

Kandidatin / Kandidat

Vorname und Name:

- Lösungen**
- Beginnen Sie jede Aufgabe (nicht Teilaufgabe...) auf einem neuen Blatt.
 - Der Weg zum Resultat muss nachvollziehbar sein.
 - In den numerischen Daten und Resultaten sind die korrekten Einheiten mit anzugeben und eine sinnvolle Präzision, normalerweise drei signifikante Stellen, einzuhalten.
 - Endresultate bitte doppelt unterstreichen.
 - Textantworten und Begründungen müssen physikalisch stichhaltig und sprachlich korrekt formuliert sein. Antworten Sie kurz und präzise.

- Bewertung**
- **Jede Teilaufgabe zählt einen Punkt, sofern dies nicht anders erwähnt wird.**
 - Die maximale Punktzahl beträgt max=43 Punkte.
 - Die Benotung erfolgt gemäss der Formel:
 $Note = 1 + \frac{Punktesumme}{(0.90 * max) * 5}$, wobei auf halbe Noten gerundet und keine Note über 6 gesetzt wird.

- Hilfsmittel**
- Taschenrechner TI N'Spire CAS oder einfacheres Modell
 - DPK Formelsammlung

- Allgemeines**
- Die Prüfungsdauer beträgt 4 Stunden.

Aufgaben

	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Total
mögliche Punktzahl	11	9	12	11	43
erreichte Punktzahl					

Note.

1. Der Liestaler Chienbäse Umzug

Sicher kennen Sie den Liestaler Brauch des Chienbäseumzugs. Die "Besen" (siehe Abb. rechts) sind recht schwer und werden über der Schulter aufgestützt getragen.

- a. Ein Besen wird durch eine masselose Stange modelliert, an deren einem Ende sich ein $m=45$ kg schweres Gewicht befindet. Welchen Druck erzeugt der Besen, zunächst ganz naiv ohne irgendwelche Haltekräfte gerechnet, auf einer 16 cm^2 grossen Fläche auf der Schulter S ? (0.5P)



- b. Der Besen werde horizontal gehalten und das Gewicht m befinde sich im Abstand $a=125$ cm von S . Wie stark muss der (ungeschickte) Träger mit seiner Hand am vorderen Teil der Stange im Abstand $b=45$ cm senkrecht nach unten ziehen, um bei gleicher Auflagefläche das Gleichgewicht zu halten?
- c. Um welchen Faktor vergrössert sich dadurch der Druck auf die Schulter?
- d. In der Realität werden die Besen meist nicht horizontal, sondern um einen Winkel z.B. $\alpha=45^\circ$ gegen die Horizontale geneigt und dann rechtwinklig zum Besen gehalten (Reibungskräfte an der Schulter vernachlässigt). Berechnen Sie mit den gleichen Abständen wie im Teil b die notwendige Haltekraft.
- e. Was raten Sie einem Träger, wenn er den Druck auf die Schulter verringern will? Nennen Sie vier Punkte.
- f. Realistischer betrachtet ist die Masse des Stabes nicht zu vernachlässigen. Wir gehen von einem Holzstab ($\rho=560 \text{ kg/m}^3$) der Länge $L=2.6$ m und Durchmesser $d=13$ cm aus. Die Holzscheite werden nach wie vor wie im Teil a beschrieben behandelt. Wie weit ist der Schwerpunkt des Besens vom seinem unteren Ende entfernt? (2P)

Die folgenden Aufgabeteile sind unabhängig von den Lösungen der Teile a-f.

- g. Der Brennwert von Holz beträgt etwa 15 MJ/kg . Wir nehmen an, der brennende Besen (ohne Stab) gebe seine chemische Energie gleichmässig innerhalb von 30 min. an die Umgebung ab. Wie gross ist seine Heizleistung? (0.5P) (Ersatzlösung 400 kW)
- h. Wir nehmen weiterhin an, dass 50% der Heizleistung in Form von Strahlung an die Umgebung kugelförmig abgegeben werde. Wie gross ist die thermische Leistung, die auf das Gesicht eines Zuschauers ($A=250 \text{ cm}^2$) in $r=2$ m Entfernung auftrifft?
- i. Zu welcher Temperaturerhöhung führt dies im Gesicht des Zuschauers, wenn wir annehmen, dass eine 1 mm dicke Schicht 20 s lang wie in Teil g beschrieben gleichmässig erwärmt wird und dass sich das Gesicht thermisch wie Wasser verhält?

- j. Holzfeuer erzeugen Temperaturen von ca. 800°C . Welchen Durchmesser müsste eine kugelförmige Strahlungsquelle ("schwarzer Körper") haben, die gleich viel Strahlungsleistung abgibt, wie in den Teilen g und h bestimmt wurde?

- k. Der brennende Besen (ohne Stab) wird während des Umzugs immer leichter. Nach 2.5 min. beträgt seine Masse nur noch 40 kg. Wegen der sich verkleinernden Oberfläche gehen wir (anders als im Teil g) von einer exponentiellen Abnahme aus. Nach welcher Zeit wiegt der Besen nur noch 10 kg?



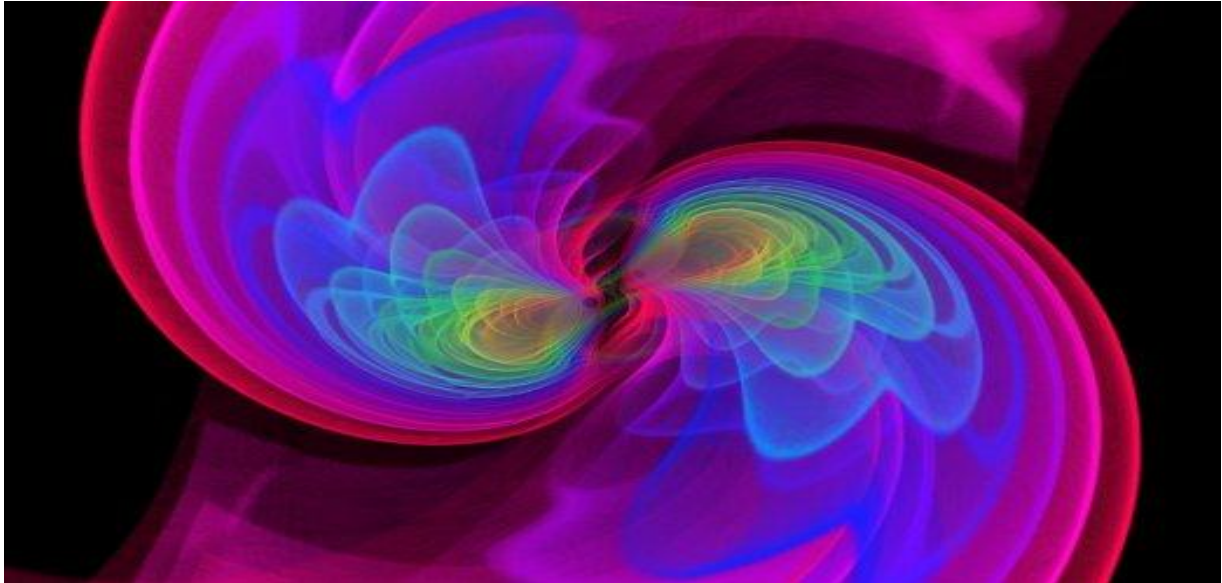


Abb. Spiegel Online: Zwei schwarze Löcher kollidieren

2. Sensationeller Nachweis von Gravitationswellen

Am 14.9.2015 wurde nach jahrelangen intensiven Bemühungen das erste Mal die von A. Einstein vorausgesagten Gravitationswellen experimentell nachgewiesen, ein Triumph der Physik. Die folgenden Fragen beziehen sich auf einen Artikel im "Spiegel" vom 13.2.2016 (Zitate *kursiv*).

- a. Die Ursache für die Gravitationswellen waren zwei schwarze Löcher, die vor 1.3 Milliarden Jahren verschmolzen. Wie weit (in m) waren die beiden schwarzen Löcher von der Erde entfernt, wenn wir davon ausgehen, dass sich Gravitationswellen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten?

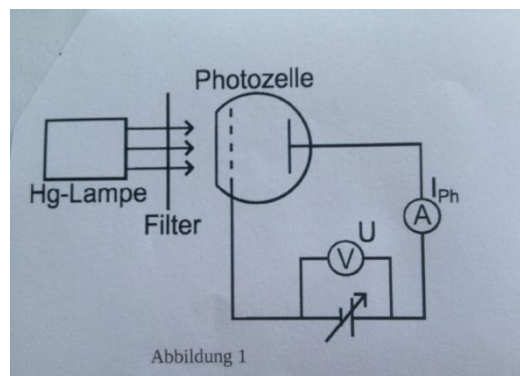
Zwei schwarze Löcher, das eine so schwer wie 29 Sonnen, das andere noch 7 Sonnenmassen schwerer, wirbelten dort auf immer engeren Bahnen umeinander. Bis auf wenige Hundert Kilometer hatten sich die beiden Schwergewichte einander angenähert, ihr Tempo erreichte schwindelerregende 200'000 km/s. Dann berührten sich die beiden Trümms und verschlangen einander augenblicklich. Acht Tausendstelsekunden lang waberte das neue Gebilde, dann hatte es seine endgültige Gestalt gefunden: Als 62 Sonnenmassen schweres schwarzes Loch zieht es seither seine Bahn. All dies geschah im Bruchteil einer Sekunde, und doch reichte die Zeit aus, um drei Sonnenmassen in pure Energie zu verwandelt. - das ist 50-mal so viel, wie das Leuchten sämtlicher Sterne des Universums zusammengenommen.

- b. Berechnen Sie aus dem Massendefekt die freigesetzte Energiemenge und die dazugehörige Leistung. (1.5P)
- c. Nehmen wir nun nicht ganz korrekt an, dass zu einem späteren Zeitpunkt das leichtere schwarze Loch, das schwerere auf einer Kreisbahn umkreise, ähnlich wie dies die Erde um die Sonne tut. Berechnen Sie ausgehend von Gravitationskraft, Zentripetalkraft und der angegebenen Geschwindigkeit den Abstand r der beiden Objekte. Wie viele Umdrehungen pro Sekunde ergibt das? (2P)
- d. Aus der Strahlungsleistung unserer Sonne (angenommen als "typischer" Stern) und dem Zitat von oben kann man ermitteln, aus wie vielen Sternen das sichtbare Universum nach Ansicht der Autoren besteht. Bestimmen Sie diese Zahl.

- e. Auch Sternexplosionen (Supernovae) erzeugen Gravitationswellen. In dem genannten Artikel heisst es, dass solche innerhalb unserer Galaxie nur zweimal pro Jahrhundert stattfinden. Drücken Sie dies als Frequenz in Hertz aus. (0.5P)
- f. Der benutzte Detektor mit dem Namen aLIGO (Advanced Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) ist ähnlich wie ein Michelson Interferometer aufgebaut, welches Sie im Unterricht kennengelernt haben. Allerdings durchlaufen die beiden Teilstrahlen die 4 km langen Arme nicht nur einmal, sondern 75 Mal. Wir nehmen an, dass das Laserlicht eine Wellenlänge von 450nm hat und dass Verschiebungen von 1/1000 Wellenlänge registriert werden können. Welche Messgenauigkeit kann damit erreicht werden, d.h. welche relative Verlängerung der Armlänge in % kann gerade noch festgestellt werden?
- g. Das Gerät ist sehr empfindlich gegen Störungen. Zieht z.B. in 1km Höhe über dem Gerät eine Regenwolke (500m x 500m x 200m Höhe, Dichte 2 kg/m³) durch so beeinflusst dies die Messungen! Vergleichen Sie die gravitative Wirkung der Wolke auf eine Testmasse von 1kg mit der Wirkung der Erde auf diese Testmasse.
- h. Es ist nicht leicht, irdische Störungen von echten Signalen zu trennen. Überlegen Sie sich, welche (wichtigste) Massnahme geeignet ist, dies zu tun.

3. Lichtelektrischer Effekt

Zur quantitativen Untersuchung des lichtelektrischen Effekts dient folgender Versuchsaufbau:



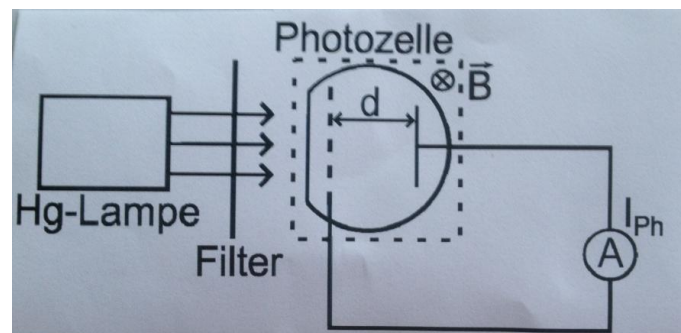
- a. Beschreiben Sie anhand der Skizze den Aufbau und die Durchführung des Versuchs zum Photoeffekt mit der sogenannten Gegenfeldmethode. Gehen Sie dabei insbesondere auf die Bestimmung der maximalen kinetischen Energie der Elektronen ein.

Bei der Durchführung des Experiments ergeben sich die folgenden Messdaten:

Wellenlänge λ in nm	578	546	436	405	253
Frequenz f in 10^{14} Hz	5,19	5,49	6,88	7,40	11,85
Gegenspannung U in V	0,16	0,30	0,82	1,04	2,77

- b. Stellen Sie die Energie der Elektronen (in eV) in Abhängigkeit von der Frequenz des Lichts grafisch dar.
- c. Deuten Sie den entstandenen Graphen im Rahmen der Einstein'schen Lichtquantenhypothese.
- d. Bestimmen Sie aus dem Graphen die Austrittsarbeit W_A in eV, die Grenzfrequenz f_G des verwendeten Kathodenmaterials sowie einen Wert für das Planck'sche Wirkungsquantum h . [Kontrollergebnis: $W_A = 1,86$ eV]
- e. Ab jetzt rechnen wir wieder mit dem korrekten Wert für h . Die Photokathode werde nun mit einer weiteren UV-Linie der Quecksilberdampflampe ($\lambda = 185$ nm) bestrahlt. Bestimmen Sie die maximal mögliche Geschwindigkeit der dadurch gelösten Elektronen. (2P)
- f. Die Photokathode werde mit dem monochromatischen Licht eines Lasers der Wellenlänge 532 nm bestrahlt. Der Laser habe eine Lichtleistung von 1 mW. Berechnen Sie die Anzahl Photonen, die der Laser in einer Sekunde aussendet.
- g. Der zuvor verwendete Laser werde durch einen Laser gleicher Lichtleistung mit der Wellenlänge 405 nm (Blu-Ray-Laser) ersetzt. Erläutern Sie qualitativ den Einfluss auf die Anzahl der ausgelösten Elektronen und ihre maximale Geschwindigkeit.

Die Photozelle werde nun durch ein homogenes, regelbares Magnetfeld der Stärke B mit Feldlinien parallel zur Photokathode und senkrecht zur Bildebene der Abbildung durchsetzt, siehe unten. Photokathode und Gitteranode haben den Abstand d , zwischen ihnen liegt keine äußere Spannung an. Die Frequenz f des einfallenden Lichts und die Auslösearbeit W_A werden als bekannt vorausgesetzt. Die Stärke B des magnetischen Feldes wird nun während der Bestrahlung langsam erhöht.

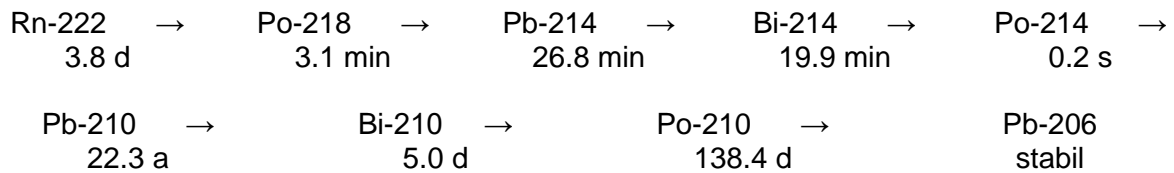


- h. Zeichnen Sie in die obenstehende Abbildung die Flugbahn eines aus der Kathode senkrecht austretenden Elektrons ein und begründen Sie den Bahnverlauf.
- i. Leiten Sie eine Formel her, mit der sich der Bahnradius r aus den gegebenen Größen m_e , v , e und B berechnen lässt.
- j. Zeigen Sie mit Hilfe des Ergebnisses aus Teilaufgabe i, dass für diejenige Stärke B_1 des Magnetfeldes, bei der senkrecht aus der Kathode austretende Elektronen die Anode gerade noch erreichen, folgende Beziehung gilt: (2P)

$$B_1 = \frac{m_e}{e d} \sqrt{\frac{2(h \cdot f - W_A)}{m_e}}$$

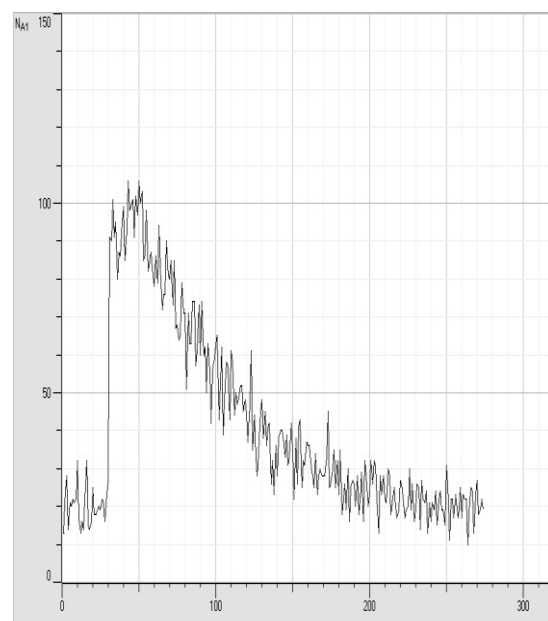
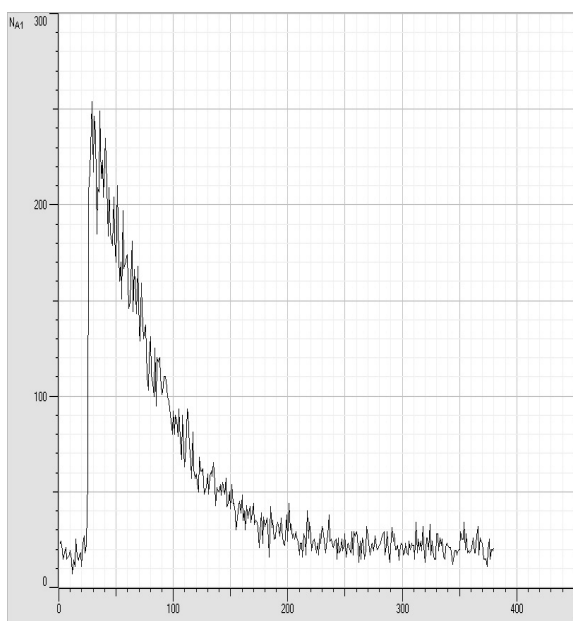
4. Die Radon Zerfallskette

Insbesondere in der Raumluft von Kellerräumen kann man radioaktives Radon-222 (als ein Folgeprodukt in der Zerfallsreihe des im Erdboden vorhandenen Uran-238) nachweisen. Als gasförmiges Element kann Radon-222 aus dem Erdboden austreten und zerfällt anschließend in der Luft in eine Reihe von Folgeprodukten gemäss folgendem Schema:



- Beschreiben Sie die beim α -Zerfall und beim β^- -Zerfall im Atomkern stattfindenden Umwandlungsprozesse und geben Sie allgemein die Umwandlungsgleichungen für den α -Zerfall und den β^- -Zerfall an.
- Beschreiben Sie zwei Grundideen für die Entwicklung experimenteller Methoden zur Unterscheidung von α - und β^- -Strahlung.
- Nennen Sie die Zerfallsarten für die ersten fünf Kernumwandlungen in der oben stehenden Rn-Produktkette und notieren Sie die Zerfallsgleichungen.

Mit folgendem einfachen Experiment kann man die Radioaktivität der Folgeprodukte dieses Rn-222 nachweisen: Ein aufgeblasener Luftballon wird elektrostatisch aufgeladen und mittels Bindfaden an der Decke eines Kellerraumes elektrisch isoliert aufgehängt. Nach einer gewissen Zeit wird der Ballon abgenommen, die Luft herausgelassen und der Ballon eng zusammengerollt unverzüglich vor ein Geiger-Müller-Zählrohr gebracht, mit dem die Zählrate (in Impulsen pro Minute) in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt wird. Bei diesem Experiment wird genutzt, dass sich das beim Rn-222-Zerfall entstehende elektrisch geladene Zerfallsprodukt Po-218 an dem elektrostatisch aufgeladenen Luftballon als fester Stoff anlagert. Die linke untere Abbildung zeigt eine Messkurve, für die ein Ballon ca. 2 Stunden aufgehängt worden ist. Die rechte zeigt eine Messkurve, bei der der Ballon lediglich ca. 20 Minuten aufgehängt wurde. Auf der "x-Achse" ist die Zeit in min. aufgetragen, die kleinen Zahlen lauten "100, 200, ..." auf der "y-Achse" die Zählrate in Impulsen/min.



- d. Zeichnen Sie in die linke obere Abbildung eine Ausgleichskurve (geglätteter Graph) für den Bereich sinkender Aktivität ein. Bestimmen Sie anschließend mit Hilfe dieser Ausgleichskurve diejenige Zeitspanne, nach der die zum Zeitpunkt $t_1 = 50$ min registrierte Aktivität auf die Hälfte abgenommen hat. Beschreiben Sie, wie dabei die Nullrate (Hintergrundstrahlung, sog. Nulleffekt) zu berücksichtigen ist. (2P)
- e. Diskutieren Sie qualitativ das Ergebnis der grafischen Auswertung in Bezug auf die Halbwertszeiten der Isotope der Zerfallskette.

Im Folgenden wird der oben untersuchte Zerfallsprozess der Folgeprodukte des Rn-222 modellhaft untersucht. Zur Vereinfachung wird dazu lediglich der Zerfall einer Muttersubstanz MS ($T_{1/2\text{MS}} = 26,8$ min) in eine erste Tochtersubstanz TS_1 und deren Zerfall mit $T_{1/2\text{TS}_1} = 19,6$ min in eine praktisch sofort in das Endprodukt EP weiter zerfallende zweite Tochtersubstanz betrachtet.

- f. Begründen Sie, warum man bei der Modellierung des Realexperimentes Po-218 außer Betracht lassen und die Modellierung bei Pb-210 abrechnen darf.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Vereinfachtes Modell der Rn-Zerfallskette						
2							
3	$T_{1/2\text{MS}}$: 26,8 min (Muttersubstanz)						
4	$T_{1/2\text{TS}_1}$: 19,6 min (erste Tochtersubstanz)						
5	Tochter 2 zerfällt sofort in stabiles Endprodukt EP						
6							
7	Zeit / min	MS	TS_1	EP	Akt _{MS}	Akt _{TS₁}	Akt _{ges}
8	0	2000	800	0	52	28	108
9	1	1948	823	28	50	29	109
10	2	1898	845	57	49	30	109
11	3	1849	864	87	48	31	109
12	4	1801	881	118	47	31	109

Die oben stehende Tabelle zeigt den Anfang eines Rechenblatts zur zahlenmäßigen Erfassung dieses Vorgangs. In den Zellen B8, C8 und D8 sind (frei gewählte) Startwerte für die Anzahl der Teilchen der jeweiligen Substanzen eingetragen; alle anderen Zellen in Zeile 8 und in den nachfolgenden Zeilen werden unter Verwendung der im Kopf der Tabelle angegebenen Halbwertszeiten errechnet.

- g. Bestätigen Sie mit Hilfe des Zerfallsgesetzes die in den Zellen E8 und F8 ablesbaren Werte für die Aktivitäten, die dort in 1/min angegeben sind. (2P)
- h. Begründen Sie anhand der Zerfallsreihe, warum der Wert in G8 nicht die alleinige Summe der Werte in den Zellen E8 und F8 ist.
- i. Geben Sie begründet an, wie die Werte in den Zellen B9, C9 und D9 aus den Werten der Zeile A8-G8 berechnet werden können.

Viel Erfolg wünschen Ihnen C. Wunderlich und U. Dammer