



## Schriftliche Prüfung

Zeit: 3 Stunden

Hilfsmittel: Formeln und Tafeln (handschriftlich ergänzt, keine Zusatzblätter)

Taschenrechner

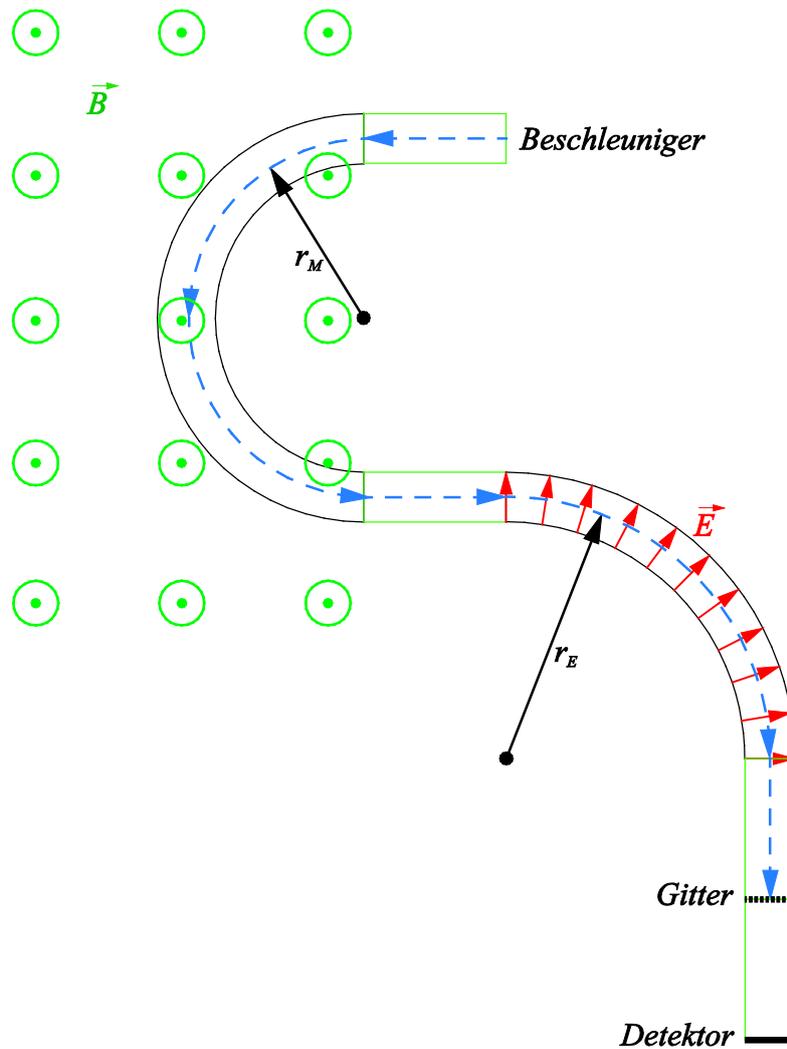
Geodreieck

Nuklidkarte im A4-Format

**Regeln:** Die Blätter sind nicht zu trennen. Es darf nicht mit Bleistift oder Rotstift geschrieben oder gezeichnet werden. Falls der Platz unter einer Aufgabenstellung nicht ausreicht, kann auf der Rückseite des vorhergehenden Blattes weiter geschrieben werden. Es gibt höchstens dann volle Punktzahl zu einer Aufgabe, wenn der Lösungsweg klar ersichtlich ist. Alle Ergebnisse sind in SI-Einheiten und wissenschaftlicher Schreibweise auszudrücken (ausser etwas anderes ist verlangt).

Die „falschen Lösungen“, die angegeben sind, dienen zum Weiterrechnen, wenn ein Aufgabenteil nicht gelöst werden konnte. Die hier angegebenen Zahlen verstehen sich in SI-Einheiten.

1. **Elektrisches und Magnetisches Feld, Relativitätstheorie, Materiewellen:** Zur Messung der relativistischen Massenzunahme bei Elektronen kann folgendes Experiment verwendet werden: Nach dem Durchlaufen einer Beschleunigereinheit treten die Elektronen (blaue Spur) in ein Magnetfeld  $\vec{B}$  ein und folgen einer Kreisbahn mit Radius  $r_M$ . Nach Verlassen des Magnetfelds folgt eine feldfreie Zone, an die sich ein radiales elektrisches Feld  $\vec{E}$  anschliesst, in dem die Elektronen eine weitere Kreisbahn mit Radius  $r_E$  machen. Diese Kombination von magnetischem und elektrischem Feld funktioniert als Geschwindigkeitsfilter, ähnlich wie Sie es vom Massenspektrometer her kennen.



- 1.1. [8 Punkte] Zeigen Sie, dass für die „passende“ Elektronengeschwindigkeit  $v$  und die Elektronenmasse  $m_e$  die Gleichungen  $v = \frac{r_E \cdot E}{r_M \cdot B}$  und  $m_e = e \cdot \frac{B^2 \cdot r_M^2}{E \cdot r_E}$  gelten. Rechnen Sie überall relativistisch!

1.2. [7 Punkte] Mit welcher Spannung müssen die Elektronen beschleunigt werden, damit sich ihre Masse verdreifacht?

1.3. [7 Punkte] Wie gross ist dann ihre Geschwindigkeit? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen:  $2.7 \cdot 10^8$ )

1.4. [7 Punkte] Wie gross müssten für diese Geschwindigkeit E und B sein, wenn  $r_M = 0.2m$  und  $r_E = 0.4m$  wären?

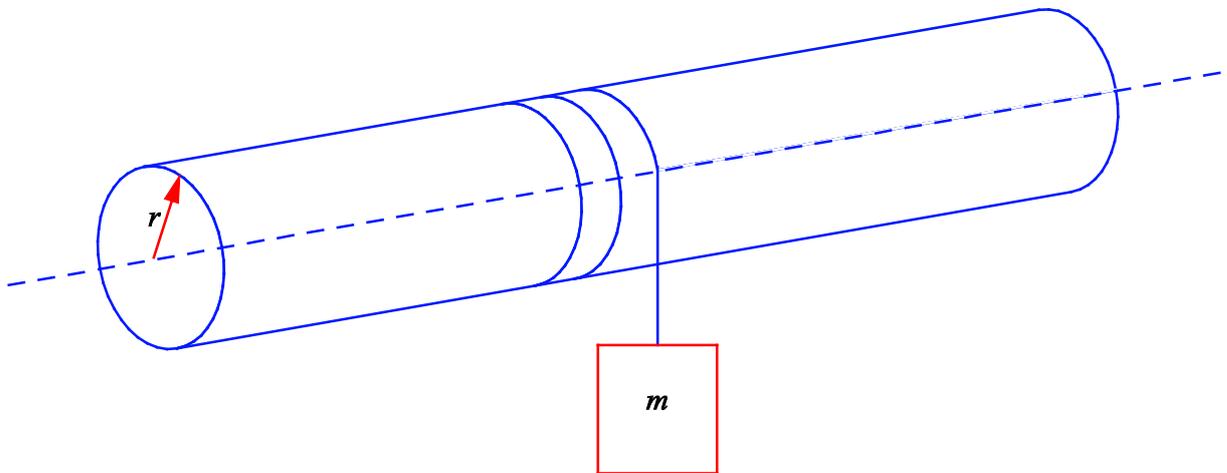
1.5. [5 Punkte] Wie gross ist dann die Wellenlänge der Elektronen? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen:  $10^{-12}$ )

- 1.6. [6 Punkte] Am Ende der Apparatur treffen die Elektronen auf ein Beugungsgitter mit einer Gitterkonstanten von  $1\mu\text{m}$ . Wie weit erscheint das erste Beugungsmaximum von Zentralmaximum entfernt, wenn der Detektor für die Elektronen (der „Schirm“) 1m vom Gitter entfernt ist?

1.7. [3 Punkte] Wie lange sind die Elektronen vom Gitter zum Schirm (im Laborsystem) unterwegs?

1.8. [3 Punkte] Wie lange sind die Elektronen vom Gitter zum Schirm (in ihrem eigenen Ruhesystem) unterwegs?

2. **Starrer Körper:** Um eine reibungsfrei gelagerte Welle mit Radius  $r=3\text{cm}$  ist ein Seil gewickelt, an dem ein Körper der Masse  $m=7\text{kg}$  befestigt ist. Wird der Körper losgelassen, bewegt er sich nach unten und versetzt die Welle in eine Rotationsbewegung. Nach 2.5 Sekunden hat sich der Körper dann 3m abwärts bewegt. Vernachlässigen Sie bei all Ihren Berechnungen die Masse des Seils.



2.1. [1 Punkt] Wieso werden Körper und Welle hierbei *gleichmässig* beschleunigt? (Bitte rechnen Sie hier nichts. Ein bis zwei Sätze genügen.)

2.2. [3 Punkte] Wie schnell ist der Körper am Ende dieser Bewegung? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 5)

2.3. [3 Punkte] Wie gross ist die Beschleunigung des Körpers? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 1)

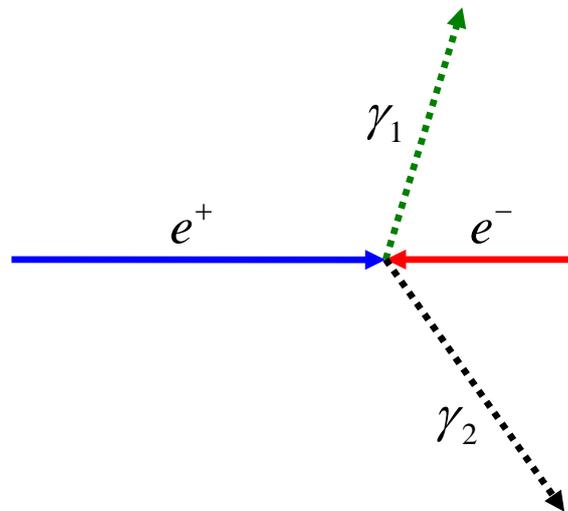
- 2.4. [3 Punkte] Wie gross ist die Winkelgeschwindigkeit der Welle am Ende dieser Bewegung? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 40)
- 2.5. [3 Punkte] Wie gross ist die Winkelbeschleunigung bei diesem Vorgang? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 16)
- 2.6. [4 Punkte] Wie gross ist das Trägheitsmoment der Welle? [Je nach Vorgehensweise wollen Sie evtl. zuerst Aufgabe 2.9 lösen (und dann 2.6, 2.7 usw. in normaler Reihenfolge), aber das ist Ihnen überlassen.] (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 0.03)

2.7. [3 Punkte] Wie gross ist die Masse der Welle, wenn diese ein 7.24m langer Hohlzylinder mit einem Innenradius von 2cm ist? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 89)

2.8. [4 Punkte] Welche Dichte hat das Material der Welle? Um welchen Stoff könnte es sich handeln?

2.9. [3 Punkte] Welche Kraft greift über das Seil an der Welle an?

3. **Relativistische Kinematik:** Mittelenergetische Paarvernichtung: Ein Elektron mit 2.5MeV kinetischer Energie und ein Positron mit 4.5MeV kinetischer Energie stossen frontal aufeinander, annihilieren und erzeugen zwei Photonen. Sie werden im Folgenden die Eigenschaften dieser Photonen untersuchen.



- 3.1. [4 Punkte] Wie gross ist die Ruheenergie von Elektron bzw. Positron? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen:  $4.1 \cdot 10^{-14}$ ,  $4.2 \cdot 10^{-14}$ )

- 3.2. [5 Punkte] Wie gross ist die Gesamtenergie des Elektrons und wie gross die des Positrons? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen:  $4 \cdot 10^{-13}$ ,  $2.4 \cdot 10^{-13}$ )

3.3. [6 Punkte] Wie gross sind die Impulse von Elektron und Positron? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen:  $5.3 \cdot 10^{-21}$ ,  $3.2 \cdot 10^{-21}$ )

3.4. [5 Punkte] Wie lautet der Energieerhaltungssatz bei dieser Reaktion? Wie gross ist die Gesamtenergie vor der Reaktion?

3.5. [3 Punkte] Wie gross ist der Gesamtimpuls vor der Reaktion?

3.6. [5 Punkte] Zeigen Sie (v. a. mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes), dass die Spitzen der Impulsvektoren der beiden Photonen (Startpunkte der Vektoren wie in der Abbildung) auf einer bestimmten Ellipse liegen müssen, ansonsten aber in beliebige Richtungen zeigen können.

**4. Quantenmechanik:** (Aufgabe zur Schrödinger-Gleichung)

4.1. [6 Punkte] Welches sind die jeweiligen Quantenzahlen der Elektronen eines Silizium-Atoms, das sich in seinem Grundzustand befindet? Wie heissen jeweils die Hauptschale und das Orbital des Elektrons? (Wo etwas nicht eindeutig definiert ist, geben Sie bitte einfach eine der Möglichkeiten an.)

Elektron	n	$\ell$	m	s	Hauptschale	Orbital
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

4.2. Das Elektron eines H-Atoms macht einen Quantensprung vom Zustand ( $n=7$ ,  $\ell=3$ ,  $m=2$ ,  $s=1/2$ ) in den Zustand ( $n=6$ ,  $\ell=3$ ,  $m=2$ ,  $s=1/2$ ).

4.2.1. [3 Punkte] Welche Energie hat das emittierte Photon?

4.2.2. [3 Punkte] Wie gross ist der Drehimpuls des Elektrons nach dem Quantensprung?