

### Informationen zum Übungsbetrieb:

Der gesamte Übungsbetrieb erfolgt digital mit Hilfe von Ilias sowie Microsoft Teams und Zoom. Der Übungsbetrieb gliedert sich in eine Saalübung am Dienstag um 17:30 Uhr sowie Übungsgruppen am Mittwoch Nachmittag, die als interaktive Online-Seminare abgehalten werden.

Bitte besuchen Sie zur Anmeldung zu den Übungsgruppen bis zum Freitag, 24.04.2020, um 13:00 Uhr die Webseite

<http://www.physik.kit.edu/Tutorium/SS20/TheorieD/>

und geben Sie dort Ihre bevorzugte Übungsgruppe inkl. Zweitwunsch an. Bitte geben Sie auch Ihren KIT Benutzernamen (für gewöhnlich von der Form uxxxx) an.

Sie können sich bereits auf Ilias für den Übungskurs registrieren und dort den Blog sowie weitere Informationen einsehen. Die Zuteilung zu den dort für Sie geschlossenen Übungsgruppen nehmen allerdings wir am Freitag und Samstag, 24.04. und 25.04., gemäß Ihren Wünschen vor. Erst nachdem Sie auf Ilias einer Gruppe zugeordnet sind, können Sie auch dort dieses Übungsblatt einsehen und eine digitale Lösung abgeben.

Der Ablauf jede Woche ist wie folgt: Übungsblätter werden montags ausgegeben. Die digitale Abgabe ist eine Woche darauf montags bis 15:00 Uhr, die Daten sind jeweils auf dem Blatt oben rechts vermerkt. Ihre Blätter werden bis Mittwoch digital korrigiert und in den Übungsgruppen besprochen. Die Übungsblätter gliedern sich in zwei Teile:

- Punkteaufgaben, für welche Sie eine Lösung ausarbeiten und montags digital einreichen (bevorzugt als PDF oder jpg). Innerhalb einer Übungsgruppe erlauben wir Ihnen zu zweit abzugeben. Jedoch müssen beide Studierende die gemeinsame Lösung getrennt auf Ilias hochladen! Um Sie als Team zu identifizieren, melden Sie sich bitte direkt nacheinander auf der Anmeldungswebseite an.
- Präsenzaufgaben (ab Blatt 2!), für welche Sie eine ca. 10-15 minütige Präsentation ausarbeiten und im Tutorium präsentieren. Sie können sich in der Vorwoche jeweils bei Ihrem Tutor für eine Präsentation anmelden (Beispiel: Bei der Besprechung von Blatt 1 am 29.04. werden die Studierenden für die Präsentation der Präsenzaufgaben von Blatt 2 am 06.05. festgelegt). Runden Sie Ihre Präsentation mit ein paar Folien oder einer handgeschriebenen Darstellung ab, die Sie zuvor Ihrem Tutor zukommen lassen. Um Ihnen allen die Möglichkeit einer Präsentation einzuräumen, gliedern sich die Präsenzaufgaben mitunter in zwei (unabhängige) Teilaufgaben, die von verschiedenen Studierenden bearbeitet werden können.

Um die Vorleistung zur Modernen Theoretischen Physik I zu erwerben, verlangen wir die Erfüllung folgender Kriterien:

- Erwerb von mindestens 50% der Punkte der Punkteaufgaben auf den Übungsblättern.
- Präsentation einer (anteiligen) Präsenzaufgabe im Umfang von ca. 10 bis 15 Minuten.

Anmerkungen: Das erste Blatt dient dem Aufwärmen und auch der Überprüfung und möglichen Verbesserung der Systeme und umfasst nur ca. die Hälfte der Punkte zukünftiger Blätter. Es werden für alle Blätter Musterlösungen bereitgestellt. In der Summe gibt es 13 Übungsblätter.

Die interaktiven Online-Seminare am Mittwoch finden in Microsoft Teams zu den eingeteilten Uhrzeiten statt. Für die Saalübung am Dienstag gibt es auf Ilias ein Forum, in welchem Sie Ihre Fragen in geordneter Weise stellen können. Rechtzeitig (bis Montag Abend) eingegangene, sinnvolle Fragen werden dort oder mit kleinen Videos bis Dienstag beantwortet. Die Saalübung an sich erlaubt auch durch Zoom eine direkte Interaktion zur vorgegebenen Uhrzeit.

Details zur Nutzung von Microsoft Teams und Zoom folgen auf Ilias in den nächsten Tagen, wenn seitens des KIT keine Änderungen mehr zu erwarten sind. Beachten Sie, dass Sie vor der Nutzung einer Datenschutzvereinbarung zustimmen müssen.

Zusammenfassend sind Ihre Aufgaben in der ersten Woche:

- Anmeldung zu den Übungsgruppen auf der Webseite der Übungsanmeldung bis 24.04.2020, 13:00 Uhr.
- Beitritt zu den Kursen auf Ilias, für die Vorlesung und die Übungen. Die Zuteilung zu den Übungsgruppen auf Ilias machen wir.
- Anfertigung einer Ausarbeitung zum ersten Blatt. Ihre Lösung können Sie digital auf Ilias erst einreichen, nachdem Sie nach Anmeldeschluss im Verlauf des Wochenendes Ihrer Gruppe zugeteilt wurden! Abgabeschluss ist Montag, 27.04.2020, um 15:00 Uhr.
- Stimmen Sie zeitnah den Datenschutzvereinbarungen für Microsoft Teams zu, unter <https://my.scc.kit.edu/shib/azurefreigabe.php>

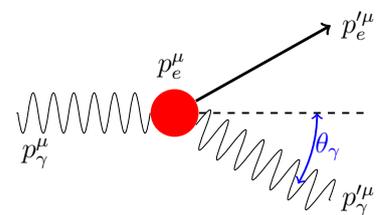
Die Anmeldung zur Vorleistung auf Campus erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt und wird auf Ilias und den Übungsblättern kommuniziert. Die Daten für die Erst- und Zweitklausur lauten Montag, 27.07.20, ab 11:00 Uhr und Montag, 05.10.20, ab 14:30 Uhr. Jedoch werden diese unbenoteten Scheinklausuren mitunter digital abgehalten, dies entscheidet sich später.

Wir wünschen viel Spaß und Erfolg bei der schönsten Theorievorlesung, die für Sie und uns in vielerlei Hinsicht Neues bereithält! Bleiben Sie gesund!

### Aufgabe 1: Streuprozess - Compton-Effekt

5+2 = 7 Punkte

Ein Photon streut an einem ruhenden Elektron und überträgt dabei Energie und Impuls auf das Elektron. In dieser Aufgabe soll nun die Energie  $E'_\gamma$  des Photons nach der Streuung in Abhängigkeit des Streuwinkels  $\theta_\gamma$  mittels Energie-Impuls-Vektoren  $p^\mu$  bestimmt werden. Diese sind gegeben durch Energie  $E_i$  und Impuls  $\vec{p}_i$  des Teilchens gemäß  $p_i^\mu = (E_i/c, \vec{p}_i)$ ,  $p_{i\mu} = (E_i/c, -\vec{p}_i)$ .



Das Quadrat der Energie-Impuls-Vektoren ist invariant unter Lorentz-Transformationen und gegeben durch die invariante Ruhemasse des Teilchens  $m_0$  gemäß

$$p^2 = p_\mu p^\mu = m_0^2 c^2 = \frac{E^2}{c^2} - \vec{p}^2.$$

Diese Aufgabe dient auch als Wiederholung der speziellen Relativitätstheorie aus der Theorie C.

(a) Nutzen Sie die Energie-Impulserhaltung ausgedrückt durch  $p^\mu$  aus, um die Energie des Photons nach dem Stoß zu bestimmen. Gehen Sie wie folgt vor:

- (i) Lösen Sie die Gleichung der Energie-Impuls-Vektoren des Elektrons  $p_e^\mu$  und des Photons  $p_\gamma^\mu$  vor dem Stoß und des Elektrons  $p_e'^\mu$  und des Photons  $p_\gamma'^\mu$  nach dem Stoß nach  $p_e'^\mu$  auf.
- (ii) Quadrieren Sie die resultierenden Energie-Impuls-Vektoren auf beiden Seiten der Gleichung. Verifizieren Sie, dass die Energie des auslaufenden Photons  $E_\gamma'$  als Funktion der Elektronenmasse  $m_e$ , des Streuwinkels  $\theta_\gamma$  und der Energie des einlaufenden Photons  $E_\gamma$  durch

$$E_\gamma' = E_\gamma \left( 1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \theta_\gamma) \right)^{-1}$$

gegeben ist.

*Hinweis:* Schreiben Sie die relevanten Energie-Impuls-Vektoren explizit auf. Nutzen Sie das Skalarprodukt im Minkowski-Raum  $p_i \cdot p_j = p_{i\mu} p_j^\mu = E_i E_j / c^2 - \vec{p}_i \cdot \vec{p}_j$  unter Verwendung der Metrik  $g^{\mu\nu} = (+1, -1, -1, -1)$ . Es gilt  $\vec{p}_\gamma \cdot \vec{p}_\gamma' = |\vec{p}_\gamma| |\vec{p}_\gamma'| \cos \theta_\gamma$ . Das Elektron ist anfänglich in Ruhe, also  $\vec{p}_e = \vec{0}$ . Die Ruhemasse des Photons ist  $m_\gamma = 0$ , damit können Sie  $|\vec{p}_\gamma|$  direkt als Funktion von  $E_\gamma$  ausdrücken.

- (b) Die Energie eines Photons ist durch seine Wellenlänge  $\lambda$  gemäß  $E_\gamma = 2\pi\hbar c / \lambda$  mit Planckschen Wirkungsquantum  $\hbar$  gegeben. Bestimmen Sie die Differenz der Wellenlängen  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ .

## Aufgabe 2: Polarisationsfilter - Wahrscheinlichkeiten

<b>1+1+1 = 3 Punkte</b>
-------------------------

Das elektrische Feld eines in  $x$ -Richtung linear polarisierten Lichtstrahls sei

$$\vec{E}(\vec{x}, t) = E \vec{e}_x e^{i(kz - \omega t)}$$

mit  $\vec{e}_x = (1, 0, 0)$ . Die Intensität des Strahls ist

$$I = \beta |\vec{E}|^2$$

mit einer für die folgende Diskussion irrelevanten Konstanten  $\beta$ . Nach Durchlaufen eines Polarisationsfilters, der um den Winkel  $\theta$  gegen die  $x$ -Achse verdreht ist, hat der Lichtstrahl die Form

$$\vec{E}'(\vec{x}, t) = E' \vec{e}_\theta e^{i(kz - \omega t)}$$

mit  $\vec{e}_\theta = (\cos \theta, \sin \theta, 0)$ .

- (a) Drücken Sie  $E'$  und  $I' = \beta |\vec{E}'|^2$  durch  $E$  und  $\theta$  aus. Was passiert bei  $\theta = \pi/2$ ?
- (b) Es sei nun  $\theta = \pi/2$ . Schalten Sie nun einen zweiten Polarisationsfilter *vor* den ersten, mit Winkel  $\hat{\theta} = \pi/4$ . Wie sieht das elektrische Feld des Strahls nach Durchlaufen beider Filter aus?
- (c) Wie kann man diese Beobachtungen im Rahmen der Quantenmechanik interpretieren, wenn die Intensität des Lichtstrahls auf einzelne Photonen reduziert wird?

*Hinweis:* Es genügt eine qualitative Diskussion ohne Formeln.