

- Bemerkungen:
- Die Prüfungsdauer beträgt 4 Stunden.
 - Beginnen Sie jede Aufgabe mit einem neuen Blatt.
 - Stellen Sie die Lösungswege übersichtlich und korrekt dar.
 - Hilfsmittel: Taschenrechner TI89/Voyage200 und DPK Formelsammlung.

Punkte- Verteilung	1	2	3	4	Summe
	1+2+1	2+1+2.5+1+4+1+2.5+1.5	2+2+.5+2+1	1+6	34

1. Kann man auf Geysiren reiten?

In der „Grossen Show der Naturwunder“ (August 2009, ARD) wurde probiert, ob man auf einem Geysir reiten kann. Dazu stellte sich ein (gesicherter) Feuerwehrmann (75kg) auf eine Art grosse Bratpfanne (5kg, mit der Wölbung nach unten). Die Feuerwehr produzierte einen „Geysir“, indem sie einen Schlauch vertikal nach oben richtete. Nach Angaben der Sendung betrug der Durchfluss 1600 Liter/min. Auf diese Weise wurde der Feuerwehrmann in einer Höhe von 4m in der Schwebelage gehalten.

- Wir nehmen an, der Wasserstrahl werde an der Bratpfanne zu 100% reflektiert und es gäbe keine Verluste durch innere Reibung im Wasserstrahl. Mit welcher Geschwindigkeit v muss das Wasser von unten auf die Pfanne treffen, damit der Feuerwehrmann in der Schwebelage gehalten wird? (Ersatzlösung 10m/s)
- Mit welcher Geschwindigkeit v_0 verlässt das Wasser die Düse? Wie gross ist der Durchmesser der Düse? Hinweis: Der Durchmesser erscheint unrealistisch gross, was an den Annahmen aus Teil a liegt.
- Welche Höhe erreicht der Wasserstrahl ohne Feuerwehrmann?

2. Die Weltraumobservatorien „Planck“ und „Herschel“ – Teil 1

Am 14. Mai 2009 wurden zwei Beobachtungssatelliten mit einer Ariane Rakete auf den Weg zum so genannten Lagrangepunkt 2 (L2) geschickt. Dieser liegt von der Sonne aus gesehen genau hinter der Erde. Er ist so gewählt, dass dort die beiden vereinten Gravitationskräfte von Sonne und Erde genau die nötige Zentripetalkraft liefern, damit sich die Observatorien dort genau synchron mit der Erde um die Sonne bewegen.

- Wir bezeichnen mit x_2 die Strecke, die sich L2 hinter der Erde auf der gedachten Linie Sonne-Erde (1AE) befindet. Berechnen Sie x_2 .
- Der Lagrangepunkt L1 erfüllt die gleiche Bedingung wie L2, liegt aber zwischen Erde und Sonne. Wie weit liegt er von der Erde aus entfernt? (x_1)
- Es existiert sogar ein dritter Lagrangepunkt L3 der sich ebenfalls auf der Geraden Sonne-Erde befindet. Wo liegt er? Wie weit ist dieser von der Sonne entfernt? (x_3) Es gibt Science Fiction Autoren, die sich dort eine zweite Erde vorstellen. Kann man dies durch astronomische Beobachtungen widerlegen?
- Die Ariane Rakete brachte die beiden Observatorien zunächst in eine extrem elliptische Bahn um die Erde. Wir nennen dies Flugphase 1. Der Abstand Erde-Satellit schwankte nach Angaben der ESA zwischen $\min=270$ km und $\max=1.2 \cdot 10^6$ km. Wie gross ist die Dichte der Luft in 270 km über der Erdoberfläche? (Ersatzlösung $1 \cdot 10^{-14} \text{ kg/m}^3$)
- Bestimmen Sie aus den Angaben aus Teil d und den geometrischen Eigenschaften der Ellipse die grosse und die kleine Bahnhalbachse der Flugbahn, sowie mit Hilfe des 3.

Keplerschen Gesetze die Umlaufzeit (in Tagen) der Observatorien um die Erde während der Flugphase 1. (Ersatzlösung grosse Halbachse $a=5 \cdot 10^5 \text{ km}$, $T=30 \text{ Tage}$)

- f. Wie gross ist die mittlere Bahngeschwindigkeit der Observatorien während der Flugphase 1? Als Näherung betrachten wir die Bahn als eine gerade Strecke, die aus vier grossen Halbachsen gebildet wird. Ist die wahre mittlere Bahngeschwindigkeit etwas kleiner oder etwas grösser als der Näherungswert (ohne Begründung)?
- g. Wie gross ist die Geschwindigkeit v_{max} im erdnächsten Punkt? Als Näherung nehmen wir an, dass die beiden Observatorien am erdfernten Punkt nur potentielle Energie besitzen und benutzen die Energieerhaltung. (Ersatzlösung $6 \cdot 10^4 \text{ m/s}$) Ist die wahre maximale Bahngeschwindigkeit etwas kleiner oder etwas grösser als der Näherungswert (ohne Begründung)?
- h. Wir nehmen an, dass sich die Observatorien eine Strecke von 800km mit dieser Geschwindigkeit durch die Erdatmosphäre bewegen. Wie gross ist dabei der Energieverlust durch Reibung, wenn man von einem cw-Wert von 1 und einer Querschnittsfläche von 2 m^2 ausgeht? Vergleichen Sie diesen Wert mit der gesamten mittleren kinetischen Energie ($m=900 \text{ kg}$)

3. Die Weltraumobservatorien „Planck“ und „Herschel“ –Teil 2

Herschel sucht den Weltraum nach Infrarotstrahlung im Bereich von $57 \mu\text{m}$ - $670 \mu\text{m}$ ab. Im Schutz der Erde wird er auf ca. 90K abkühlen, um störende Wärmestrahlung zu verringern. Die Instrumente werden durch Verdunstung von flüssigem Helium auf 4.2K gekühlt.

- a. Woher kommt der Name „Infrarotstrahlung“? Wie „warm“ sind schwarze Körper, die nach dem Wien'schen Verschiebungsgesetz im Bereich $57 \mu\text{m}$ - $670 \mu\text{m}$ ihr Strahlungsmaximum haben? Gesucht ist ein Temperaturbereich in °C. Reicht die Heliumkühlung aus, um Störungen der Messungen zu vermeiden? (Problem: Irgendwann ist alles flüssige Helium verdampft und das Observatorium nutzlos)
- b. Wir schätzen die Wirkung des Sonnenlichts auf einen gewöhnlichen Satelliten ($m=500 \text{ kg}$) grob ab, der sich in einer äquatorialen Umlaufbahn um die Erde mit einer Umlaufzeit von 6h befindet: Circa die Hälfte seiner Flugzeit befindet er sich im Sonnenlicht (1400 W/m^2), die andere Hälfte in der Dunkelheit. Um wie viel Grad Celsius erwärmt sich der Satellit während der Sonnenphase, wenn man Abstrahlung völlig vernachlässigt, als Material Eisen annimmt und einen Absorptionsgrad von 20% auf einer Fläche von 4 m^2 annimmt? Wie viel kg flüssiges 4-Helium ($L_{\text{verdampf}}=85 \text{ J/mol}$) müsste man verdampfen, um diese Wärme zu kompensieren? Sie sehen, welche Vorteile L2 hat...
- c. Neben ^4He wird bei Herschel auch ^3He zur Kühlung benutzt. Wodurch unterscheiden sich die beiden Isotope im Atomaufbau?
- d. Nach Einstein besteht auch die Infrarotstrahlung aus Photonen. Welche Energie ist einem „Photon von $100 \mu\text{m}$ “ zuzuordnen? Drücken Sie den Wert in der Einheit Elektronenvolt aus. Kann man als Detektor in Herschel Silizium mit seiner Bandlücke von 0.7eV benutzen? Dazu müsste die Photonen-Energie grösser als die Bandlücke sein.
- e. Zur Energieversorgung brauchen Planck und Herschel Photozellen. Leider ist kaum Sonnenlicht vorhanden? Warum „kaum“ und nicht „kein“?

4. Die Weltraumobservatorien „Planck“ und „Herschel“ –Teil 3

- a. Die Daten, die Planck und Herschel ermitteln, müssen per Funk zur Erde gesendet werden. Wir nehmen an, eine Natel Sendestation mit 30W Sendeleistung könne auf der Erde bei kugelförmigem Abstrahlverhalten im Umkreis vom 5500m empfangen werden. Um welchen Faktor muss die Herschel-Empfangsstation auf der Erde empfindlicher sein als eine solche Natelantenne, wenn wir von der gleichen Sendeleistung ausgehen und berücksichtigen, dass es die Richtantennen des Observatorium schaffen, die Funkwelle auf den 10'000. Teil einer Vollkugel zu bündeln?
- b. Zur Energieversorgung könnten statt der Solarzellen auch 200g radioaktives ^{90}Sr mitgebracht werden.

Um wie viele Atome handelt es sich?

Wie gross ist die Anfangsaktivität der Probe?

Wie viele Jahre dauert es, bis die Aktivität auf 60% des Anfangswertes gesunken ist?

Genau 10% der Wärme-/Strahlungsleistung dieser Quelle werden in elektrische Energie umgewandelt. Wie gross ist die elektrische Leistung am Anfang?

Bestimmen Sie durch Integration, wie gross die gesamte erzeugte elektrische Energie in den ersten 5 Betriebsjahren ist. Kontrollieren Sie den Wert durch eine Überschlagsrechnung.

Viel Erfolg wünscht Ihnen Dr. U. Dammer.

PS. Übrigens begeistert Herschel seit Anfang 2010 mit seinen Bildern die Astrophysiker in aller Welt, z.B. The Galactic bubble RCW 120



Numerische Lösungen (nicht an Schüler)

1a) $v=14.7 \text{ m/s}$

1b) $v_0=17.2 \text{ m/s}$ (Ersatz 13.4 m/s)

$d=0.344\text{m}$ (0.39m)

1c) $H=15.0\text{m}$ (9.2m)

2a) $x_2=1.50 \cdot 10^6 \text{ km}$

2b) $x_1=1.49 \cdot 10^6 \text{ km}$

2c) als "Gegenerde" auf der anderen Seite der Sonne, $x_3=1.496 \dots 10^8 \text{ km}$,

schwer, ein Satellit muss Ekliptik verlassen (gibt es, Soho?) oder zu gewissen Zeitpunkten

wegen der Ellipsenform (Die Position der Gegenerde wäre sowieso instabil)

2d) $\rho=1.9 \cdot 10^{-15} \text{ kg/m}^3$ (hängt stark von genauen Daten ab)

2e) $a=6.001 \cdot 10^5 \text{ km}$,

$c=5.999 \cdot 10^5 \text{ km}$,

$b=18000 \text{ km}$

$T=53.5 \text{ Tage}$ (40.7d)

2f) $v_{\text{mittel}}=519 \text{ m/s}$ (772 m/s)

2g) $v_{\text{max}}=5.43 \cdot 10^4 \text{ m/s}$

2h) $W_{\text{reib}}=4.72 \text{ J}$ (23.6J , 28.3J) $E_{\text{kin}}=1.3 \cdot 10^{12} \text{ J} \gg W_{\text{reib}}$

3a) IR komme im Spektrum nach rot, $-221^\circ\text{C} < \vartheta < -268^\circ\text{C}$, es reicht knapp

3b) $\Delta\vartheta=53.8\text{K}$, $\Delta Q=1.21 \cdot 10^7 \text{ J}$ entspricht $1.42 \cdot 10^5 \text{ mol He}$ entspricht 569 kg Helium

3c) 4He $2\text{p}2\text{n}$, 3He , $2\text{p}1\text{n}$

3d) $E=1.986 \cdot 10^{-21} \text{ J}=0.0124 \text{ eV}$, nein

3e) Streuung in der Erdatmosphäre

4a) Faktor= $7.44 \cdot 10^6$

4b) $N=1.34 \cdot 10^{24}$

$A_0=1.02 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$

$t=21.2 \text{ Jahre}$

$P_{\text{el}}=9.93 \text{ W}$

$E_{\text{el}}=1.32 \cdot 10^9 \text{ J}$ (genähert $1.26 \cdot 10^9 \text{ J}$)

