KANTONSSCHULE WIL

Maturaprüfungen 2009

Physik

Klasse 4bcP

Dr. Matthias Heidrich

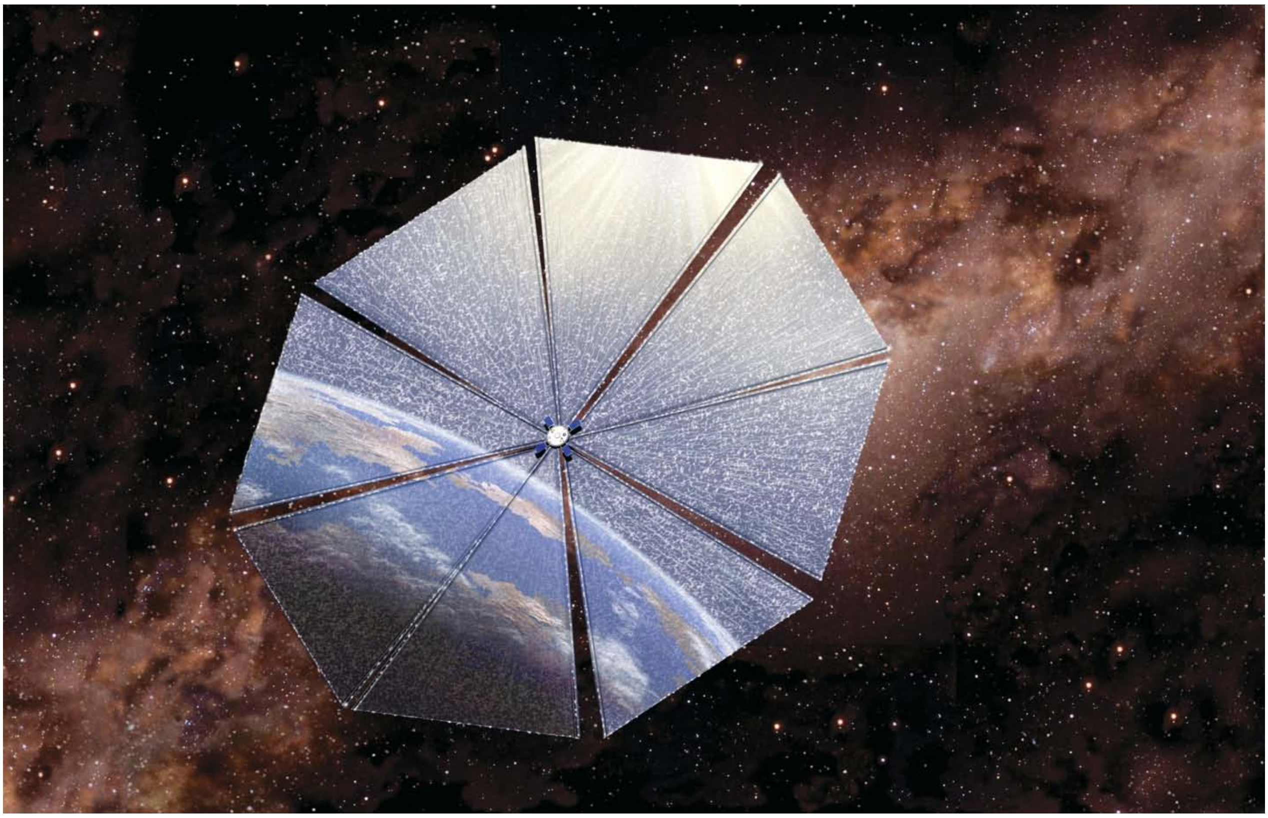
Prüfung

Zeit: 3 Stunden

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

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).*

1. Der Solar-Sail-Antrieb: Ein Antrieb für Raumsonden, der zwar noch in den Kinderschuhen steckt, der aber ein gewisses Potenzial besitzt, Sonden bis zu anderen Sternen zu transportieren, ist das “Sonnensegel” (Solar Sail), das vom Impuls des Sonnenlichtes angetrieben wird.



1.1. [2 Punkte] Ein solches Segel ist mit einer spiegelnden (komplett reflektierenden) Oberfläche versehen, und nicht etwa schwarz (komplett absorbierend). Wieso ist das so? Wie gross ist bei senkrechtem Einfall der jeweils pro Photon mit Impuls p_γ an das Segel übertragene Impuls?

1.2. [2 Punkte] Wie gross ist formal die Intensität (=Leistung pro Fläche) der Sonnenstrahlung im Abstand r vom Sonnenmittelpunkt, wenn die Strahlungsleistung der Sonne $P_S = 3.82 \cdot 10^{26} W$ beträgt? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $4 \cdot \pi \cdot P_S / r^2$)

1.3. [5 Punkte] Wie gross ist formal die Kraft $F(r)$, die das Licht aufgrund der Impulse seiner Photonen auf die Fläche A im Abstand r vom Sonnenmittelpunkt ausübt? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $P_S \cdot A / \left(c \cdot r^2\right)$)

1.4. [5 Punkte] Damit eine Sonde wirkungsvoll angetrieben werden kann, muss sie der Sonne sehr nahe kommen und darf erst dann ihr riesiges Segel entfalten. Wir nehmen an, unsere Sonde wird mit einem herkömmlichen Antrieb in Richtung Sonne gesteuert, in Sonnennähe abgebremst und dann h=10000km über der Sonnenoberfläche zum Stehen gebracht. Hier entfaltet sich dann das kreisrunde Sonnensegel mit $3.1\cdot 10^{7}m$ Radius. Welche Kraft erfährt die Sonde im ersten Augenblick? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $1.22\cdot 10^{14}$)

1.5. [3 Punkte] Welche Beschleunigung erfährt die Sonde der Ruhemasse 10t nach Newtons Gleichung $F = m\cdot a$? Darf man aber bei solchen Werten für F und a mit dieser Formel rechnen? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $1.22\cdot 10^{10}$)

1.6. [2 Punkte] Wie gross ist diese Kraft noch, wenn die Sonde die Erdbahn kreuzt? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $2.72\cdot 10^{9}$)

1.7. [6 Punkte] Die kinetische Energie, die die Sonde erhält, bis sie „sehr weit" von der Sonne entfernt ist, berechnet sich nach $E_K = \int_{R_S+h}^{\infty} F(r)dr$, wobei R_S den Sonnenradius bezeichnet. Erklären Sie diese Formel und berechnen Sie E_K. (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $8.61 \cdot 10^{23}$)

1.8. [3 Punkte] Wie gross ist daher das relativistische γ, mit dem die Sonde schliesslich in Richtung des Sterns „α-Centauri A" saust? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 1000)

1.9. [3 Punkte] Wie gross ist das β der Sonde? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 0.9999995)

1.10. [2 Punkte] α-Centauri A ist 4.34 Lichtjahre entfernt. Wie lange (in Tagen!) ist die Sonde von der Erde aus betrachtet dorthin unterwegs? (Wir nehmen im Folgenden konstante Geschwindigkeit von Beginn der Reise an.) (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 300)

1.11. [3 Punkte] Wie lange dauert die Reise (in Tagen) aus Sicht der Astronauten an Bord? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 1)

1.12. [3 Punkte] α-Centauri A ist ein sonnenähnlicher gelber Stern. Bei welcher Wellenlänge sehen die Astronauten im Spektrum von α-Centauri A die Wasserstofflinie, die „eigentlich“ bei 656nm liegt?

1.13. [3 Punkte] Bei welcher Wellenlänge sehen die Astronauten im Spektrum ihrer Heimatsonne die Wasserstofflinie, die „eigentlich“ bei 656nm liegt?

1.14. [3 Punkte] Um nichts zu riskieren, fliegen die Astronauten nur in einem Bogen um α-Centauri A herum, schiessen ein paar Fotos und sausen dann mit der ursprünglichen Geschwindigkeit zurück zur Erde. Sie setzten einen 10sekündigen Funkspruch ab, um der Erde mitzuteilen, dass alles gut verlaufen ist. Wie lange dauert dieser Funkspruch, wenn er auf der Erde empfangen wird?

1.15. [2 Punkte] Wie lange dauert die Reise aus Sicht der Astronauten insgesamt?

1.16. [2 Punkte] Wie lange dauert die Reise aus Sicht der Erde insgesamt?

2. Fusion und Spaltung von Atomkernen: Sie werden schrittweise berechnen, wie viel H-2 zu He-4 fusionieren muss, um die gleiche Menge Energie zu liefern, wie bei der Spaltung von 1kg U-235 frei wird. Ihnen bekannte Faustregeln wie „Eine Spaltung von U-235 liefert 200MeV“ oder „Ein 1GW-Kraftwerk verbraucht 1kg Uran am Tag“ dürfen Sie natürlich nicht verwenden!

2.1. [12 Punkte] Berechnen Sie die Bindungsenergien und die Bindungsenergien pro Nukleon von H-2 und He-4.

2.2. [2 Punkte] An welchen der vier soeben berechneten Werte erkennen Sie wie, dass die Fusionsreaktion ${}_{1}^{2}H + {}_{1}^{2}H \rightarrow {}_{2}^{4}He$ exotherm sein muss?

2.3. [5 Punkte] Wie gross ist der Energiegewinn bei der Spaltung $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{89}_{36}Kr + ^{144}_{56}Ba + 3^{1}_{0}n$? Im Formeln und Tafeln fehlen die Nuklidmassen von Kr-89 und Ba-144. Diese sind 88.917633u bzw. 143.922940u. (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: -200)

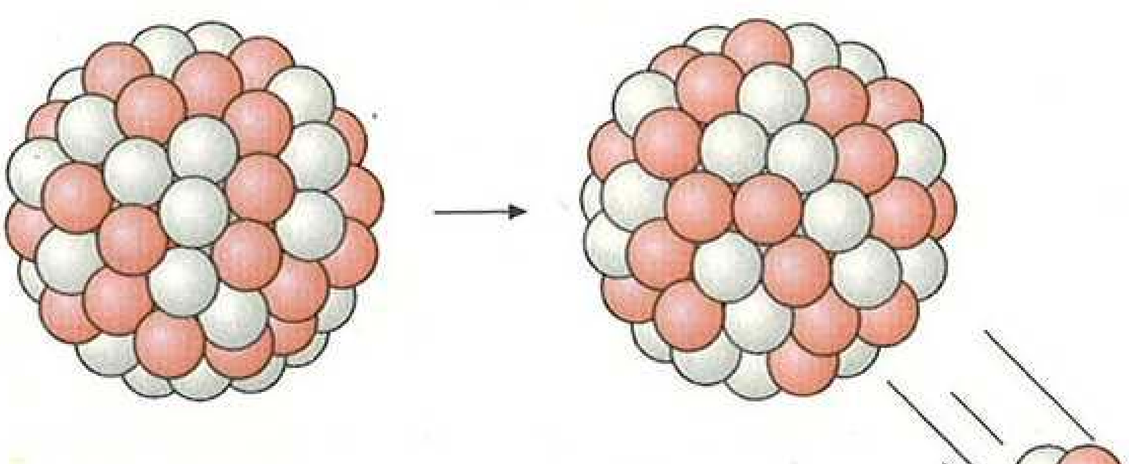
2.4. [4 Punkte] Wie gross ist der Energiegewinn bei der Fusion $^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He$?
(Falsche Lösung zum Weiterrechnen: -100)

2.5. [6 Punkte] Wie viele Kerne sind in 1kg U-235? Welche Energie (in MeV und in J) wird daher bei der Spaltung von 1kg frei? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 10^{14})

2.6. [6 Punkte] Wie viele Fusionen von H-2 sind für diese Energie nötig? Welche Masse H-2 muss hierzu fusionieren? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 0.5)

2.7. [6 Punkte] Unsere Sonne wird, wenn in einigen Milliarden Jahren aller Wasserstoff zu Helium fusioniert ist, zu einem „roten Riesenstern“ anschwellen, der seine Energie aus der Fusion von Helium zu Kohlenstoff gewinnt. Wie gross ist der Energiegewinn aus der Reaktion $3\,{}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C$? Wie viel Prozent des Energiegewinns aus der Fusion ${}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He$ sind das nur?

3. Der Rückstoss beim radioaktiven α-Zerfall: Als wir im Unterricht den radioaktiven α-Zerfall näher betrachtet haben, sind wir zum Schluss gekommen, dass das α-Teilchen seine kinetische Energie aus der „Massendifferenz-Vorher-Nachher“ bezieht und haben z. B. gerechnet: $E_K\left(He-4\right)=m\left(Ra-226\right)\cdot c^2-m\left(Rn-222\right)\cdot c^2-m\left(He-4\right)\cdot c^2$



$$^{226}_{88}Ra \rightarrow\ ^{222}_{86}Rn +\ ^{4}_{2}He$$

Diese Betrachtungsweise ist deswegen zu einfach (also falsch), weil wegen der Impulserhaltung auch der Tochterkern (Hier das Rn-222) einen Impuls, also auch kinetische Energie bekommt. Sie werden nun mittels Impuls- und Energieerhaltung den radioaktiven α-Zerfall korrekt beschreiben. Wegen der vergleichsweise geringen Geschwindigkeit der α-Teilchen können Sie mit $E_K=\frac{1}{2}\cdot m\cdot v^2$ rechnen.

3.1. [2 Punkte] Wie lautet der vollständige Energieerhaltungssatz für obige Reaktion?

3.2. [3 Punkte] Wie gross ist die Summe der kinetischen Energien (in J) nach dem Zerfall? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 10^{-13})

3.3. [2 Punkte] Wie lautet der Impulserhaltungssatz für obige Reaktion? (Der Kern soll vor dem Zerfall in Ruhe sein.)

3.4. [3 Punkte] Wie gross ist das Verhältnis der Geschwindigkeit des α-Teilchens zu der des Tochterkerns? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 100)

3.5. [7 Punkte] Wie gross ist die Geschwindigkeit und das relativistische β des Tochterkerns? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 10^5)

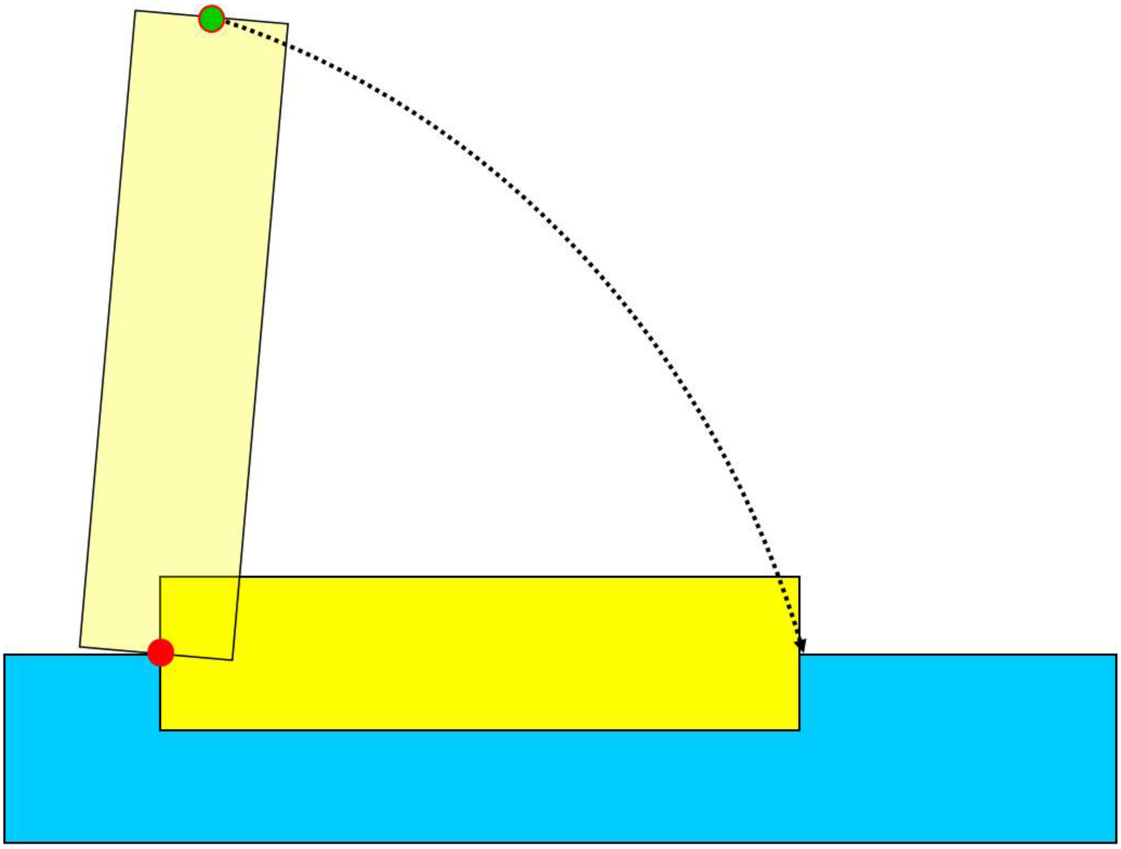
3.6. [5 Punkte] Wie gross ist die Geschwindigkeit und das relativistische β des α -Teilchens?

4. Ein spektakulärer Besuch in Pisa: Während sie vor dem weltbekannten Schiefen Turm stehen, lesen Sie in Ihrem Reiseführer:
Der Campanile (so heisst der Turm wohl auf Italienisch) ist 54 m hoch und hat sieben Glocken. Der Durchmesser des Turmes beträgt 12 Meter. Die Schieflage von 4.43° des Turms beruht auf dem Untergrund, der sich unter dem Gewicht verformt. Dass der aus Pisa stammende Galileo Galilei bei Versuchen auf dem Turm die Fallgesetze entdeckt haben soll, ist eher eine Legende. Der Turm besteht aus 14.200 Tonnen weissem Carrara-Marmor.

Als sie das gelesen haben, blicken Sie auf, um den Campanile zu bewundern, doch sie trauen Ihren Augen nicht: Der Turm kippt langsam nach rechts, bis er dann flach aufschlägt und dabei halb im Boden versinkt. Sie sind Augenzeuge des Einsturzes des schiefen Turms von Pisa geworden!

Ihr erster Gedanke: Sie wollen unbedingt nachrechnen, wie lange das Umkippen genau gedauert hat. Die Angaben aus dem Reiseführer zusammen mit der vereinfachten Annahme, der Turm sei zylinderförmig, sollten dazu ausreichen.

4.1. [1 Punkt] Sie machen sich untenstehende Skizze des Vorgangs. Zeichnen Sie nun den Vektor des Drehmoments in die Abbildung ein, das die Gravitation auf den Turm ausübt.



4.2. [4 Punkte] Wie gross ist das Trägheitsmoment bzgl. des Drehpunkts (rot eingezeichnet) der entstehenden Bewegung? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 10^{10})

4.3. [3 Punkte] Wie gross ist die Gesamtenergie des Turms? Vernachlässigen Sie hier den anfänglichen Neigungswinkel von 4.43°! (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 10^{10})

4.4. [2 Punkte] Stellen sie den Energieerhaltungssatz für den Kippvorgang auf. Geben Sie hierzu dem Schwerpunkt des Turmes Koordinaten x und y und berechnen Sie formal die Energie, die er hat, wenn der Schwerpunkt noch die Höhe y besitzt. Vernachlässigen Sie auch hier den anfänglichen Neigungswinkel von 4.43°!

4.5. [3 Punkte] Bestimmen Sie mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes, welche momentane Winkelgeschwindigkeit ω_M der Turm kurz vor der „Landung" hat. (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 1)

4.6. [4 Punkte] Nun können Sie auch schon Ihre Frage beantworten: Nach welcher „Kippzeit“ t_K “landet“ der Turm? Nehmen Sie zur Berechnung an, dass die Winkelbeschleunigung während des Vorgangs näherungsweise konstant ist, und überlegen Sie sich, um welchen Winkel er in der Kippzeit kippt. (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 5)

4.7. [3 Punkte] Wie gross ist die (konstant angenommene) Winkelbeschleunigung während des Kippens? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: 0.1)

4.8. [3 Punkte] Wie lautet die Funktion $\omega(t)$?

4.9. [3 Punkte] Wie lautet die Funktion $\varphi(t)$ (Berücksichtigen Sie ab sofort den anfänglichen Neigungswinkel von 4.43°!)?

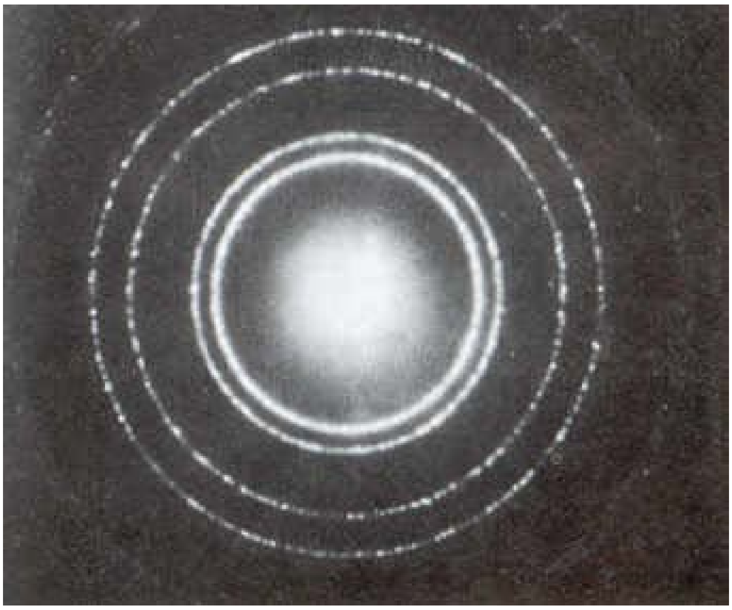
4.10. [5 Punkte] Geben Sie die Bewegung der Turmspitze (grüner Punkt in der Skizze) als zeitabhängigen Vektor $\vec{r}(t)$ an.

4.11. [5 Punkte] Geben Sie die Geschwindigkeit der Turmspitze (grüner Punkt in der Skizze) als zeitabhängigen Vektor $\vec{v}(t)$ an.

4.12. [5 Punkte] Geben Sie die Beschleunigung der Turmspitze (grüner Punkt in der Skizze) als zeitabhängigen Vektor $\vec{a}(t)$ an.

4.13. [3 Punkte] Welche Geschwindigkeit (Betrag!) hatte die Turmspitze (grüner Punkt in der Skizze) kurz vor der Landung?

5. Beugung von Materiewellen: Verschiedene Teilchenarten werden beschleunigt und die Welleneigenschaften des erzeugten Teilchenstrahls untersucht.



5.1. [7 Punkte] Elektronen, Protonen und α-Teilchen werden mit jeweils 5kV Spannung (jeweils richtig gepolt natürlich) beschleunigt. Wie gross ist jeweils ihre kinetische Energie (in J)? Rechnen Sie nichtrelativistisch! (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $8\cdot10^{-15}$; $9\cdot10^{-15}$; $7\cdot10^{-15}$)

5.2. [7 Punkte] Wie gross ist jeweils ihre Geschwindigkeit? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $10^5; 10^6; 10^7$)

5.3. [7 Punkte] Wie gross ist jeweils ihr Impuls? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $10^{-21}; 10^{-22}; 10^{-23}$)

5.4. [7 Punkte] Wie gross ist jeweils die Wellenzahl? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $10^{11};10^{12};10^{13}$)

5.5. [7 Punkte] Wie gross ist jeweils die Wellenlänge? (Falsche Lösung zum Weiterrechnen: $10^{-11};10^{-12};10^{-13}$)

5.6. [6 Punkte] Wie breit müsste jeweils ein Beugungsspalt sein, wenn man das Maximum 1. Ordnung auf einem 1m entfernten Schirm 1mm vom 0. Maximum finden will?

5.7. [6 Punkte] Wo fände man bei einem Gitter der Gitterkonstanten $10^{-10}m$ jeweils das Maximum 1. Ordnung auf einem 0.5m entfernten Schirm?