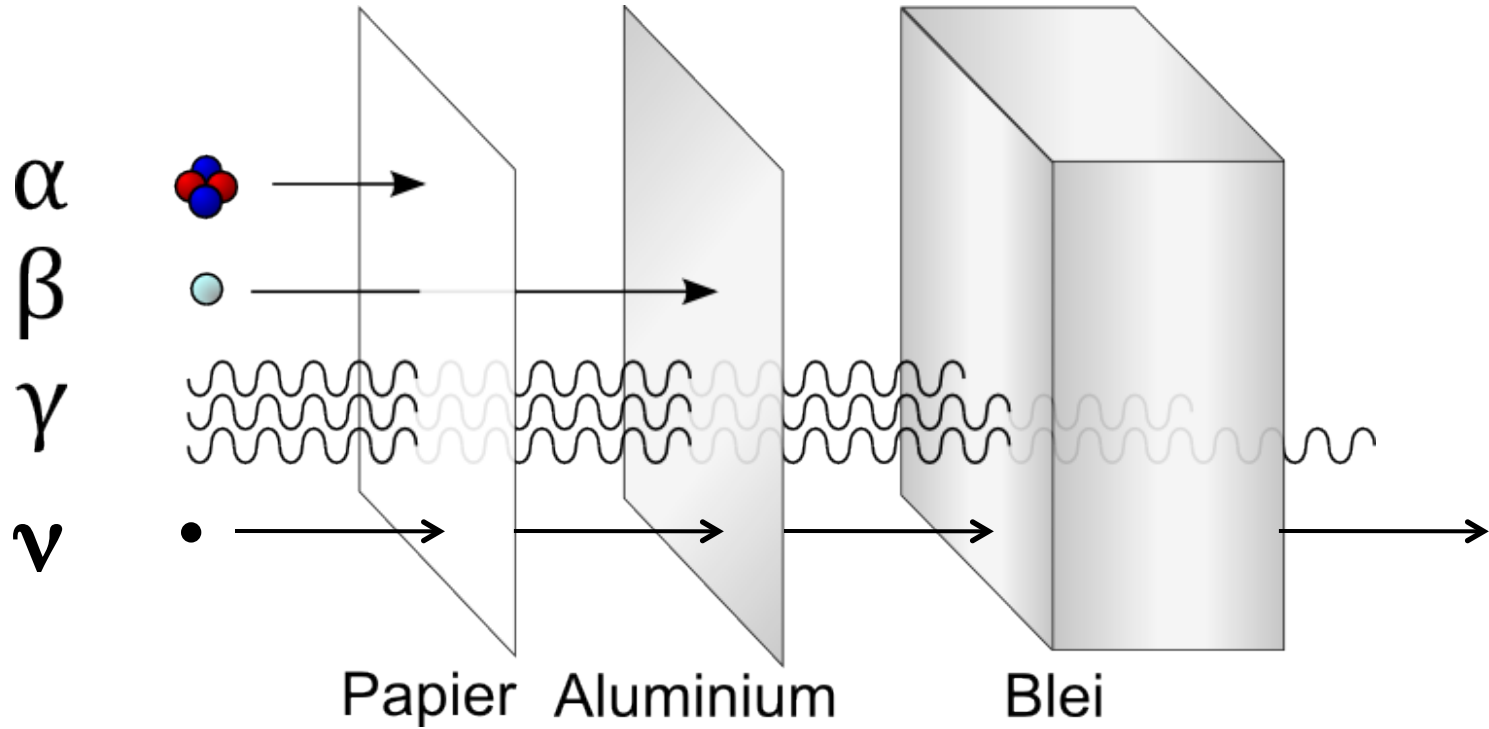
3.8 Biographie Marie Curie

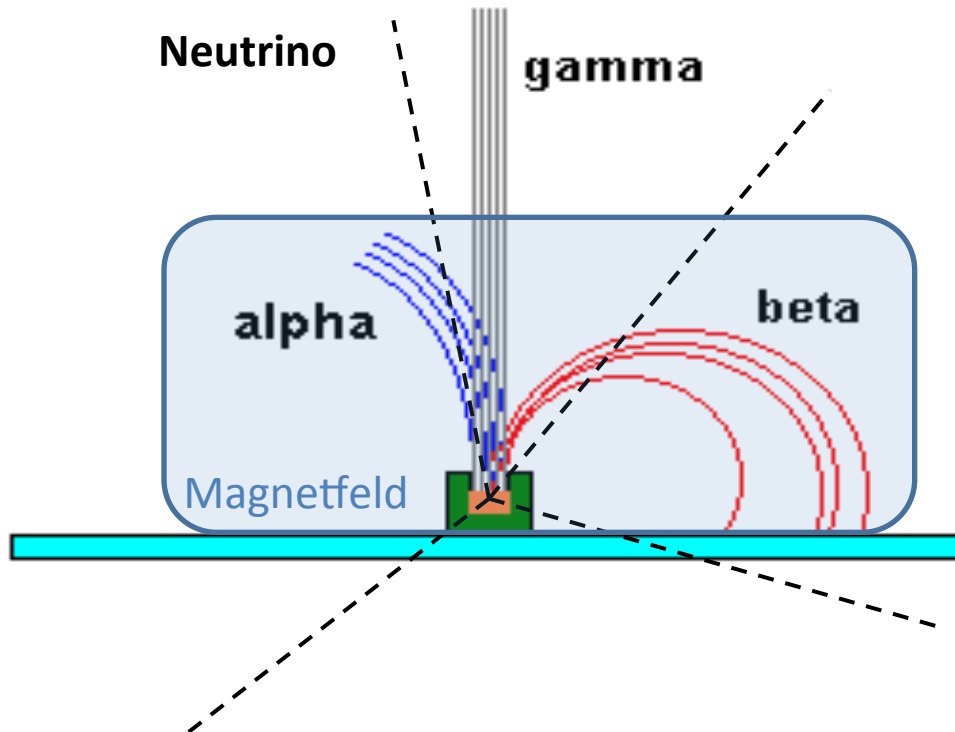
3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

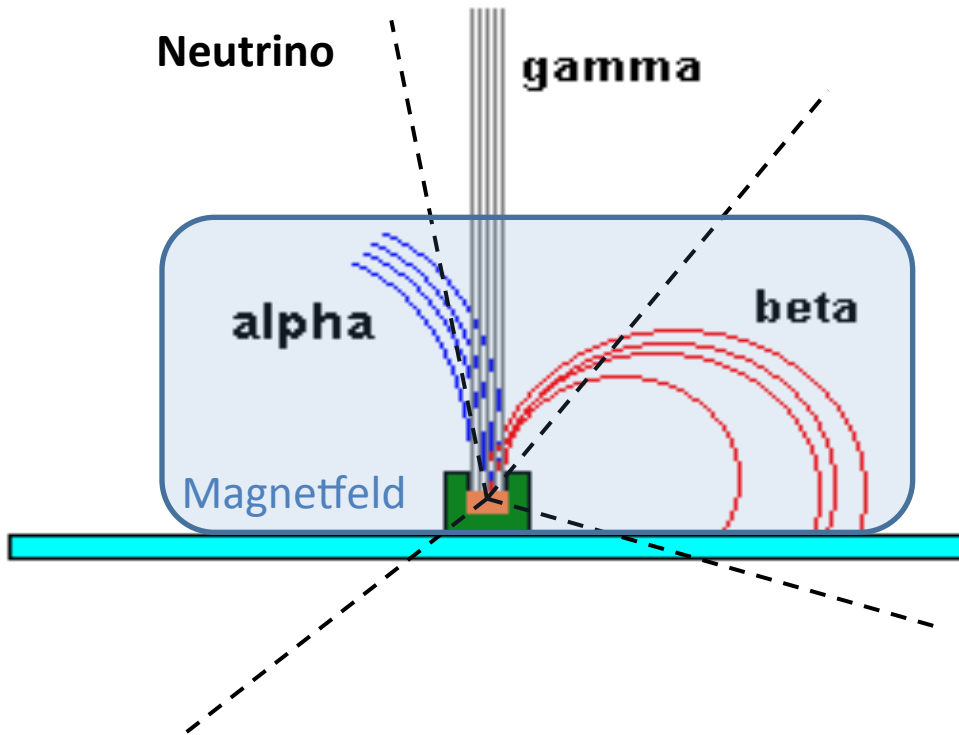
3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

Absorption radioaktiver Strahlung

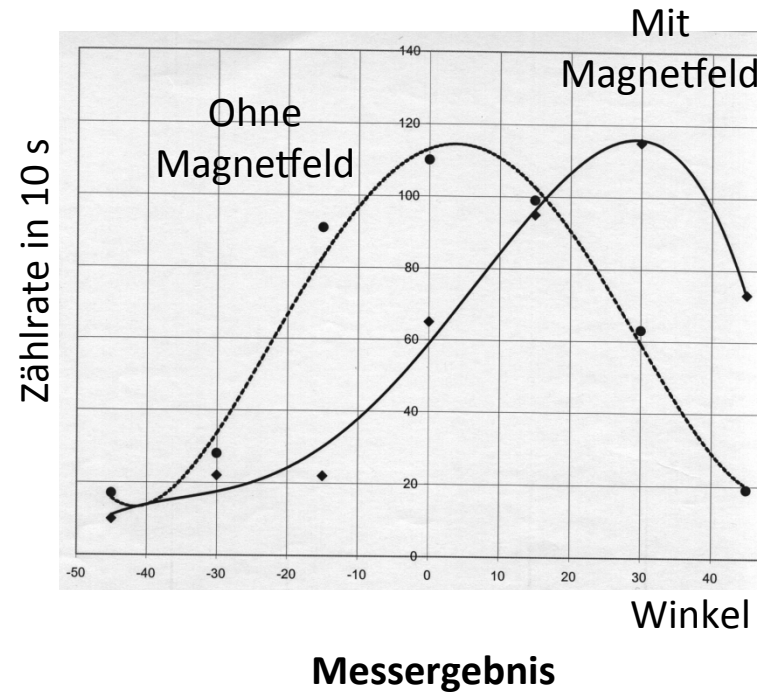




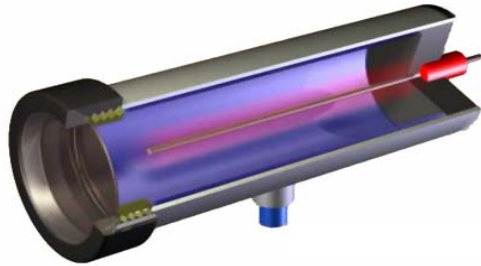
Ablenkung der verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung in einem Magnetfeld, das in die Papierebene hinein zeigt.



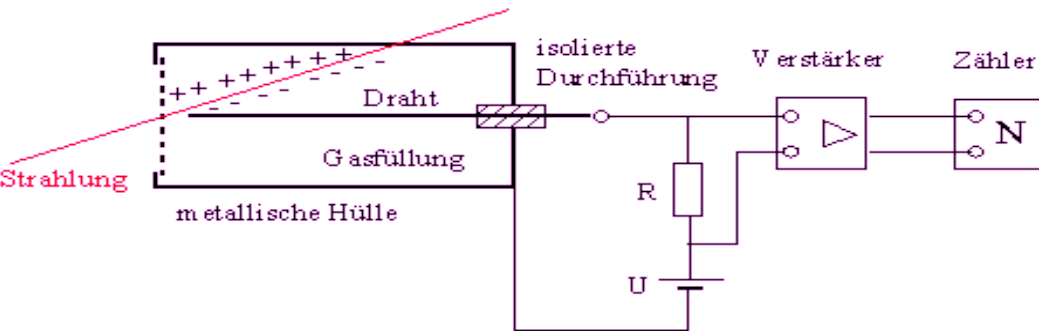
Ablenkung der verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung in einem Magnetfeld, das in die Papierebene hinein zeigt.



Messergebnis



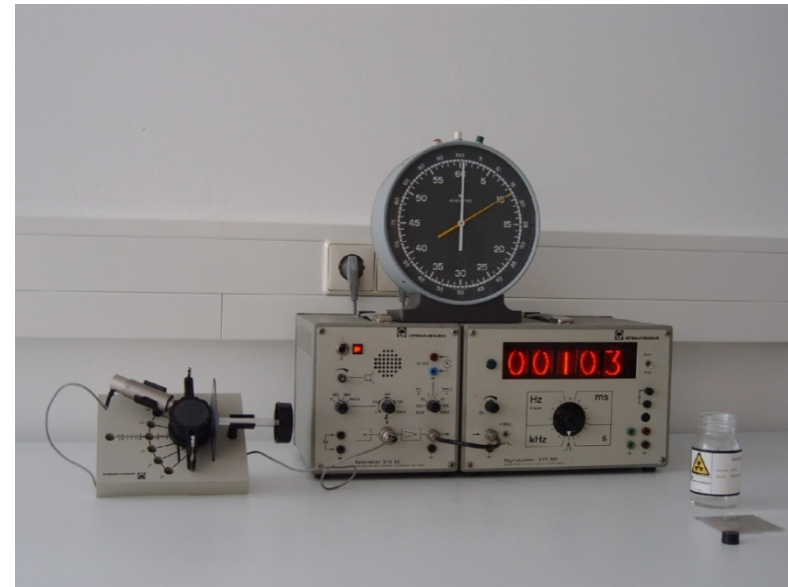
Geiger Müller Zählrohr



Prinzipschaltbild

Geigerzähler

Experimenteller Aufbau



3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

Ernest Rutherford (1871 – 1937)



- 1871 In der Nähe von Nelson (NZ) geboren
Studium am Canterbury College in Christchurch
- 1895 Stipendium für weitere Studien in England, wo er zu J. J. Thomson nach Cambridge ging; Arbeiten auf dem Gebiet der radioaktiven Strahlung
- 1898 Professur in Montreal, Kanada
- 1907 Rückkehr nach England auf einen Lehrstuhl in Manchester; berühmte Versuche: Identifikation der α -Strahlung und Entdeckung des Atomkerns
- 1908 Nobelpreis für Chemie
- 1911 Zusammenarbeit mit Niels Bohr
- 1914 In den Adelsstand erhoben
- 1919 Nachfolger von J. J. Thomson als Leiter des Cavendish-Laboratoriums
- 1920 Voraussage des Neutrons
- 1925 Präsident der Royal Society
- 1932 Erhielt er die Baronie: First Baron of Nelson and Cambridge
- 1937 beigesetzt in der Westminster Abbey in der Nähe von Newtons Grab

Die Heimat von Ernest Rutherford



3. Tag: Röntgenstrahlen und Radioaktivität

3.1 Die Physik um 1900

3.2 Die Entdeckung der Röntgenstrahlen

3.3 Biographie Röntgen, erster Nobelpreis

3.4 Die Natur der Röntgenstrahlung

3.6 Entdeckung der Radioaktivität

3.7 Entdeckung des Radiums

3.8 Biographie Marie Curie

3.9 Eigenschaften der radioaktiven Strahlung

3.10 Biographie Rutherford

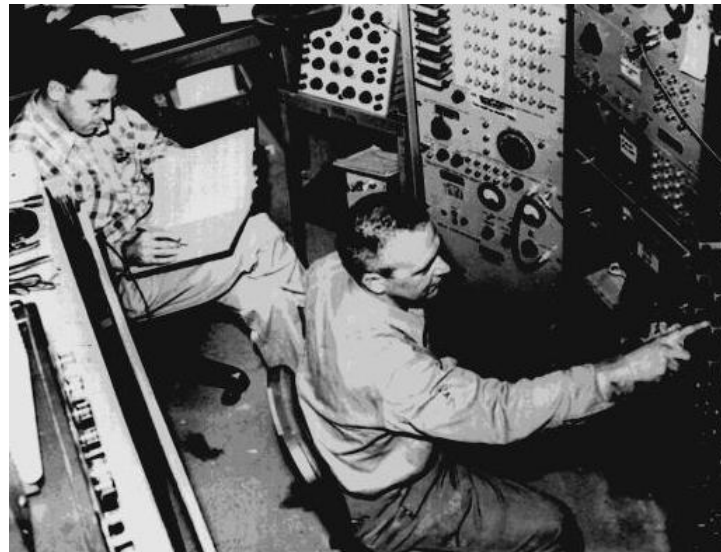
3.11 Neutrino: Hypothese und Nachweis

Zeittafel: Entdeckung und Nachweis des Neutrinos

1. Ist der Energiesatz beim Betazerfall verletzt?
2. Paulis verzweifelter Ausweg (1930)
3. Nobelpreis des Jahres 1945
4. Nachweis durch Cowan und Reines 1956
5. Nobelpreis des Jahres 1994 nur an Reines, da Cowan schon verstorben war



Wolfgang Pauli (1900 - 1958)



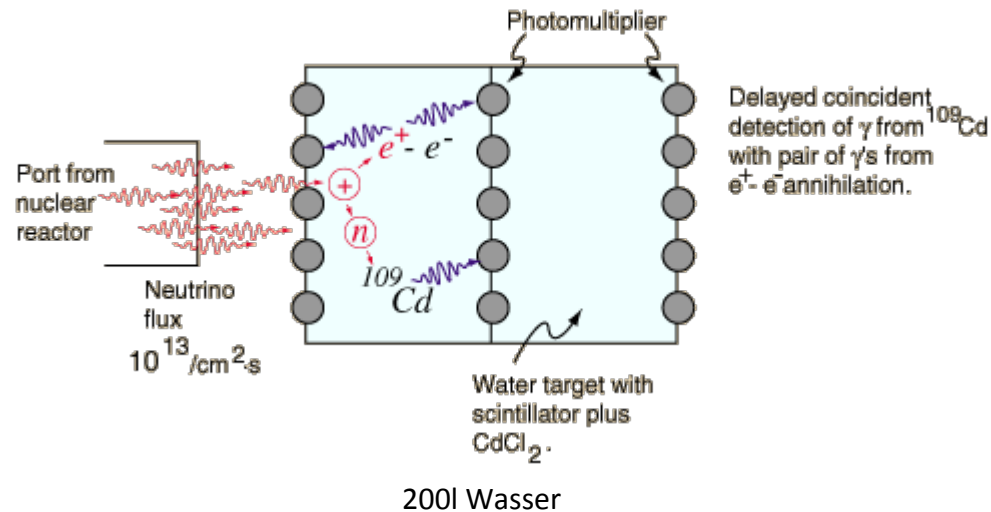
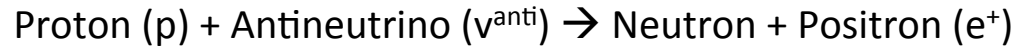
Cowan und Reines im Kontrollzentrum des Vorläufer-Experiments zum Nachweis der Neutrinos

Nachweis der Neutrinos durch den inversen Beta Zerfall

Beta Zerfall des Neutrons mit der Emission eines Antineutrinos:



Inverse Reaktion mit der Absorption eines Antineutrinos:



Schema des Experiment von Cowan und Reines

Rate: 3 Ereignisse/Stunde