

**Schriftliche Prüfung**

Zeit: 3 Stunden

Hilfsmittel: Taschenrechner  
Geo-Dreieck  
Buch „Formeln, Tabellen, Begriffe“, handschriftlich ergänzt

**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.

Überblick:

Aufgabe	Thema	Punkte
1	Starrer Körper	31
2	Gravitation	21
3	Quantenmechanik	16
4	Relativistische Kinematik	40
5	Thermodynamik	19
	<b>Gesamtpunktzahl</b>	<b>127</b>

1. **Starrer Körper:** Sie sind Ingenieur bei VW und wollen Autos sparsamer machen. Heute versuchen Sie es an den Bremsen: In jedem der vier 52cm durchmessenden Räder steckt eine zylindrische Brems Scheibe, die 3cm dick ist, einen Innendurchmesser von 46mm und einen Aussendurchmesser von 280mm hat. Sie ersetzen die vier stählernen Brems Scheiben durch Karbonfaser Scheiben (Dichte= $1.8 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) derselben Dimensionen.



*Abb. 1: Ein Fahrzeug von VW*



*Abb 2: Scheibenbremse*

1.1. [9 Punkte] Um wie viel verringert sich so die Gesamtmasse des Fahrzeugs?  
(Falsche Lösung: 20)

Natürlich hätten Sie dieselbe Masse auch am Fahrgestell einsparen können. Aber Sie haben sich überlegt, dass es wirkungsvoller ist, die Masse der Bremsscheiben zu reduzieren, weil diese ja mit den Rädern mitrotieren:

1.2. [5 Punkte] Wie gross sind die Trägheitsmomente von Stahl- und Karbonfaserscheibe?  
(Falsche Lösung:  $7 \cdot 10^{-2}$ ,  $1.5 \cdot 10^{-2}$ )

1.3. [4 Punkte] Mit welcher Winkelgeschwindigkeit drehen sich die Bremsscheiben bei 100km/h Fahrtgeschwindigkeit? (Falsche Lösung: 50)

1.4. [5 Punkte] Wie viel weniger Energie kostet es, das Auto mit Karbonfaserscheiben statt mit Stahlscheiben von 0km/h auf 100km/h zu beschleunigen?

1.5. [3 Punkte] Hätten Sie die entsprechende Masse am Fahrgestell gespart: Wie viel Energie hätte das (nur) eingespart?

1.6. [3 Punkte] Mit Karbonscheiben: Wie viel weniger Arbeit verrichtet das Auto auf Asphalt auf 100km Strecke gegen die Rollreibung ( $\mu_R = 0.008$ )?

1.7. [2 Punkte] Wie viel weniger Rollreibrbeitsarbeit ist es in obiger Situation mit Stahlscheiben, aber der entsprechenden Masseneinsparung am Fahrgestell?

2. **Gravitation:** Pluto hat 5 (bekannte) Monde, von denen Charon der grösste ist. Die wichtigsten Daten dieser sechs Himmelskörper entnehmen Sie bitte untenstehender Tabelle 1 und NICHT Ihrer Formelsammlung.



Abb. 3: Pluto



Abb. 4: Charon

Name	Radius [km]	Masse [10 <sup>21</sup> kg]	Bahnradius [km]	Umlaufdauer [d]	Jahr der Entdeckung
<b>Pluto</b>	1185	13.03	%	%	1930
<b>Charon</b>	604	1.59	17536	6.39	1978
<b>Styx</b>	3	?	42413	20.2	2012
<b>Nix</b>	19	<0.9	48690	24.9	2005
<b>Kerberos</b>	4	<0.3	57750	32.2	2011
<b>Hydra</b>	23	<0.9	64721	38.2	2005

Tab. 1: Daten von Pluto und seinen Monden

Sie sind mit Ihrem 39.4t schweren Raumschiff auf dem Pluto gelandet, aber da ist es Ihnen zu kalt, und so entscheiden Sie sich zum Weiterflug zum Charon.

- 2.1. [5 Punkte] Wie weit ist der Lagrangepunkt zwischen Pluto und Charon vom Pluto entfernt? Benutzen Sie zur Berechnung die Daten aus der Tabelle 1. (Falsche Lösung:  $10^7$ )



2.2. [7 Punkte] Wie viel Energie verbraucht Ihr Raumschiff beim Trip vom Pluto zum Charon?

2.3. [3 Punkte] Wie gross ist das Gravitationsfeld des Charon an seiner Oberfläche?

2.4. [3 Punkte] Wie gross ist das Gravitationspotenzial des Charon an seiner Oberfläche?

2.5. [3 Punkte] Charon ist nicht sehr gross und nicht sehr schwer. Mit welcher Geschwindigkeit muss man einen Stein der Masse 1.5kg senkrecht nach oben katapultieren, damit er nicht mehr herunterfällt?

3. **Quantenmechanik:** Beugung von „Quantenspeeren“ am Gitter: Die grössten und schwersten Moleküle, für die ein Wellencharakter nachgewiesen werden konnte, sind sogenannte perfluoroalkyl-funktionalisierte Diazobenzole. Das sind Kohlenwasserstoffketten, bei denen die H-Atome grösstenteils durch F-Atome ersetzt wurden (um sie schwerer zu machen).

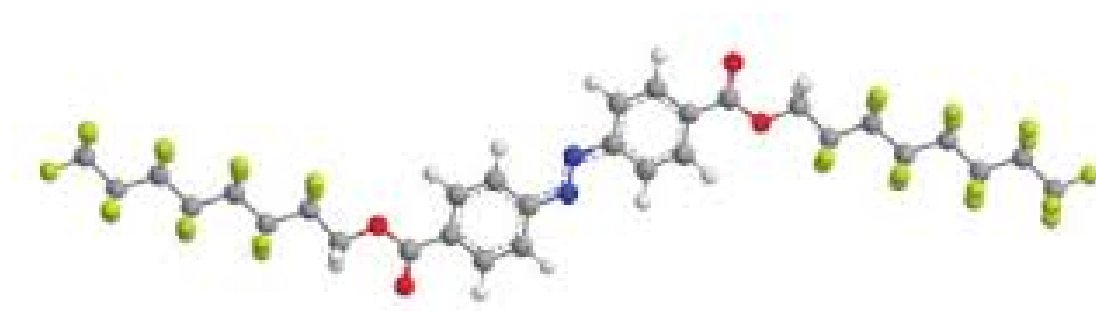


Abb. 5: Ein  $C_{30}H_{12}F_{30}N_2O_4$ -Molekül, wegen seiner Form auch „Quantenspeer“ genannt.

- 3.1. [3 Punkte] Ein Beispiel ist das abgebildete  $C_{30}H_{12}F_{30}N_2O_4$ . Wie gross ist seine Molekülmasse? (Falsche Lösung:  $3 \cdot 10^{-24}$ )
- 3.2. [5 Punkte] In dem Artikel, der nach dem erfolgreichen Experiment veröffentlicht wurde, ist zu lesen, dass mit einer Wellenlänge von  $3.2 \cdot 10^{-12}$  m gearbeitet wurde. Wie schnell waren die Moleküle auf ihrem Weg durch das Beugungsgitter? (Falsche Lösung: 250)

3.3. [3 Punkte] Da die Moleküle neutral sind, können Sie nicht mit einer Spannung beschleunigt werden. Daher musste man ihre thermische Geschwindigkeit benutzen. Welche Temperatur hat das verwendete  $C_{30}H_{12}F_{30}N_2O_4$  also?

3.4. [5 Punkte] In welcher Distanz hinter dem Gitter würden Sie einen Abstand benachbarter Beugungsmaxima von  $2\mu\text{m}$  erwarten, wenn das Gitter – wie in dem Artikel erklärt wird – eine Gitterkonstante von  $266\text{nm}$  hat? (Der Beugungswinkel darf bei der Berechnung als sehr klein angenommen werden.)

4. **Relativistische Kinematik:**  $\tau^-$  (sprich: Tau-Minus) bzw.  $\tau^+$  (sprich: Tau-Plus) sind Teilchen, die sich wie Elektronen (bzw. Positronen) verhalten mit dem Unterschied, dass sie jeweils eine Masse haben, die 3477 mal grösser ist als die des Elektrons. (Ein weiterer Unterschied, der aber hier nicht interessiert, ist, dass sie nach  $2.9 \cdot 10^{-13}$  s jeweils in ein Myon und ein Neutrino zerfallen. Wie gesagt, ist das hier aber irrelevant.)  
Neulich im Weltall: Zwei Photonen der Wellenlängen  $\lambda_1 = 3.9 \cdot 10^{-16}$  m und  $\lambda_2 = 6.2 \cdot 10^{-16}$  m stossen frontal zusammen, annihilieren und erzeugen dabei ein  $\tau^+ - \tau^-$ -Paar. Das erzeugte  $\tau^-$  fliegt hierbei mit einem Impuls von  $6.8 \cdot 10^{-19}$  Ns davon.

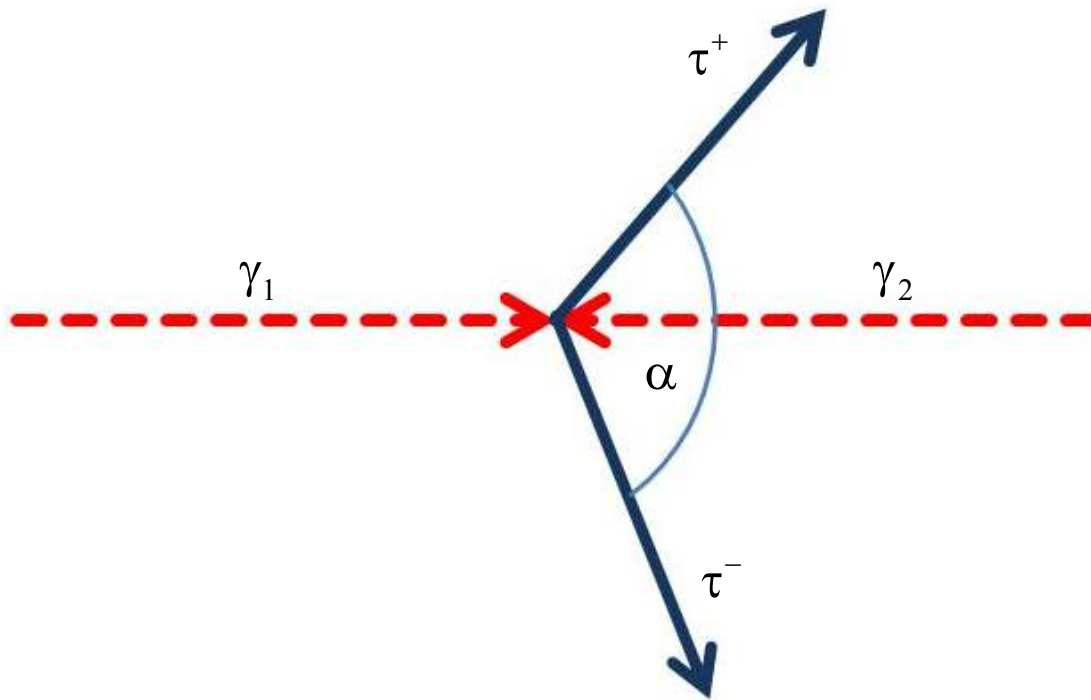


Abb. 6: Kollision zweier Photonen

Im Folgenden wird es darum gehen, die Eigenschaften der erzeugten Teilchen zu bestimmen. Die Teilaufgaben weisen Ihnen dabei den Weg.

4.1. [5 Punkte] Wie gross sind die Energien der Photonen? (Falsche Lösung:  $10^{-9}, 6.4 \cdot 10^{-10}$ )

4.2. [5 Punkte] Wie gross sind die Impulse der Photonen? (Falsche Lösung:  $3.5 \cdot 10^{-18}, 2.1 \cdot 10^{-18}$ )

4.3. [3 Punkte] Wie gross ist die Gesamtenergie? (Falsche Lösung:  $2 \cdot 10^{-9}$ )

4.4. [3 Punkte] Wie gross ist der Gesamtimpuls (Betrag und Richtung)? (Falsche Lösung:  $1.3 \cdot 10^{-18}$  nach rechts)

4.5. [3 Punkte] Wie gross ist die Energie des  $\tau^-$ ? (Falsche Lösung:  $10^{-10}$ )

4.6. [3 Punkte] Wie gross ist die Energie des  $\tau^+$ ? (Falsche Lösung:  $5 \cdot 10^{-10}$ )

4.7. [3 Punkte] Wie gross ist der Betrag des Impulses des  $\tau^+$ ? (Falsche Lösung:  $10^{-18}$ )

4.8. [4 Punkte] Wie gross ist das  $\gamma$  des  $\tau^+$ ? (Falsche Lösung: 2)

4.9. [3 Punkte] Wie gross ist das  $\beta$  des  $\tau^+$ ? (Falsche Lösung: 0.5)

4.10. [3 Punkte] Wie gross ist die Geschwindigkeit des  $\tau^+$ ?



4.11. [5 Punkte] Wie gross ist der Winkel zwischen den Bahnen des  $\tau^+$  und des  $\tau^-$ ?

5. **Thermodynamik:** Viel Neues hat man in jüngster Zeit über den Kleinplaneten Pluto gelernt.



*Abb.7: Plutos Atmosphäre, aufgenommen am 15. Juli 2015 von der Raumsonde New Horizons, als sich die Sonne genau hinter dem Kleinplaneten befand*

Was über Plutos Atmosphäre inzwischen bekannt ist, zeigt die folgende Tabelle:

Druck an der Oberfläche	$3 \cdot 10^{-6}$ bar
Mittlere Temperatur an der Oberfläche	$-229$ °C
Hauptbestandteile der Atmosphäre*	Stickstoff ( $N_2$ ), Kohlenmonoxid (CO), Methan ( $CH_4$ )

\* Da bisher nichts Genaueres bekannt ist, nehmen wir im Folgenden an, dass Stickstoff, Kohlenmonoxid und Methan jeweils 1/3 der Atmosphäre ausmachen.

5.1. [4 Punkte] Welche Masse hat ein Mol der Pluto-Atmosphäre (unter der Annahme, dass die Bestandteile  $\frac{1}{3}$  Stickstoff,  $\frac{1}{3}$  Kohlenmonoxid und  $\frac{1}{3}$  Methan sind)? (Falsche Lösung:  $5 \cdot 10^{-2}$ )

5.2. [3 Punkte] Welches Volumen nimmt ein Mol Pluto-Atmosphäre auf der Oberfläche des Kleinplaneten ein? (Falsche Lösung:  $1.2 \cdot 10^2$ )

5.3. [3 Punkte] Eine Raumsonde nimmt eine Probe der Pluto-Atmosphäre. Dazu pumpt sie in eine Mini-Gasflasche mit  $2.3 \text{ cm}^3$  Volumen so viel Gas, dass ein Druck von 5.2 bar entsteht. Welche Stoffmenge befindet sich nun in der Flasche? (Falsche Lösung:  $6.5 \cdot 10^{-3}$ )

5.4. [3 Punkte] Welche Masse hat das Gas in der Flasche? (Falsche Lösung:  $10^{-5}$ )

5.5. [3 Punkte] Diese Gasflasche wird zur Erde gebracht. Unter welchem Druck steht sie bei Normtemperatur? (Falsche Lösung:  $10^6$ )

5.6. [3 Punkte] Würde das Gas versehentlich ausströmen: Welches Volumen nähme es bei  $23^\circ\text{C}$  und  $975\text{hPa}$  ein?

## Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Ein Fahrzeug von VW, entnommen am 04.02.2016 von [https://de.wikipedia.org/wiki/VW\\_Beetle#/media/File:VW\\_Beetle\\_1.4\\_TSI\\_Sport\\_%E2%80%93\\_Frontansicht,\\_3.\\_M%C3%A4rz\\_2013,\\_D%C3%BCsseldorf.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/VW_Beetle#/media/File:VW_Beetle_1.4_TSI_Sport_%E2%80%93_Frontansicht,_3._M%C3%A4rz_2013,_D%C3%BCsseldorf.jpg)

Abb. 2: Scheibenbremse, entnommen am 04.02.2016 von [http://img.directindustry.de/images\\_di/photo-g/18849-2846781.jpg](http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/18849-2846781.jpg)

Abb. 3: Pluto, entnommen am 04.02.2016 von [https://de.wikipedia.org/wiki/Pluto#/media/File:Global\\_LORRI\\_mosaic\\_of\\_Pluto\\_in\\_true\\_color.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Pluto#/media/File:Global_LORRI_mosaic_of_Pluto_in_true_color.jpg)

Abb. 4: Charon, entnommen am 04.02.2016 von [https://de.wikipedia.org/wiki/Charon\\_\(Mond\)#/media/File:Charon-Neutral-Bright-Release.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Charon_(Mond)#/media/File:Charon-Neutral-Bright-Release.jpg)

Abb. 5: Quantenspeer, entnommen aus: A Kapitza–Dirac–Talbot–Lau interferometer for highly polarizable molecules, published online: 19 August 2007; doi:10.1038/nphys701

Bild 7: Plutos Atmosphäre, von NASA/JHUAPL/SwRI - <http://www.nasa.gov/nh/nh-finds-blue-skies-and-water-ice-on-pluto>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44094514>