

Inhalt Klass.Phys.II “Elektrodynamik”

1. Elektrostatik
 2. Dielektrika
 3. Gleichstrom
 4. Elektrische Leitungsmechanismen
 5. Statische Magnetfelder
 6. Magnetismus in Materie
 7. Induktion
 8. Wechselstrom
 9. Elektromagnetische Wellen
 10. \Rightarrow Optik, Teilchen, erste Quanteneffekte...
- v19, 20, 21 – Ende :-)

Zusammenfassung v20 vom 16. Juli 2013

Ausbreitung von em. Wellen Die ursprüngliche zeitliche Form bleibt bei der Ausbreitung erhalten, weil sich Sinus- und Kosinus-Funktionen bei fortgesetztem Ableiten selbst reproduzieren. Dies ist auf beliebige Wellenformen (auch Rechtecke und Sägezähne) übertragbar, weil sich alle solche Verläufe aus einer geeigneten Superposition von trigonometrischen Funktionen zusammensetzen lassen ("Fourier-Methoden").

Sichtbares Licht stellt einen kleinen Ausschnitt aus dem Spektrum elektromagnetischer Wellen dar. "Rot" ist langwellige Strahlung mit 750 nm Wellenlänge, "Blau" ist kurzwellige Strahlung mit 400 nm Wellenlänge. Im gesamten Spektrum gilt die Planck'sche Strahlungsformel

$$E_\gamma = h \cdot \nu \quad (99)$$

Wellengleichung Allgemeine Gleichung für eine Welle, die sich mit der Amplitude f_0 in x -Richtung ausbreitet:

$$y = y_0 \cdot \sin(kx - \omega t) \quad (100)$$

$$\text{mit } k = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad \omega = 2\pi f; \quad f \cdot \lambda = \frac{\omega}{k} = v. \quad (101)$$

Aus der differentiellen Form der Maxwell-Gleichungen folgt eine Wellengleichung der Form

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (102)$$

Aus den 3. und 4. Maxwell'schen Gleichungen folgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen (gleich Licht-

geschwindigkeit) aus den elektrischen und magnetischen Feldkonstanten; in Materie gilt analog eine Formulierung, die mit den relativen Zahlenwerten ϵ_r und μ_r skaliert ist. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer em. Welle in einem Koaxialkabel ist z.B. nur $2/3 c$.

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (103)$$

Die Energiedichte einer e.m. Welle ergibt sich aus der Addition und Integration der elektrischen und magnetischen Anteile:

$$w_{em} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{2\mu_0} = \epsilon_0 E^2 = \frac{B^2}{\mu_0} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} EB \quad (104)$$

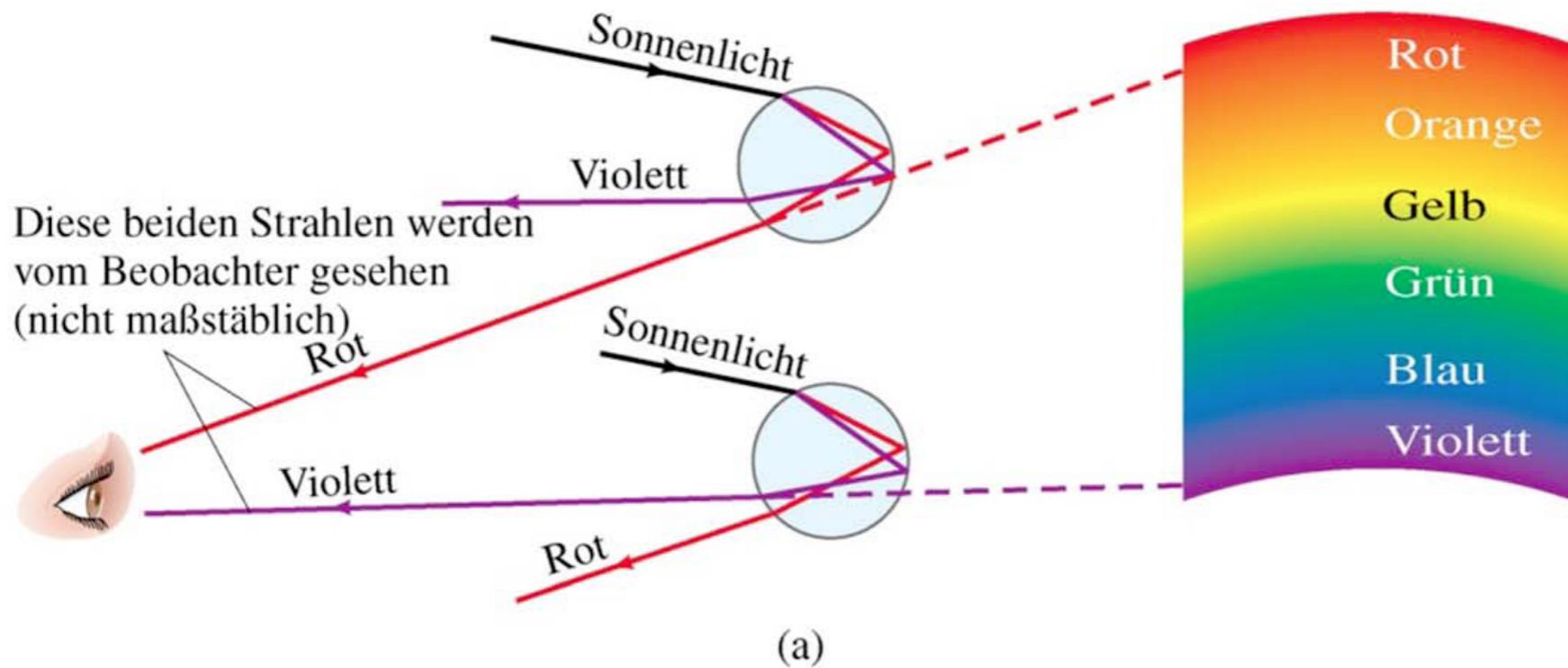
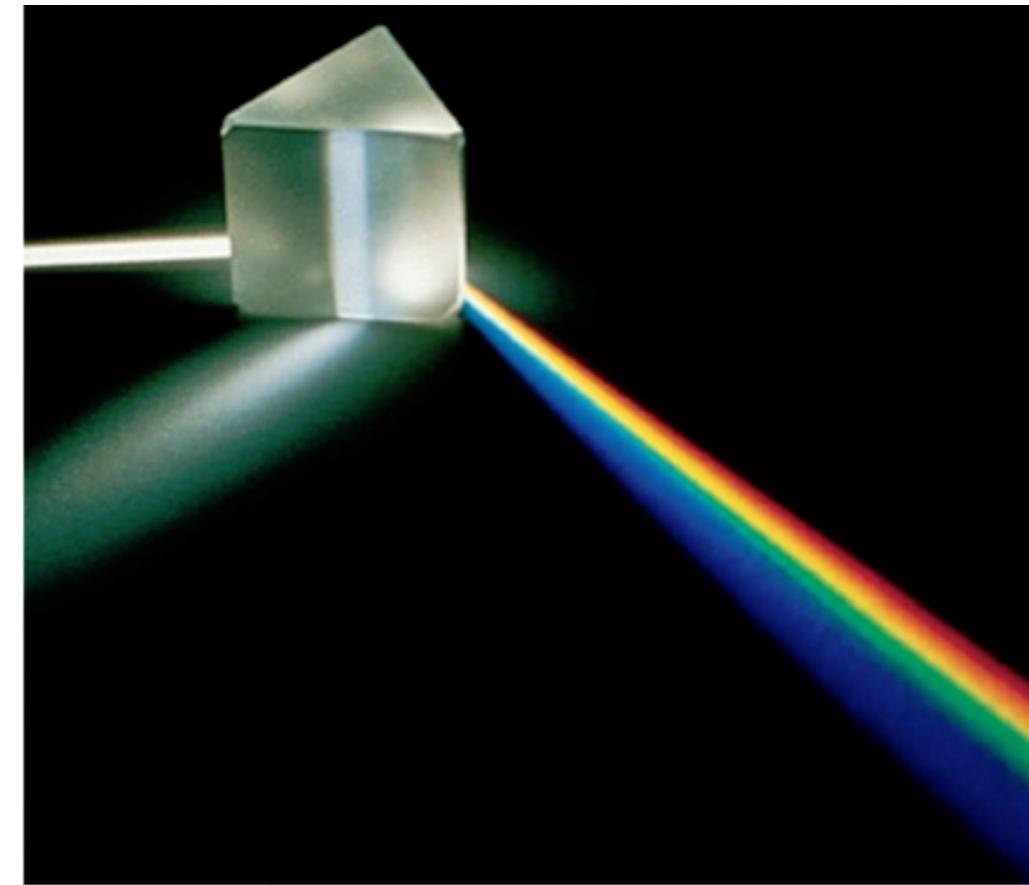
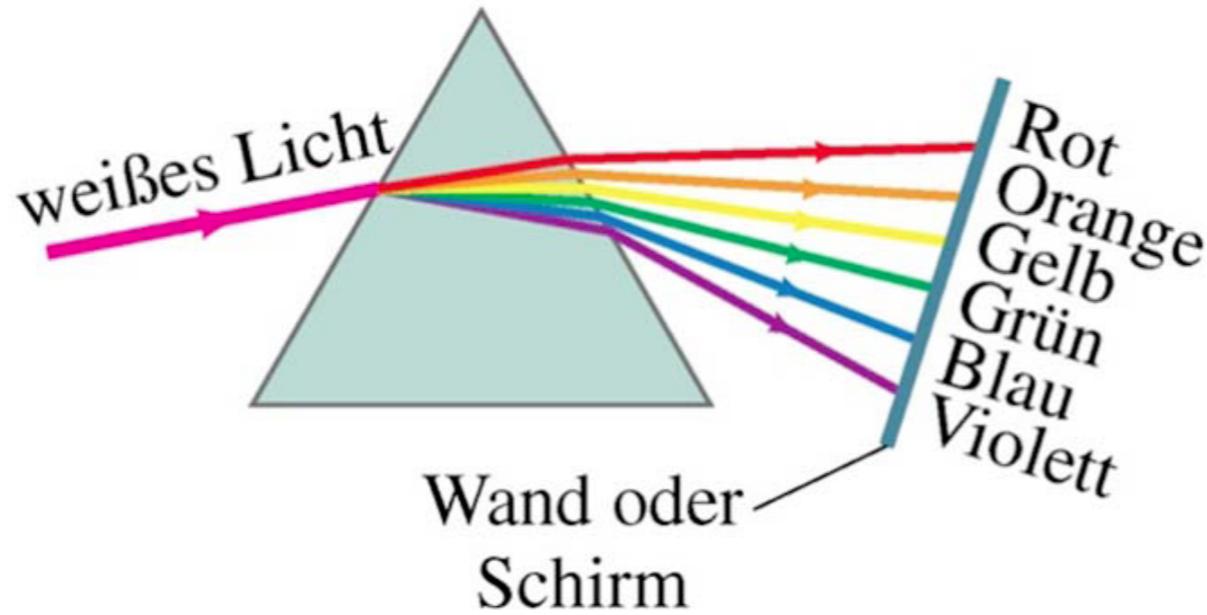
Die Intensität einer e.m. Welle ist definiert als die mittlere Energie, die pro Zeit durch eine senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehende Fläche fließt. Der Energietransport folgt dem Poynting-Vektor:

$$\vec{S} = (1/\mu_0)(\vec{E} \times \vec{B}) \quad (105)$$

$$\text{mit } \bar{S} = (1/2\mu_0)E_0 B_0 \quad (106)$$

Der Strahlungsdruck berechnet sich aus der Intensität dividiert durch die Lichtgeschwindigkeit, $P = I/c$. Der so genannte Lichtdruck lässt sich in (qualitativ hochwertigen) Lichtmühlen, in der Astronomie und anhand von Kometenschweiften nachweisen; letztere zeigen stets von der Sonne weg.

Beugung; Wellennatur von Licht

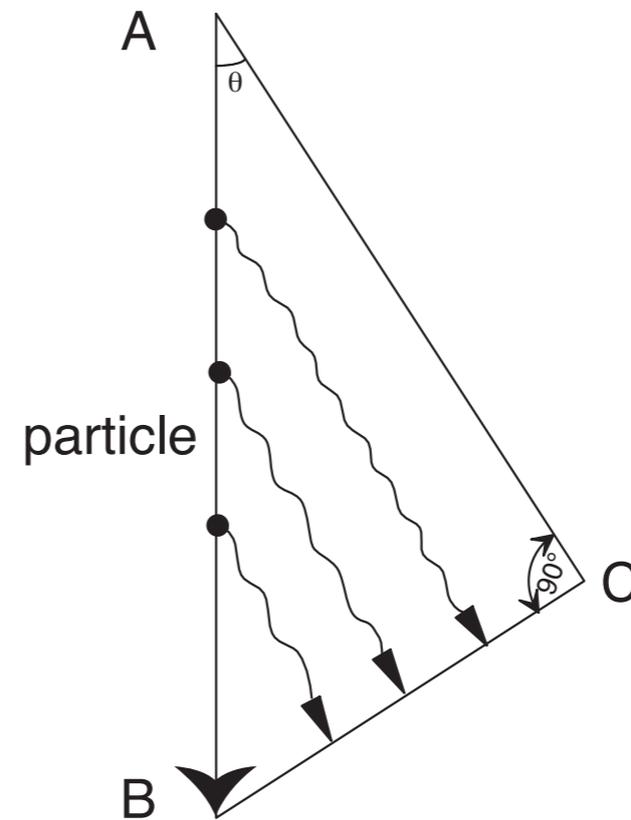
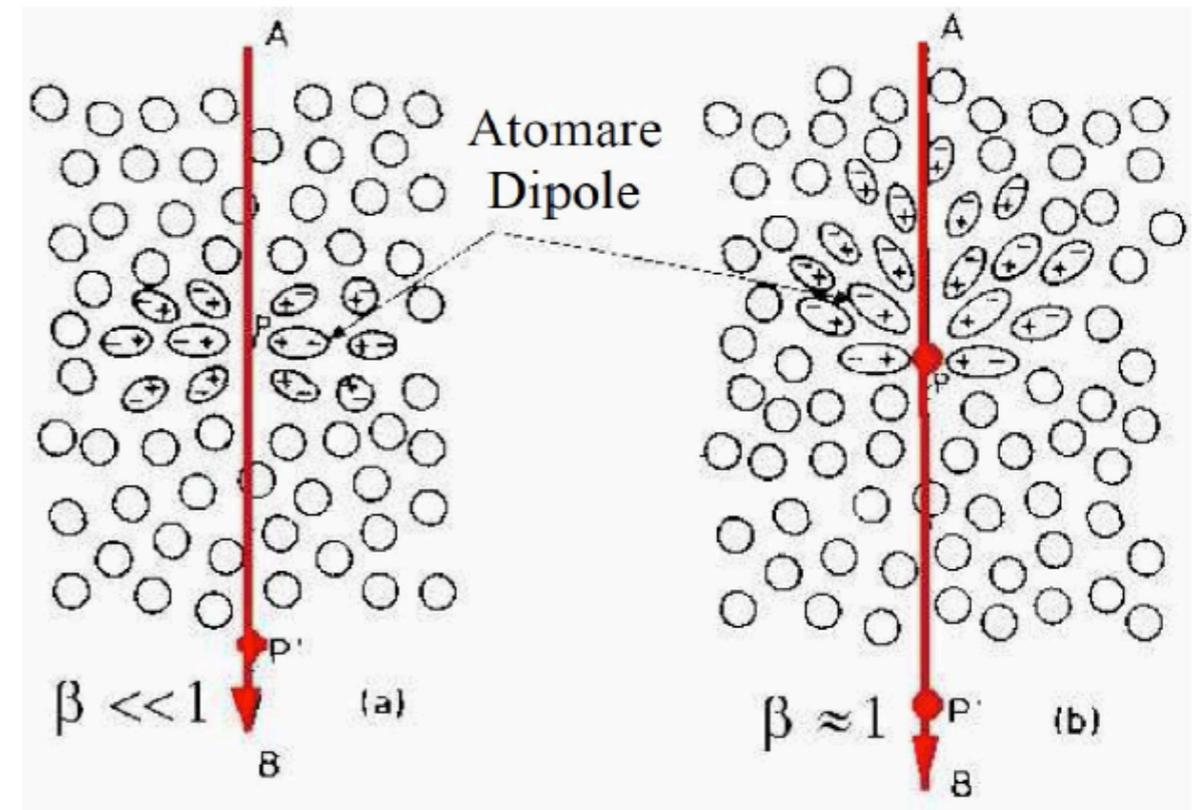
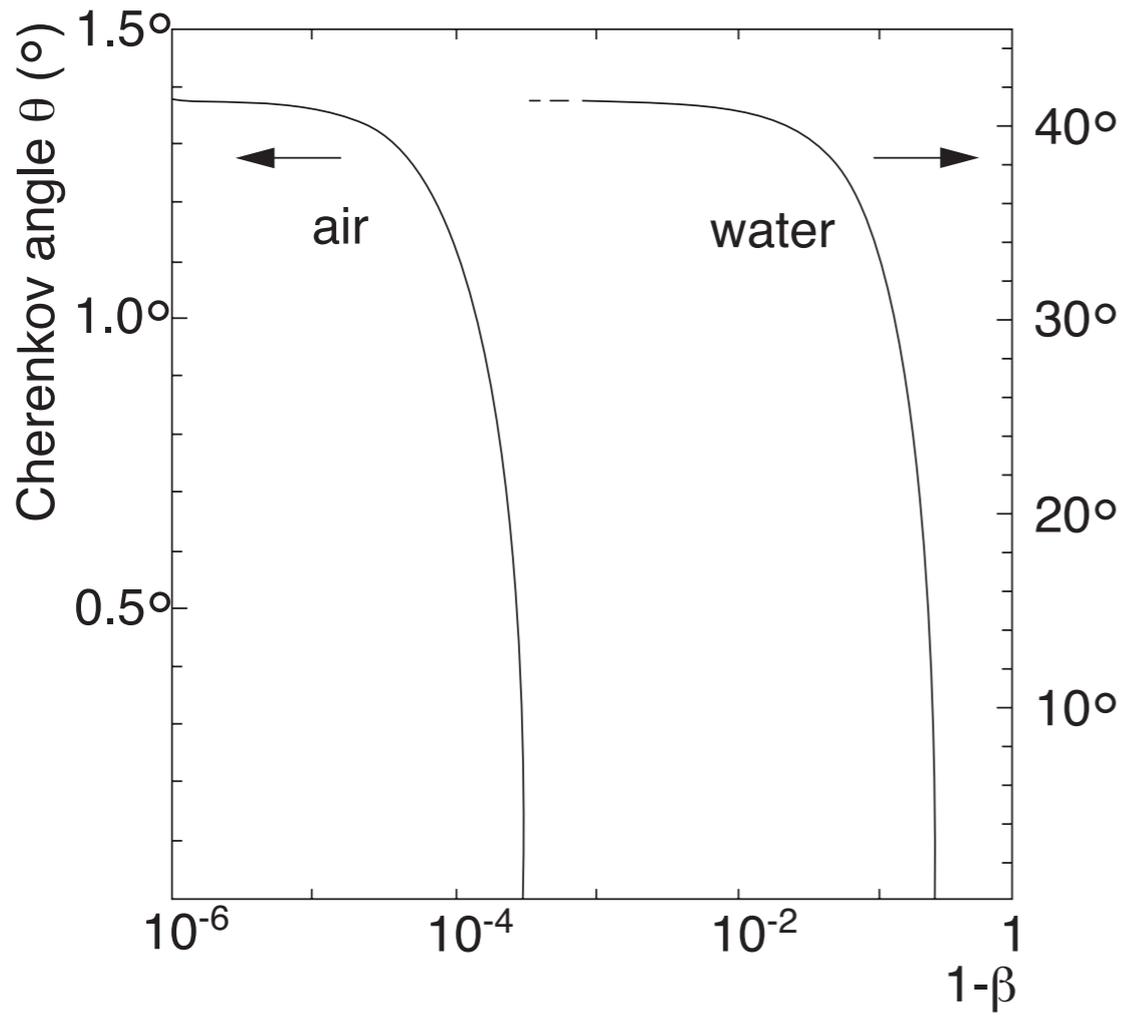


(a)

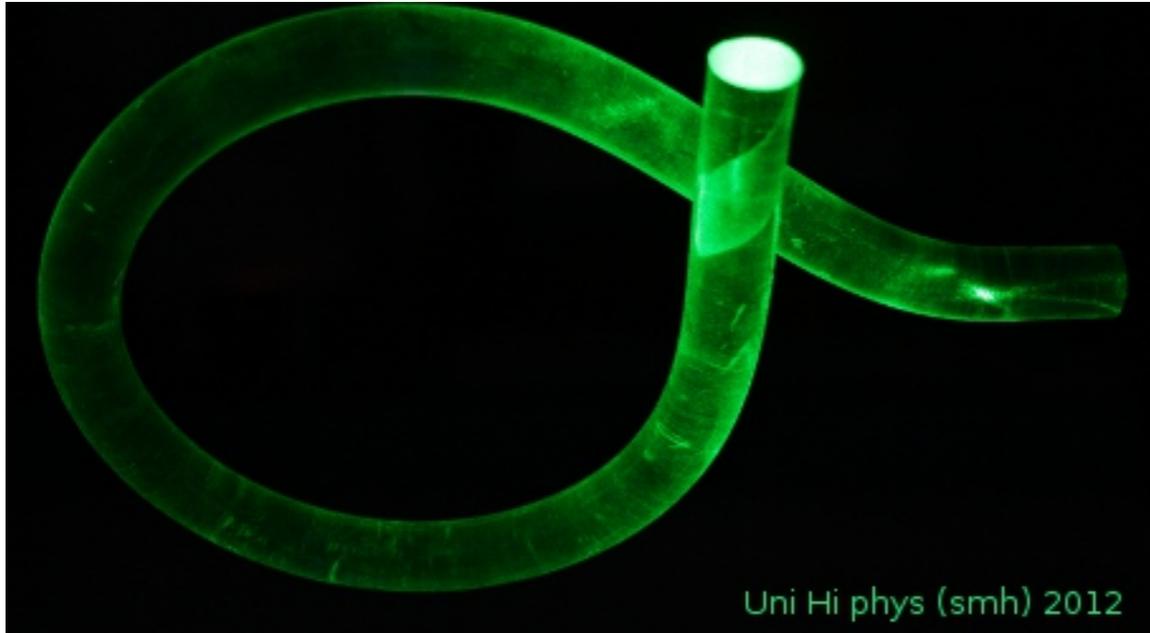
(b)

Cherenkoeffekt

Cherenkoeffekt



Lichtleiter



physik.blog.uni-hildesheim.de

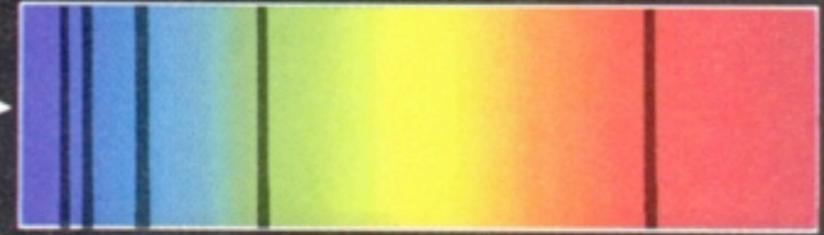


Blackbody



Cloud of gas

Prism



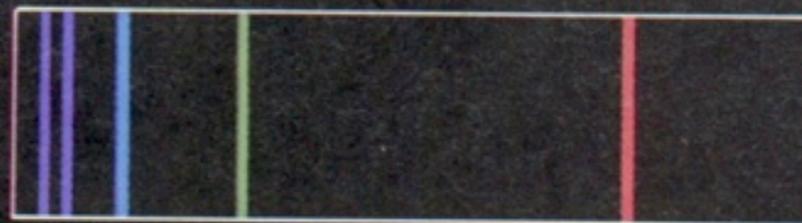
Absorption line spectrum

Prism



Continuous spectrum

Prism



Emission line spectrum

Planck'sches Strahlungsgesetz

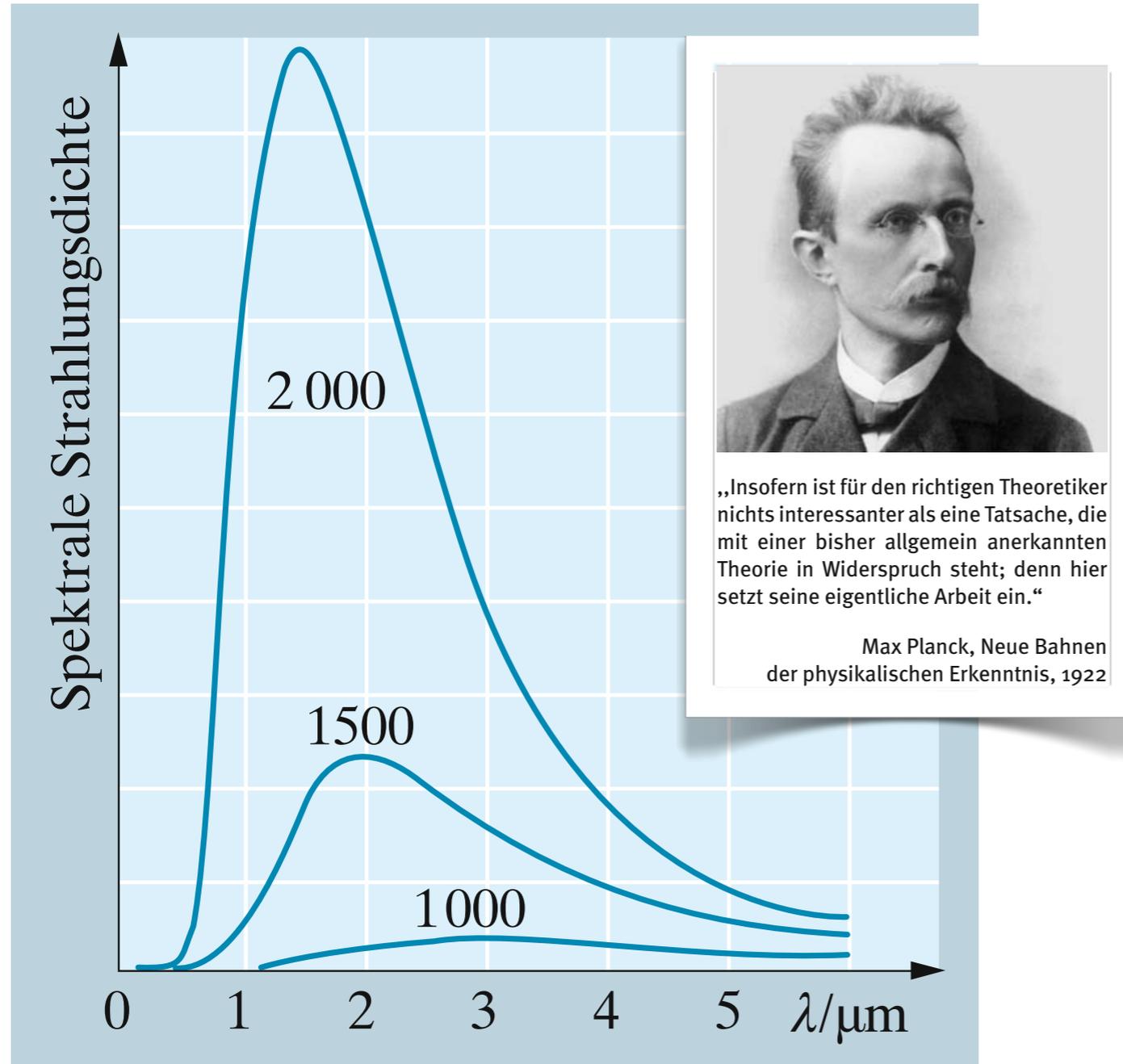


Abb. 11.14. Spektrale Intensitätsverteilung der schwarzen Strahlung, plancksches Strahlungsgesetz; Temperaturangaben in K

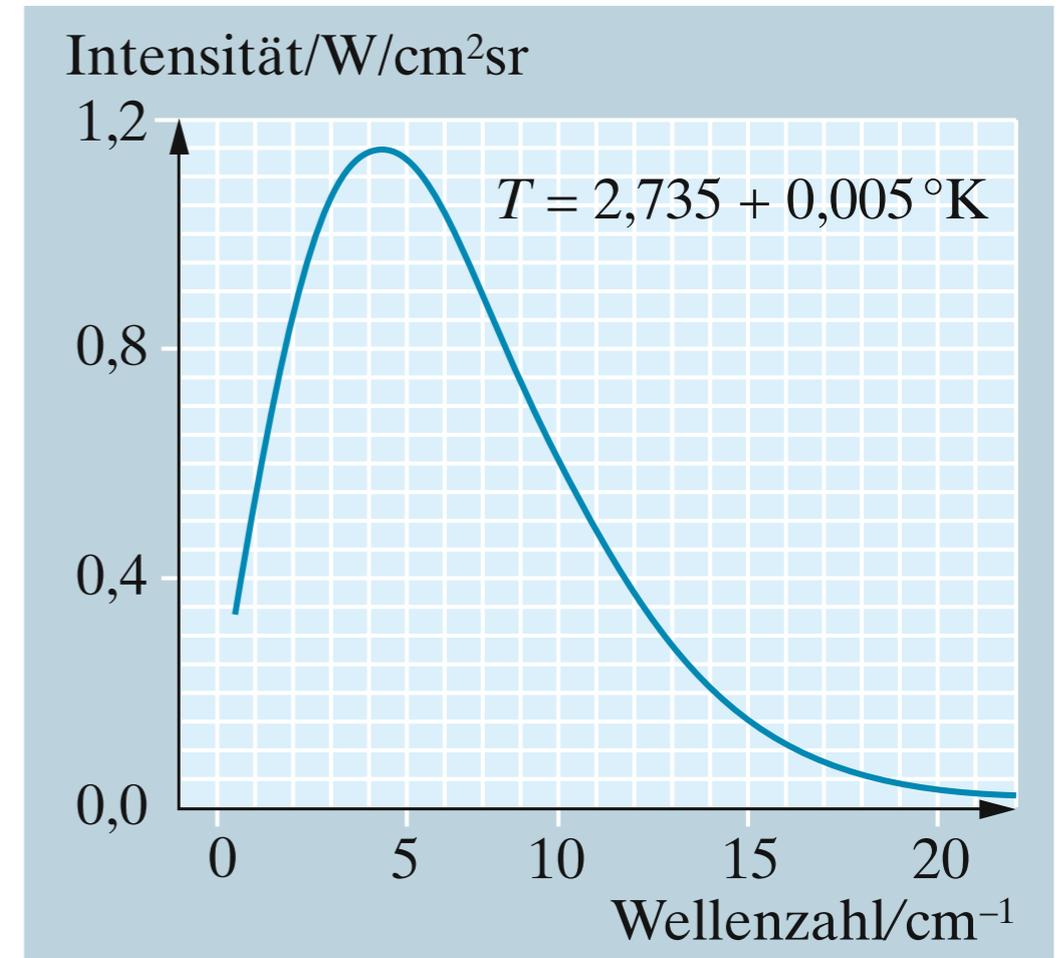


Abb. 11.17. 3-Kelvin-Strahlung oder Spektrum des kosmischen schwarzen Strahlers im Mikrowellenbereich. Die Unsicherheit der Messpunkte vom Spektrometer des COBE-Satelliten ist kleiner als die Strichdicke der Kurve (vgl. Abb. 11.14). (Mit freundlicher Erlaubnis von NASA und STScI)

Erstes Photo des jungen Universums

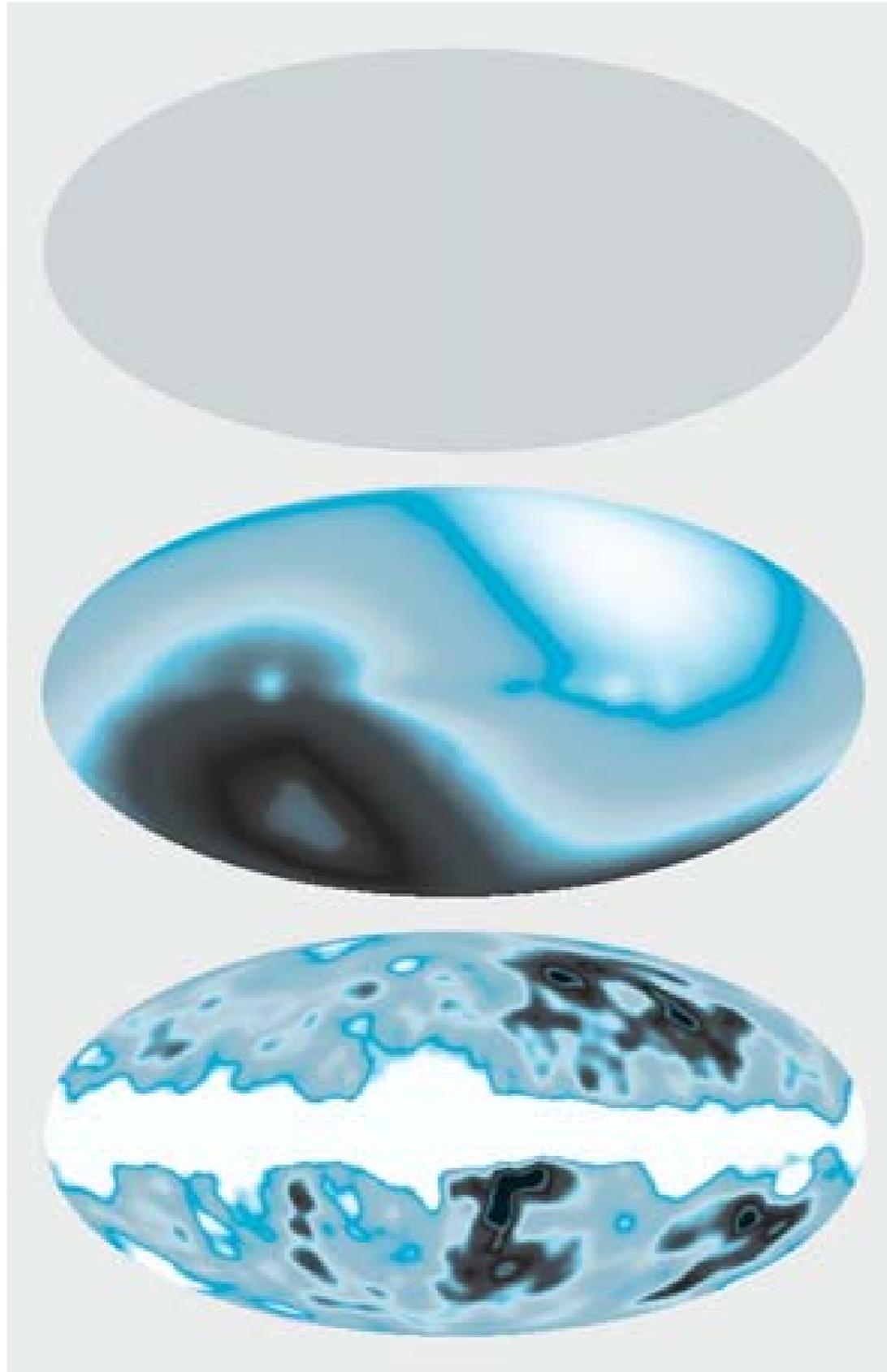
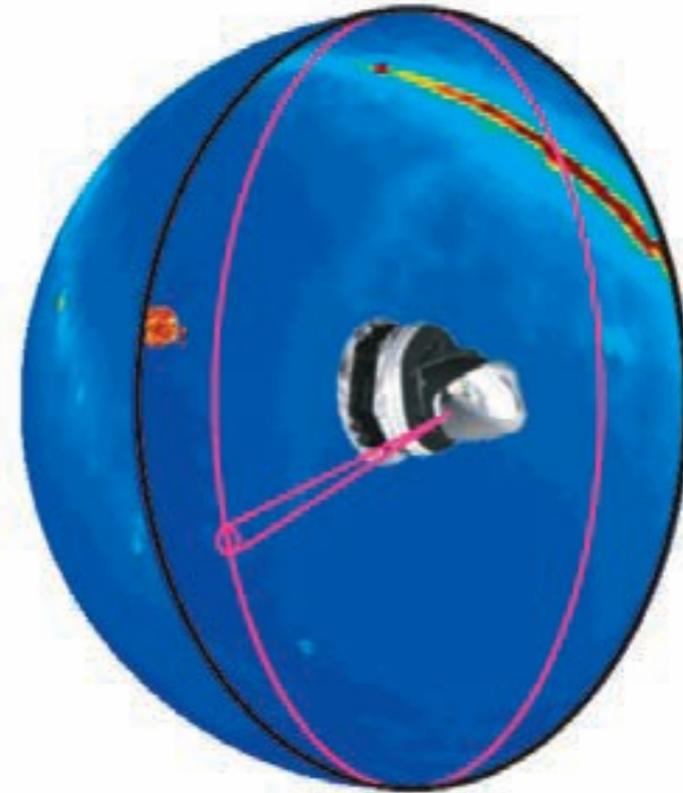
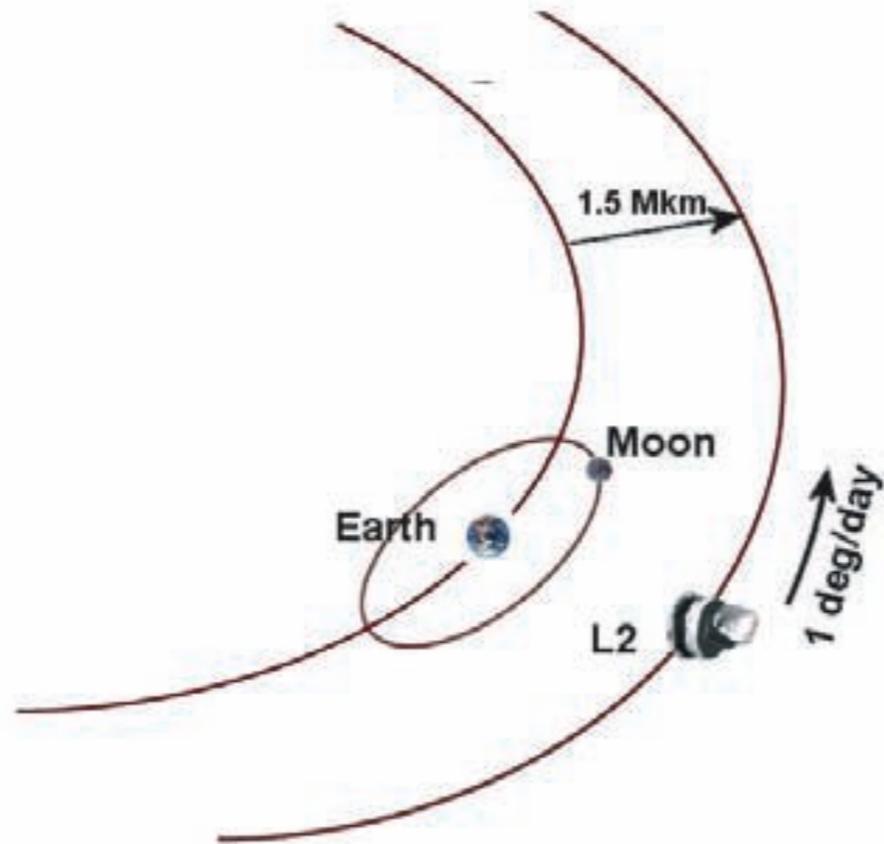
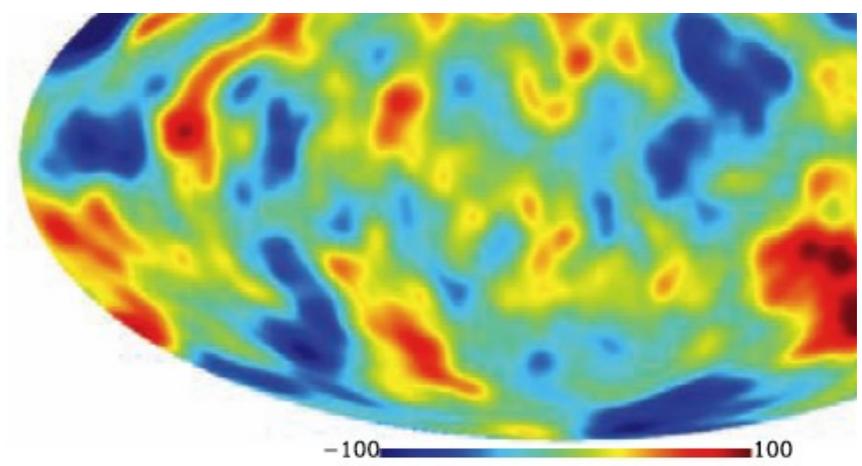


Abb. 11.18. Temperaturverteilung der 3-Kelvin-Strahlung nach Messungen des COBE-Satelliten auf einer Himmelskarte in Falschfarbendarstellung. Der Äquator dieser Projektion entspricht der Ebene der Milchstraße. Blaue Farbtöne entsprechen kälteren, weiße wärmeren Regionen. Im oberen Bild reicht die Skala von 0–4 K, im mittleren nur von 2,724–2,732 K, ist also um einen Faktor 500 gespreizt. Im unteren Bild wurde die Dipolasymmetrie subtrahiert und nur die Restfluktuationen aufgetragen. Der Temperaturunterschied zwischen kalten und warmen Regionen beträgt nur noch 0,0002 K. und ist ungefähr 30mal kleiner als die Dipolasymmetrie. (Mit freundlicher Erlaubnis von NASA und STScI)

Planck-Satellit



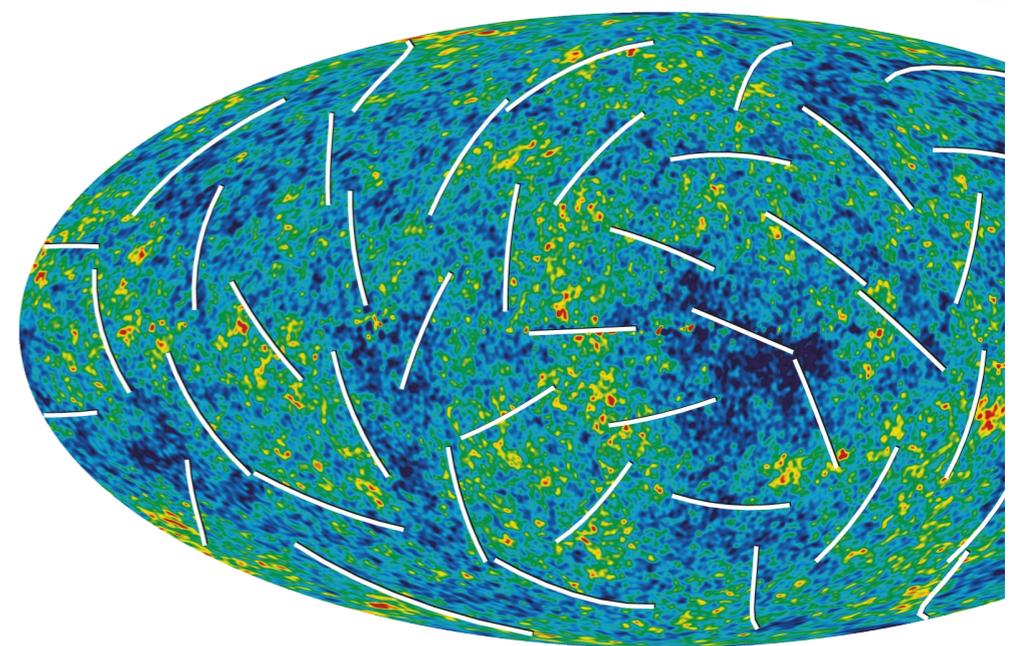
COBE



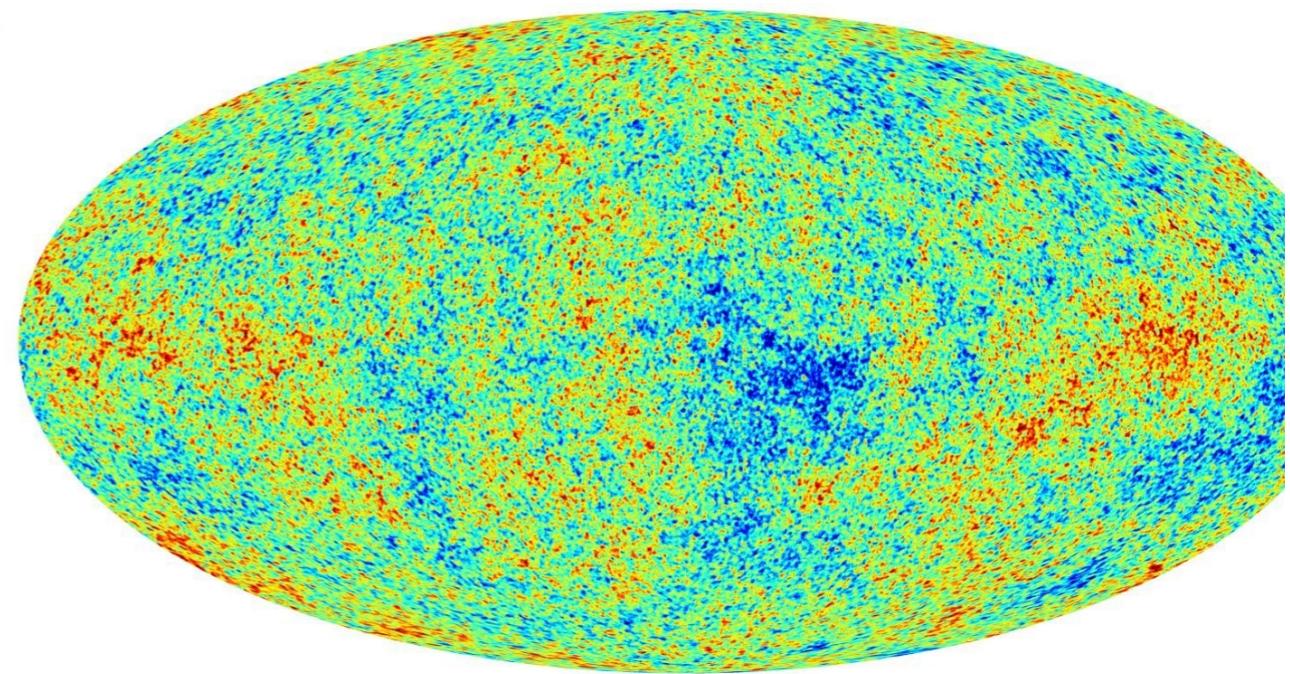
-100 100

WMAP 2 years

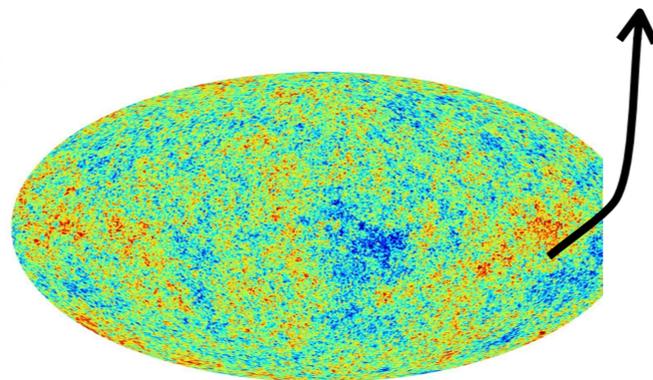
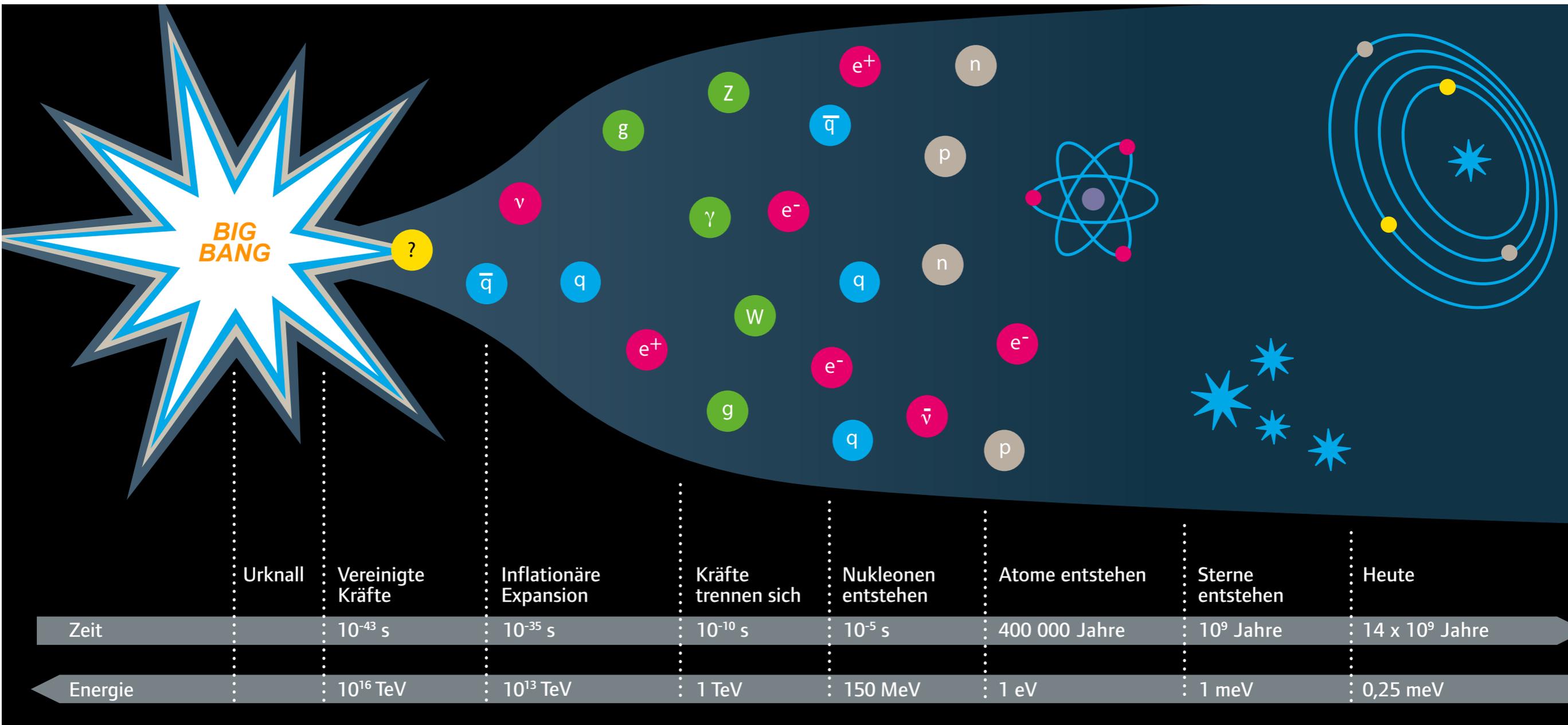
WMAP



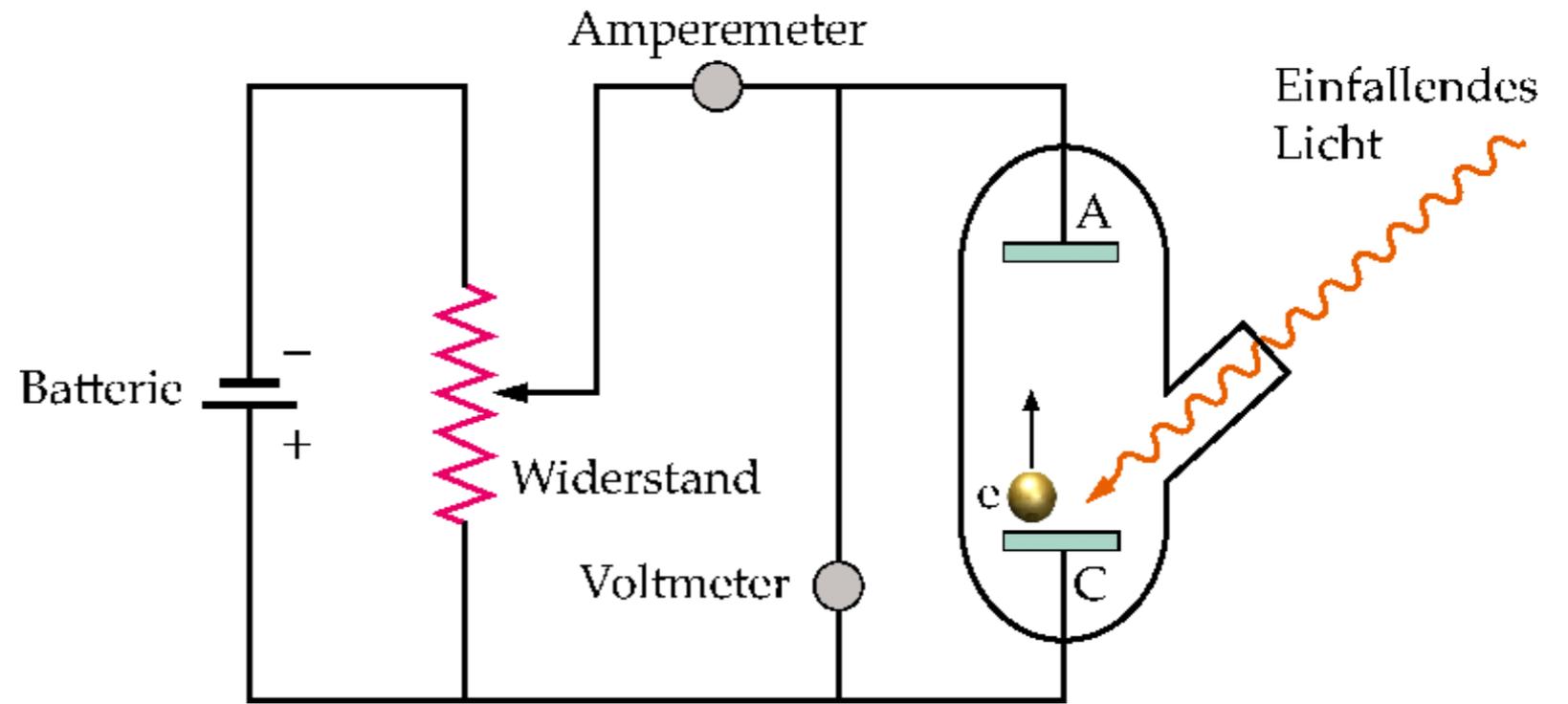
PLANCK



Entwicklung des Universums



Photoeffekt



[Tipler]

Aus: Tipler/Mosca: *Physik*, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

34.2 Schema der Apparatur zum Untersuchen des photoelektrischen Effekts. Licht einer bestimmten Frequenz ν trifft in einer Vakuumkammer auf die Kathode C, die dadurch Elektronen e emittiert (hier ist ein Elektron unmaßstäblich groß eingezeichnet). Der im Amperemeter gemessene Strom ist proportional zur Anzahl der Elektronen, die pro Zeiteinheit auf die Anode A treffen. An die Anode kann eine relativ zur Kathode negative, veränderliche Spannung angelegt werden, um die ankommenden Elektronen mehr oder weniger stark abzustößen. Dann können nur solche Elektronen die Anode erreichen, die von der Kathode mit einer ausreichend hohen kinetischen Anfangsenergie emittiert werden. Die Spannung zwischen Anode und Kathode wird allmählich erhöht, bis der Strom null wird. Dies ist dann der Fall, wenn auch die schnellsten, energiereichsten Elektronen die Anode A nicht mehr erreichen.

[Pohl]

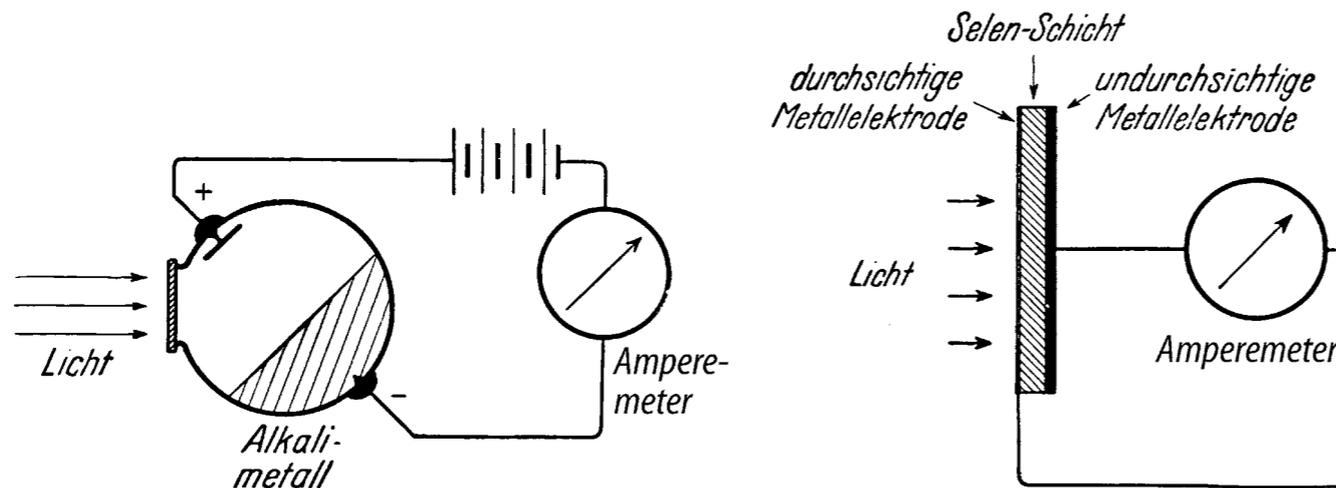
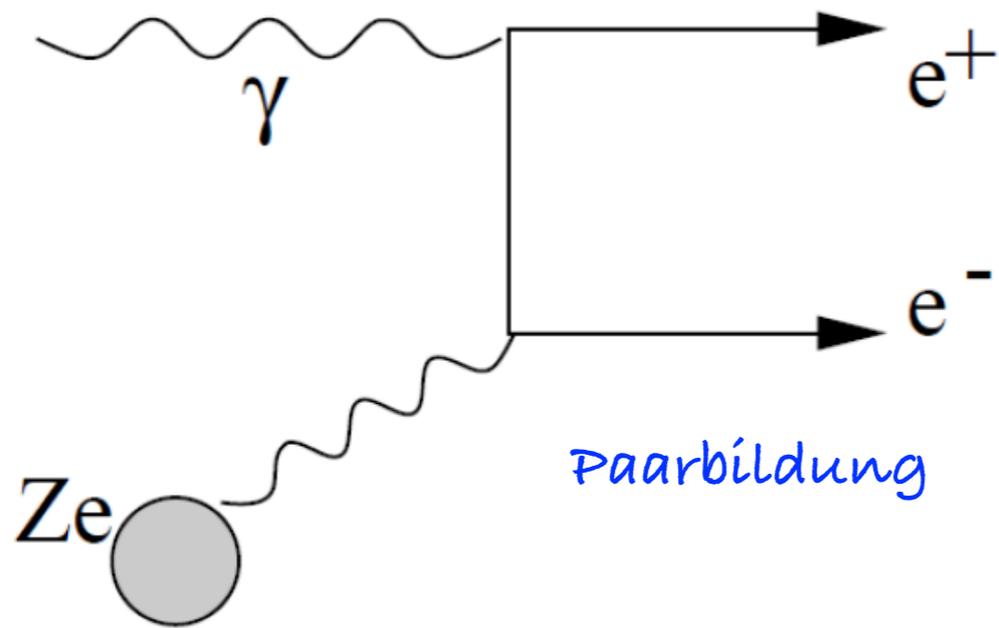
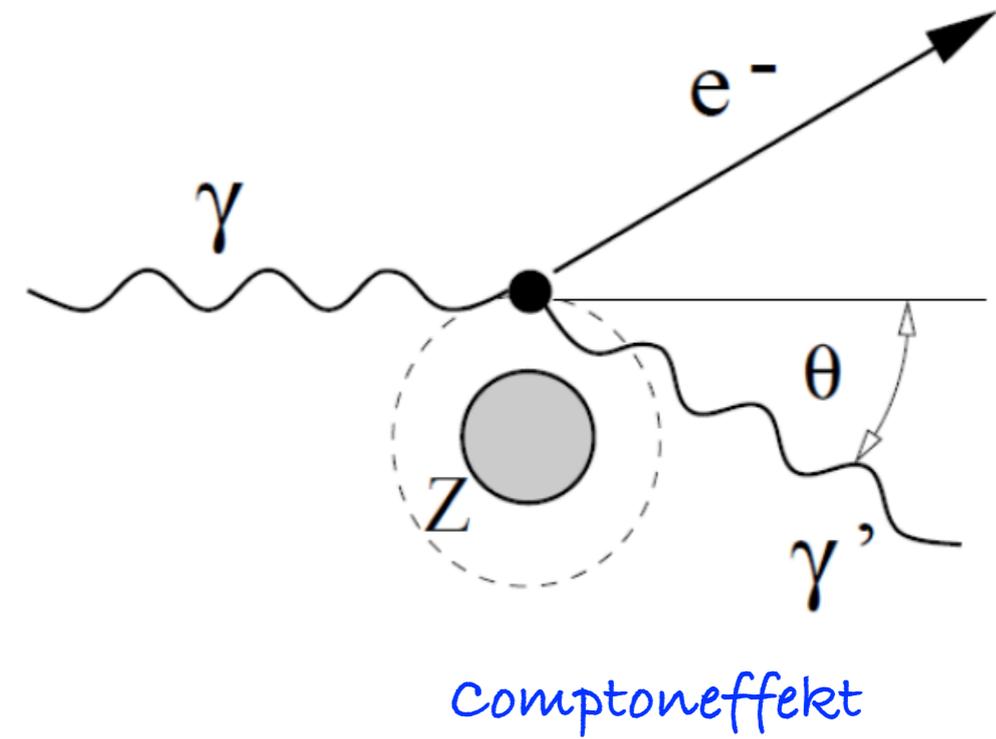
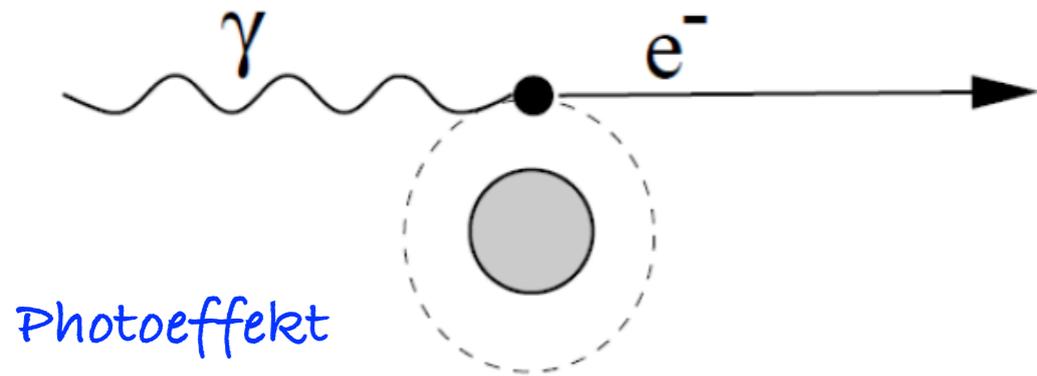


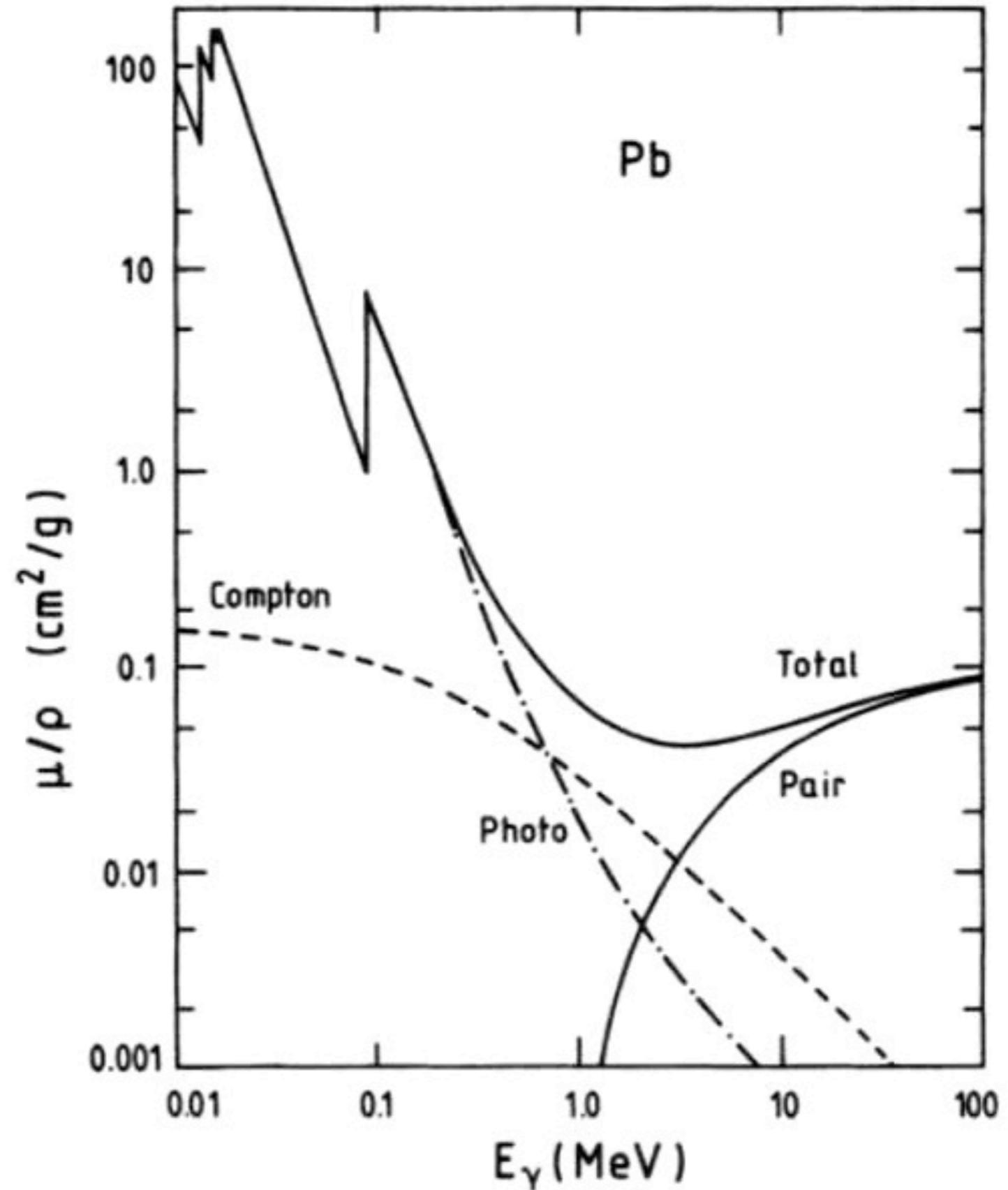
Abb. 332. Vakuumphotozelle (links) und Photodiode (rechts). Beide sind als Strahlungsmesser für Schauversuche sehr bequem, aber leider sind sie selektiv. Das heißt, ihre Angaben sind zwar proportional zur Strahlungsleistung, doch müssen sie für jede Lichtart besonders geeicht werden.

Wechselwirkung von Photonen mit Materie



Photon-Absorption

Fig. 1.3. Mass absorption coefficient μ/ρ for photons in lead.



Konrad Kleinknecht

Detektoren für Teilchen-

Strahlung, Teubner Verl.

Vereinheitlichung der Wechselwirkungen

