

Ferienkurs Experimentalphysik 2

Sommersemester 2015

Gabriele Semino, Alexander Wolf, Thomas Maier

Übungsblatt 4

Elektromagnetische Wellen und spezielle Relativitätstheorie

Aufgabe 1: Leistung eines Hertzchen Dipols

In Kugelkoordinaten stellt die sphärische Welle

$$\vec{E}(t, \vec{r}) = \frac{\alpha}{r} \sin \theta \cos(\omega t - kr) \vec{e}_\theta \quad \vec{B}(t, \vec{r}) = \frac{\beta}{r} \sin \theta \cos(\omega t - kr) \vec{e}_\phi \quad (1)$$

mit $\alpha = \beta c$ das Fernfeld eines Hertzchen Dipols dar. Berechnen Sie die mittlere Leistung, die von diesem Dipol durch die Halbsphäre $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ mit $r = 1$ km gestrahlt wird, wenn α den Wert 100 V hat. Die elektrische Feldkonstante ist $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Jm}$.

Hinweis: $\int_0^{\pi/2} d\theta \sin^3 \theta = 2/3$

Aufgabe 2: Polarisation elektromagnetischer Wellen

Beschreiben Sie die Art der Polarisation für die ebenen elektromagnetischen Wellen, die durch die folgenden Gleichungen für das E-Feld beschrieben werden:

- a) $E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$, $E_z = 4E_0 \sin(kx - \omega t)$
- b) $E_y = -E_0 \cos(kx + \omega t)$, $E_z = E_0 \sin(kx + \omega t)$
- c) $E_y = 2E_0 \cos(kx - \omega t + \pi/2)$, $E_z = -2E_0 \sin(kx - \omega t)$

Aufgabe 3: Supernovaexplosion

Ein Raumschiff fliegt mit 60% der Lichtgeschwindigkeit an einem Stern vorbei. Nachdem das Raumschiff den Stern passiert und sich (vom Inertialsystem des Sterns betrachtet) 6 Lichtminuten entfernt hat, bricht eine Supernovaexplosion aus.

- a) Zeichnen und beschriften Sie ein Minkowski-Diagramm, das die Situation bezüglich des Inertialsystems des Sterns darstellt. Im Nullpunkt des Diagramms soll sich dabei das Ereignis 'Das Raumschiff passiert den Stern' befinden.
- b) Welche Koordinaten hat die Supernovaexplosion im Inertialsystem des Sterns?
- c) Berechnen Sie mit Hilfe der Lorentz-Transformation, welche Zeit auf der Raumschiffsuhr zwischen dem Vorbeiflug am Stern und dessen Explosion verstreicht.
- d) In welcher Entfernung ereignet sich die Supernova vom Raumschiff aus betrachtet?

Aufgabe 4: Bewegte Teilchen

In einem Raumschiff, das sich mit $\frac{5}{13}c$ von der Erde weg bewegt werden verschiedene Experimente durchgeführt. In einem ersten Experiment wird der Zerfall eines π^+ -Mesons untersucht. Ein ruhendes π^+ -Meson zerfällt innerhalb von $2,5 \cdot 10^{-8}$ s in ein μ^+ -Meson und ein Neutrino. Die kinetische Energie des π^+ -Mesons sei gleich $\frac{2}{3}$ seiner Ruheenergie.

- Geben Sie die Geschwindigkeit des π^+ -Mesons bezüglich des Raumschiffs an.
- Berechnen Sie die Strecke, welche das Meson im Raumschiff zurücklegt, bevor es zerfällt.

In einem zweiten Experiment werden in einem elektrischen Feld Elektronen (Ruheenergie $E_0 = 511\text{keV}$) aus der Ruhe auf $v' = \frac{5}{13}c$ relativ zum Raumschiff entgegen der Flugrichtung beschleunigt.

- Berechnen Sie die Spannung, welche zum Beschleunigen der Elektronen notwendig ist.

Aufgabe 5: Nachricht an bewegtes Raumschiff

Zum Zeitpunkt $t = 0$ startet von der Erde (Ursprung des Bezugssystems S) ein Raumschiff mit der Geschwindigkeit $v = \frac{3}{5}c$. Die Erde funkt zum Zeitpunkt $\tau = 1\text{d}$ eine Nachricht an das Schiff.

- Zeigen Sie: Wenn der Funkspruch empfangen wird, hat das Raumschiff im System S den Ort

$$x = \frac{v\tau}{1 - \frac{v}{c}} \quad (2)$$

erreicht und es ist die Zeit

$$t = \frac{\tau}{1 - \frac{v}{c}} \quad (3)$$

auf der Erde vergangen.

- Bestimmen Sie die Ankunftszeit des Funkspruchs, die von einer Uhr an Board des Schiffs gemessen wird.

Aufgabe 6: Erde, Rakete, Meteor

Die Erde, eine bemannte Rakete und ein Meteor bewegen sich zufällig in die gleiche Richtung. An der Erde fliegt die Rakete mit einer von der Erde beobachteten Geschwindigkeit von $v_{E,R} = \frac{3}{4}c$ vorbei. An der Rakete fliegt der Meteor mit einer von der Raketenmannschaft beobachteten Geschwindigkeit von $v_{R,M} = \frac{1}{2}c$ vorbei.

- Welche Geschwindigkeit hat der Meteor von der Erde aus beobachtet?
- Zeichnen Sie ein Minkowski-Diagramm für diese Situation aus der Sicht der Raketenbesatzung.