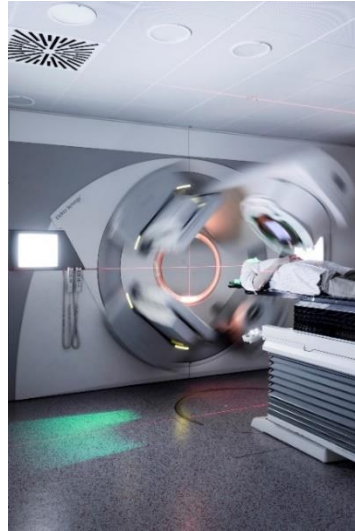




Wechselwirkung von Strahlung mit Materie

Modulkennziffer: BM2

Handout

Physikalische Größen und Einheiten

Physikalische Größen	Symbole	Einheiten
Länge (Ortskoordinaten)	$l(x,y,z)$	m bzw. cm
Fläche (geometrisch)	A	m ² bzw. cm ²
Wirkungsquerschnitt	σ	m ² bzw. b
Wirkungsquerschnittsdichte (makroskopische Querschnitte)	Σ, μ	m ⁻¹
Volumen	V	m ³ bzw. cm ³
Zeit	t	s
Anzahldichte	n_a	m ⁻³ bzw. (b cm) ⁻¹
Massendichte	ρ	g/cm ³
Energie	E	J bzw. eV

Üblicherweise wird die Einheit Barn [b] für den Wirkungsquerschnitt benutzt:

$$1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2 = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

Die Anzahldichte ist gleich der Anzahl durch Volumen

$$1 \text{ eV} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Naturkonstanten

Einheiten	Symbol	Wert
Avogadrosche Zahl	N_a	$6,022142 \cdot 10^{23} \text{ Mol}^{-1}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Reduzierte Plancksche Konstante	$\hbar = h/(2\pi)$	$6,582119 \cdot 10^{-22} \text{ MeV} \cdot \text{s}$
Elementarladung	e	$1,602176 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Elektronenmasse	m_e	$9,109382 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Zusammengesetzte Naturkonstanten

Einheit	Symbol	Wert
Ruheenergie des Elektrons	$E_0 = m_e \cdot c^2$	$510,9989 \text{ keV} \approx 511 \text{ keV}$
Klassischer Elektronenradius	$r_e = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 E_0}$	$2,817943 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante	$\alpha = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 \hbar c}$	$1/137,036$
Bohrscher Radius	$a_0 = \frac{4 \pi \epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2}$	$0,52918 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Ionisierende Strahlung

Direkt ionisierend	Indirekt ionisierend
Strahlung elektrisch geladener Teilchen	Strahlungsarten ohne elektrische Ladung
Elektronen, Protonen, Alphateilchen	Photonen, Neutronen
Erzeugen Ionisationen durch Stöße	Lösen Sekundärteilchen, die den größten Teil der Ionisierung im Material erzeugen

Skalare Strahlungsfeldgrößen

Name	Formelzeichen	SI-Einheit
Teilchenzahl	N	1
Teilchenfluss	$\dot{N} = \frac{dN}{dt}$	s^{-1}
Teilchenflussdichte	$\varphi(t, \vec{r}) = \frac{d^2 N}{dt \cdot dA_{\perp}}$	$s^{-1} \cdot m^{-2}$
Spektrale Teilchenflussdichte	$\varphi_E(t, \vec{r}, E) = \frac{d^3 N}{dt \cdot dA_{\perp} \cdot dE}$	$s^{-1} \cdot m^{-2}$
Teilchenradianz	$\varphi_{\Omega}(t, \vec{r}, \Omega) = \frac{d^3 N}{dt \cdot dA_{\perp} \cdot d\Omega}$	$s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Spektrale Teilchenradianz	$\varphi_{E,\Omega}(t, \vec{r}, E, \Omega) = \frac{d^4 N}{dt \cdot dA_{\perp} \cdot dE \cdot d\Omega}$	$s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot J^{-1} \cdot sr^{-1}$
Teilchenfluenz	$\Phi(\vec{r}) = \frac{dN}{dA_{\perp}}$	m^{-2}
Spektrale Teilchenfluenz	$\Phi_E(\vec{r}, E) = \frac{d^2 N}{dA_{\perp} \cdot dE}$	$m^{-2} \cdot J^{-1}$
Spektrale raumwinkel-bezogene Teilchenfluenz	$\Phi_{E,\Omega}(\vec{r}, E, \Omega) = \frac{d^3 N}{dA_{\perp} \cdot dE \cdot d\Omega}$	$m^{-2} \cdot J^{-1} \cdot sr^{-1}$
Energie	R	J
Energiefluss	$\frac{dR}{dt}$	$J \cdot s^{-1}$
Energiefluenz	$\frac{dR}{dA_{\perp}} = \Psi(\vec{r})$	$J \cdot m^{-2}$
Energieflussdichte	$\frac{d^2 R}{dt \cdot dA_{\perp}} = \Psi(t, \vec{r})$	$W \cdot m^{-2}$
Spektrale Energiefluenz	$\frac{d^2 R}{dA_{\perp} \cdot dE} = \Psi(E, \vec{r})$	m^{-2}
Spektrale Energieflussdichte	$\frac{d^3 R}{dt \cdot dA_{\perp} \cdot dE} = \Psi(t, \vec{r}, E)$	$s^{-1} \cdot m^{-2}$

Vektorielle Strahlungsfeldgrößen

Name	Formelzeichen	SI-Einheit
Vektorielle Teilchenflussdichte	$\vec{\varphi} = \iint_{4\pi} \vec{\Omega} \cdot \varphi_{\Omega} d\Omega$	$s^{-1} \cdot m^{-2}$
Spektrale vektorielle Teilchenradianz	$\vec{\varphi}_{E,\Omega} = \frac{d^2 \vec{\varphi}}{dE \cdot d\Omega}$	$s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot J^{-1} \cdot sr^{-1}$
Vektorielle Teilchenfluenz	$\vec{\Phi} = \iint_{4\pi} \vec{\Omega} \cdot \Phi_{\Omega} d\Omega$	m^{-2}
Spektrale vektorielle Teilchenfluenz	$\vec{\Phi}_{E,\Omega} = \frac{d^2 \vec{\Phi}}{d\Omega \cdot dE}$	$m^{-2} \cdot J^{-1} \cdot sr^{-1}$
Vektorielle Energieflussdichte	$\vec{\Psi}(t, \vec{r})$	$m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Vektorielle Energiefluenz	$\vec{\Psi}(\vec{r}) = \int_{\Delta t} \vec{\Psi}(\vec{r}, t) dt$	$keV \cdot m^{-2}$

Anschauliche Bedeutung der skalaren Strahlungsfeldgrößen

Bezeichnung	Bedeutung
Fluss	Teilchen/Zeit Energie/Zeit
Fluenz	Teilchen/Fläche Energie/Fläche
Flussdichte	Teilchen/(Zeit·Fläche) Energie/(Zeit·Fläche)
Spektrale Größen	Auf ein Energieintervall dE bezogene Größen
Radianz	Raumwinkelbezogene differentielle Größe

Spezielle Teilchenzahldichten

Name	Formelzeichen	SI-Einheit
Volumenbezogene Teilchenzahl	$n = \frac{dN}{dV}$	m^{-3}
Teilchendichte	$\dot{n} = \frac{dn}{dt}$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}$
Quellstärke	$S = \frac{dN_f}{dt}$	s^{-1}
Quelldichte (volumenbezogene Quellstärke)	$s = \frac{dS}{dV} = \frac{d^2 N_f}{dV dt}$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}$
Spektrale raumwinkel- und volumenbezogene Quellstärke	$s_{E,\Omega}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t) = \frac{d^4 N_f}{dV dt d\Omega dE}$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}\text{keV}^{-1}\text{sr}^{-1}$
Streuteilchendichte	$\zeta(\vec{r}, t) = \frac{d^2 N_s}{dV dt}$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}$
Spektrale raumwinkelbezogenen Streuteilchendichte	$\zeta_{E,\Omega}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t) = \frac{d^4 N_s}{dV dt d\Omega dE}$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}\text{keV}^{-1}\text{sr}^{-1}$
Emersionsteilchendichte	$\chi(\vec{r}, t) = s(\vec{r}, t) + \zeta(\vec{r}, t)$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}$
Spektrale raumwinkelbezogenen Emersionsteilchendichte	$\chi_{E,\Omega}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t) = s_{E,\Omega}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t) + \zeta_{E,\Omega}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t)$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}\text{keV}^{-1}\text{sr}^{-1}$
Spektrale raumwinkelbezogenen Stoßteilchendichte	$\zeta_{E,\Omega}(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t) = \frac{d^4 N_c(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t)}{dV dt d\Omega dE}$	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}\text{keV}^{-1}\text{sr}^{-1}$
N_f	Anzahl an Teilchen die aus einer fixen Quelle f emittiert werden	
N_s	Anzahl an Teilchen die nach einer Wechselwirkung als Streuteilchen emittiert werden	
N_c	Anzahl der Teilchen an, die in dV und in $t \dots t + dt$ stoßen	

Standardmodell der Elementarteilchen

Der Aufbau aller Materie wird mithilfe des Standardmodells der Elementarteilchen beschrieben. Diese Theorie umfasst eine gewisse Anzahl an elementaren Teilchen, die nicht weiter teilbar sind und die uns bekannte Welt einigermaßen beschreiben. Sie sind in zwei Gruppen gegliedert: Die Materieteilchen (Fermionen) und die Austauschteilchen (Bosonen).

Die Materieteilchen teilen sich selbst wiederum in zwei Gruppen auf, die Quarks und die Leptonen. Wechselwirkungen zwischen den Materieteilchen geschehen über die Bosonen. Dabei wird, je nach Wechselwirkung das charakteristische Austauschteilchen von einem Materieteilchen ausgesendet bzw. empfangen.

Sowohl Materieteilchen, als auch Austauschteilchen sind in folgender Tabelle dargelegt:

Quarks						
	1. Generation		2. Generation		3. Generation	
Name	Up	Down	Charm	Stange	Top	Bottom
Symbol	u	d	c	s	t	b
Elektrische Ladung	$2/3$	$-1/3$	$2/3$	$-1/3$	$2/3$	$-1/3$
Ruheenergie (GeV)	$1,7 - 3,1 \cdot 10^{-3}$	$4,1 - 5,7 \cdot 10^{-3}$	$1,15 - 1,35$	$0,08 - 0,13$	$170 - 180$	$4,1 - 4,4$
Leptonen						
	1. Generation		2. Generation		3. Generation	
Name	Elektron	Elektron-Neutrino	Myon	Myon-Neutrino	Tau	Tau-Neutrino
Symbol	e^-	ν_e	μ	ν_μ	τ	ν_τ
Elektrische Ladung	-1	0	-1	0	-1	0
Ruheenergie (MeV)	$0,510998$	$< 2 \cdot 10^{-6}$	$105,658$	$< 0,19$	$1776,82$	$< 18,2$
Bosonen						
Name	Photon	Gluon	Boson		W Boson	
Symbol	γ	g	Z^0		$W^\pm$	
Elektrische Ladung	0	0	0		± 1	
Ruheenergie (GeV)	0	0	91		80	

Was hat es mit dem Higgs-Boson auf sich?

Das heutige Standardmodell unterscheidet sich von der ersten Version. Damals gab es nämlich ein großes Problem: Sämtliche Teilchen wurden als masselos angenommen. Dies war aus dem Grund ein Problem, da alle Materie auf der Welt offensichtlich Masse besitzen, welche aber nicht erklärt werden konnte.

Im Jahr 1964 löste ein englischer Physiker, Peter Higgs dieses Problem. Er erfand einen mathematischen Mechanismus der das Standardmodell dahingehend veränderte, dass alle Elementarteilchen nun als massiv wahrgenommen werden können.

Die Idee: Das ganze Universum wird von einem Feld durchsetzt mit dem alle Elementarteilchen wechselwirken und somit ihre Masse erhalten. Dieser Trick funktionierte jedoch nur, indem Higgs ein neues, weiteres Teilchen dem Standardmodell hinzufügte, das sogenannte Higgs-Boson.

2012 wurde am LHC das erste Mal ein Boson nachgewiesen, welches in seinen Eigenschaften mit dem Higgs-Bosons übereinstimmt.