

Spiel Aufbau und Regeln

Dieses Spiel war ursprünglich als Deckscapespiel mit richtigen Spielkarten geplant, in der PDF-Version gibt es daher einiges zu beachten:

- Druckt das komplette Dokument aus und **Lest die Karten noch nicht**.
- Bildet Kartenstapel getrennt nach den Buchstaben, die kleinste Zahl liegt oben.
- Knickt alle Karten, die in der rechten, unteren Ecke einen Buchstaben und eine Zahl haben (außer S0) in der Mitte, sodass ihr nur die linke Seite seht.
- Ihr dürft euch immer nur die gerade oben liegende Karte des Stapels anschauen und versuchen, diese zu lösen. Es kann sein, dass ein Rätsel eines Stapels erst lösbar wird, wenn ihr auf einem anderen Stapel weiter fortgeschritten seid. Durch das Lösen der Rätsel könnt ihr Gegenstände erhalten, diese benötigt ihr für das Lösen anderer Rätsel. Immer wenn ihr der Meinung seid, ein Rätsel gelöst zu haben, könnt ihr euch die Rückseite der Rätselkarte anschauen, dort findet ihr die Lösung.
- Ist eure Lösung falsch, notiert ihr euch einen Fehler. Besitzt ihr den zur Lösung des Rätsels nötigen Gegenstand noch nicht, so müsst ihr euch einen zusätzlichen Fehler notieren. Je nachdem, wie lang ihr braucht, wie gut ihr beim abschließenden Rätsel abschneidet und wie viele Fehler ihr gemacht habt, entscheidet sich, ob eure Mission, die Welt zu retten, geglückt ist.
- Wenn ihr nicht weiterwisst, schaut auf den Hilfekarten nach, diese geben euch die nötigen Formeln und Hinweise, um die Rätsel zu lösen.
- Zum Lösen der Rätsel braucht ihr Papier, Stifte und Taschenrechner. Außerdem benötigt ihr eine Stoppuhr oder Ähnliches. Das Internet ist während dieses Spiels tabu!
- Für dieses Spiel sind 60 Minuten angesetzt, ihr solltet aber natürlich bis zum Ende spielen.

Bei Fragen oder Unklarheiten könnt ihr uns auch per Mail erreichen:

laura.gronewold@uni-oldenburg.de

justin.klimek@uni-oldenburg.de

Optische Gestaltung des Spiels: Noa Wassermann

Wir wünschen Euch viel Spaß!

Ihr dürft nun die Karte Einleitung lesen.

Einleitung

Ihr erwacht von einem Klingeln, es ist eines eurer Handys. Am Telefon ist die Sekretärin eures Thermodynamikprofessors: „Bitte kommen Sie unverzüglich in mein Büro!“ sagt sie und legt auf.

Ihr macht euch auf den Weg und seid 30 Minuten später vor Ort. Die Sekretärin offenbart euch, dass der Professor seit Jahren an einer Maschine forscht, mit der Schwarze Löcher zerstört werden können. Da aktuell ein Schwarzes Loch der Erde gefährlich nah kommt, war der Plan, die Maschine am heutigen Tage auszuprobieren. Natürlich wusste auch die Presse von dieser Maschine und so kam es, dass der Professor in der vergangenen Nacht von seinem neidischen Zwillings entführt wurde. Wohlwissend, dass er Opfer krimineller Machenschaften werden würde, veranlasste er, dass seine Studenten der Thermodynamik ihn retten sollen.

„Aber...“, will jemand von euch einwerfen, doch die Sekretärin schüttelt mit dem Kopf. Ihr merkt, dass ihr keine andere Wahl habt. „Wenn Sie mir jetzt bitte folgen würden...“ Die Frau führt euch in ein Labor: „Ich werde Sie nun einschließen, zur Sicherheit aller Beteiligten wird hier niemand rein oder raus können. Ich wünsche Ihnen alles Gute. Wir zählen auf Sie!“

Die Tür fällt ins Schloss, eure Zeit läuft.

Startet die Uhr. Ihr dürft euch nun die obersten Karten der Stapel anschauen!

Hilfestellungen

Für einzelne Rätsel gibt es keinen Hinweis.

A2: Unter welcher Bedingung ist Phenolphthalein farblos? Gebt eine Chemikalie hinzu, um den Zettel entnehmen zu können.

A4: Der azeotrope Punkt im Diagramm lässt sich bei weit über 0,9 erahnen.

A5: Vervollständigt das reale Gasgesetz!

A6: Verwendet die folgende Formel: $T_B = \frac{a}{b \cdot R}$

B2: Vernichtet eines der Thermometer

B3: Verwendet die Formel: $n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$, das Volumen kann berechnet werden, die Temperatur ist in einem vorherigen Rätsel angegeben.

B4: Das S steht für die Entropie

B6: Verwendet: $f_{vib} = 3N - 6$, da es sich um ein gewinkeltes Molekül handelt.

B7: Verwendet folgende Formel: $\Delta h_{v,T_2} = \Delta h_{v,T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta c_{p,mol} dT$

C1: Ein Prisma ist ein optisch dispersives Element.

C2: Verwendet diese Formel: $W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$

C3: Versucht, mit einem Salz die Siedetemperatur zu erhöhen und das Kochen zu verhindern, indem ihr ein Salz verwendet, welches in möglichst viele Teilchen dissoziiert.

C4: Überlegt, ob zwischen dem Labor und der Welt außerhalb ein Materie- oder Wärmeaustausch erfolgen kann.

C5: Verwendet die Gibbs-Helmholtz-Gleichung; die Enthalpie, Entropie und Temperatur sind auf vorherigen Karten zu finden.

C6: Versucht, die beiden Gegenstände mit dem größten Temperaturunterschied zu finden.

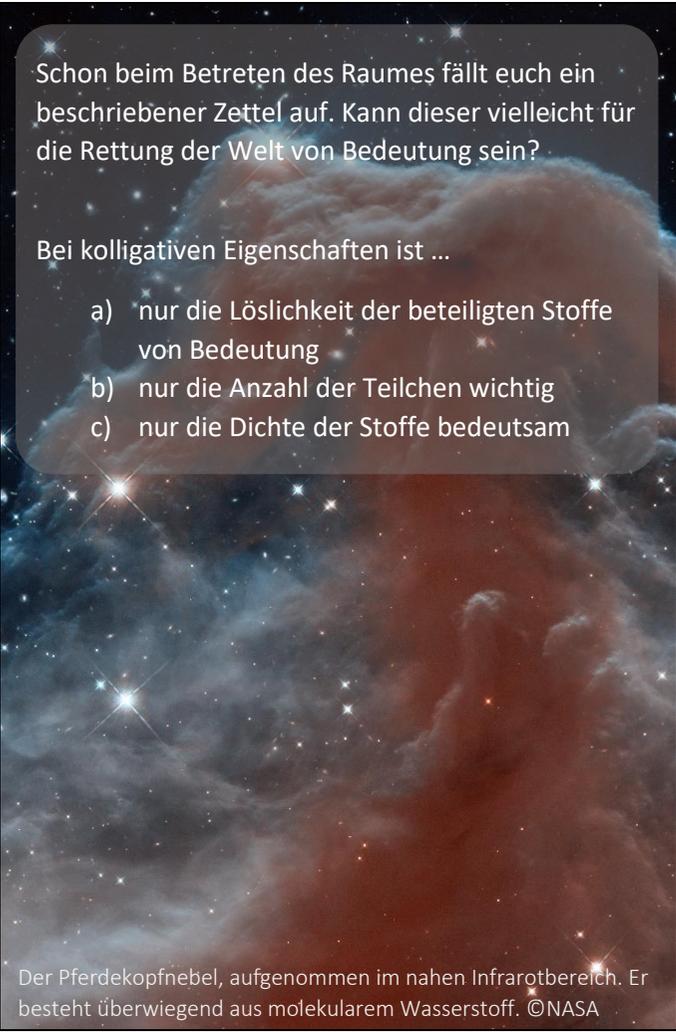
C7: Fügt die fehlenden Gegenstände in das Schema ein.

S5: Verwendet diese Formeln: $dM = T dS + \Omega dJ + \Phi dQ$

$$T = \frac{h \cdot c^3}{16 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot G \cdot m} = \frac{1,228 \cdot 10^{23}}{m} \text{K} \cdot \text{kg}, m = \frac{E}{c^2}$$

Stapel 1

A0



Schon beim Betreten des Raumes fällt euch ein beschriebener Zettel auf. Kann dieser vielleicht für die Rettung der Welt von Bedeutung sein?

Bei kolligativen Eigenschaften ist ...

- a) nur die Löslichkeit der beteiligten Stoffe von Bedeutung
- b) nur die Anzahl der Teilchen wichtig
- c) nur die Dichte der Stoffe bedeutsam

Der Pferdekopfnebel, aufgenommen im nahen Infrarotbereich. Er besteht überwiegend aus molekularem Wasserstoff. ©NASA

Genau! Kolligative Eigenschaften sind bei verdünnten Lösungen Stoffeigenschaften, die nur von der Teilchenanzahl der Spezies abhängen. Beispiele sind Dampfdruck-/ Gefrierpunktserniedrigungen oder Siedepunkterhöhungen.

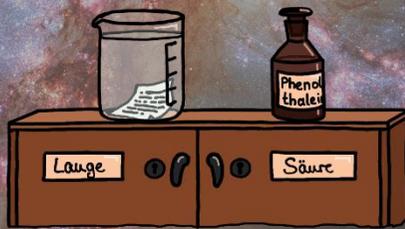
Ihr erhaltet ein Prisma. Behaltet diese Karte, um sie später erneut zu verwenden. Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Mit dieser Formel kann die Massenänderung Schwarzer Löcher in Joule berechnet werden. Die letzten beiden Teile des Terms stellen den Einfluss von Drehimpuls und Ladung dar und verschwinden für nichtrotierende, ungeladene Schwarze Löcher.

$$dM = T dS + \Omega dJ + \Phi dQ$$

Euer Blick schweift durch den Raum, eine Arbeitsplatte mit Laborgeräten erweckt nun euer Interesse. Ihr fragt euch, was auf dem Zettel in der farblosen Flüssigkeit steht.

Neben dem Becherglas steht eine Flasche Phenolphthalein. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich auch welches im Gefäß befindet. Die Schränke sind jedoch verschlossen.



Irgendwie müsst ihr an diesen Zettel kommen, hereingreifen kommt so aber nicht in Frage.

Die Antennen-Galaxien sind ein Paar verschmelzender Galaxien. Gut erkennbar sind die hellblauen Sternentstehungsgebiete.
©NASA

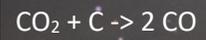
Ihr habt es erkannt: Die farblose Lösung muss eine Säure sein, da Phenolphthalein in verdünnten sauren Lösungen farblos ist. Durch die Zugabe von verdünnter Natronlauge entstehen Wasser und ein ungefährliches Salz. Nun könnt ihr den Zettel entfernen. Aber verbrennt euch nicht die Finger, denn die Neutralisation verläuft exotherm.

Nehmt euch die Karte mit dem Zettel.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler. Macht dies ebenfalls, wenn ihr noch nicht die Natronlauge habt.

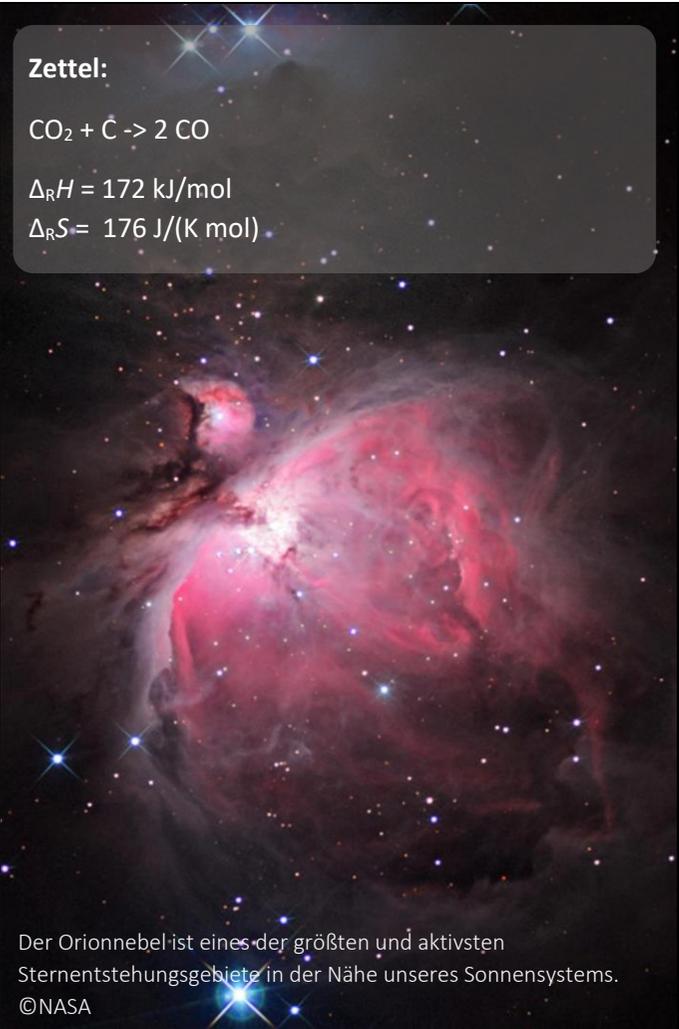
Nice-to-know: Das erste Bild eines Schwarzen Loches wurde im April 2019 veröffentlicht.

Zettel:



$$\Delta_{\text{R}}H = 172 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_{\text{R}}S = 176 \text{ J/(K mol)}$$

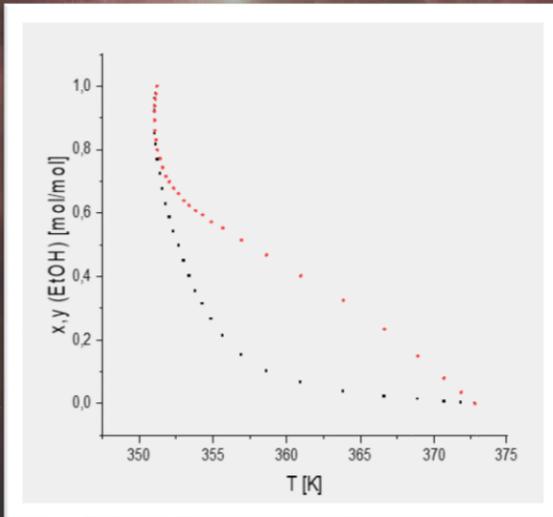


Der Orionnebel ist eines der größten und aktivsten Sternentstehungsgebiete in der Nähe unseres Sonnensystems.
©NASA

A3

Die Zeit rennt. Vielleicht solltet ihr das Ethanol-Wasser-Gemisch anzünden. Die Flamme könnte euch ja noch nützlich sein. Doch ist dieses Gemisch überhaupt brennbar?

Es liegt ein Ethanol-Wasser-Gemisch am Azeotropen Punkt vor. Ab einem Alkoholanteil von 50% ist ein Gemisch bei Raumtemperatur brennbar. Ist dieses Gemisch brennbar?



Infrarotaufnahme des Orionnebels ©NASA

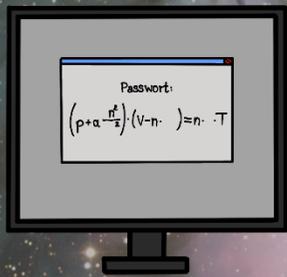
Super! Ihr habt das Rätsel gelöst! Das Gemisch ist brennbar. Ihr stellt aber relativ schnell fest, dass dieses Feuer nur ein Sicherheitsrisiko darstellt.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Karl Schwarzschild war der erste Mensch, der eine exakte Lösung für die Einsteinschen Feldgleichungen fand. Diese berechnete er im ersten Weltkrieg als Soldat an der Front.

Ihr bemerkt einen Computer, dieser ist euch vorher noch gar nicht aufgefallen! Ihr seid sicher, dass dieser euch behilflich sein wird und erblickt ein weiteres Rätsel. Um sich einloggen zu können, muss scheinbar die Formel vervollständigt werden.

$$\left(p + a \frac{n^2}{2}\right) \cdot (V - n \cdot \quad) = n \cdot \quad \cdot T$$



Der Trifidnebel ist eine etwa 5400 Lichtjahre entfernte große Gas- und Staubwolke, in der neue Sterne entstehen. ©NASA

Glückwunsch! Nachdem ihr diese Aufgabe erfolgreich gelöst habt, könnt ihr sicherlich auch das folgende Rätsel schaffen.

Die Van-der-Waals-Gleichung beschreibt das Verhalten realer Gase. Die fehlenden Buchstaben sind V , b , R .

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

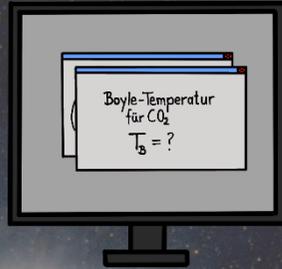
Nice-to-know: Ungeladene, nichtrotierende Schwarze Löcher können durch die Schwarzschild-Lösung, rotierende, ungeladene Schwarze Löcher durch die Kerr-Lösung und nichtrotierende, geladene Schwarze Löcher durch die Reissner-Nordstrøm-Lösung beschrieben werden.

Es öffnet sich ein weiteres Fenster:

Es wird nun Zeit, sich mit der Boyle-Temperatur zu befassen. Wie hoch ist die Boyle-Temperatur für CO₂, wenn gilt:

$$a = 3,65 \cdot 10^5 \text{ Nm}^4/\text{kmol}^2,$$

$$b = 4,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{kmol}$$



Aufnahme des Helix-Nebels im UV-Bereich. Er ist mit etwa 650 Lj Entfernung der uns nächste Planetarische Nebel. ©NASA

Sehr gut! Ihr habt das Rätsel gelöst. Die Boyle-Temperatur ergibt sich aus:

$$T_B = \frac{a}{b \cdot R} = 1033 \pm 1\text{K}$$

Auch im Computer könnt ihr den Code nicht finden.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Als Ereignishorizont wird die Grenzfläche bei Schwarzen Löchern bezeichnet, welche Ereignisse innerhalb des Horizonts von den äußeren, beobachtbaren Ereignissen trennt.

Obwohl ihr nun schon einige Rätsel gelöst habt, habt ihr das Gefühl, dem Code für die Maschine noch keinen Schritt näher zu sein. Ihr schaut euch die Kisten genauer an.

Euch kommen die Formen und Buchstaben bekannt vor, füllt das fehlende Loch!



Aufnahme zweier interagierender Galaxien im sichtbaren und Infrarotbereich. Durch die gravitative Wechselwirkung mit der Elliptischen Galaxie wurde die größere Spiralgalaxie stark verformt. ©NASA

Gut gemacht! Die Ähnlichkeit zu Orbitalen ist wohl kaum zu übersehen. S-Orbitale werden mit Kugeln beschreibbar, d-Orbitale weisen eine kreuzähnliche Form auf und für das p-Orbital ist die Hantel das Mittel der Wahl.

Die Truhe öffnet sich, es kommt ein H auf einer Holztafel zum Vorschein, sie wirkt als könnte man sie irgendwo einfügen.

Nehmt euch die Holztafel mit dem Buchstaben H.

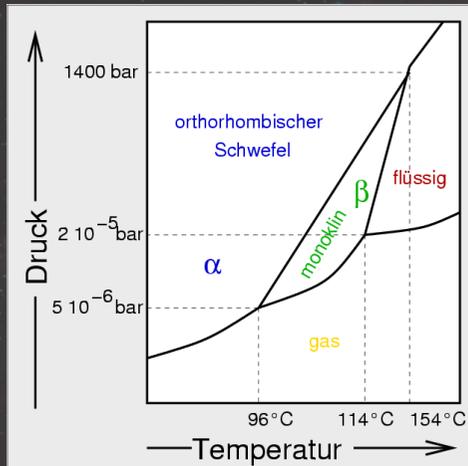
Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt notiert euch einen Fehler. Macht dies ebenfalls, wenn ihr noch nicht die Hantel habt.

Nice-to-know: Ein stellares Schwarzes Loch hat Massen von einigen Sonnenmassen.

Stapel 2

B0

An der Wand hängt folgende Graphik. Auf einem Holztäfelchen sind drei verschiedene Punkte beschrieben. Ihr markiert und verbindet die Punkte 1-2 und 2-3 und erhaltet ein Muster.



Markiert folgende Punkte im Diagramm, verbindet 1 mit 2 und 2 mit 3. Welchem Buchstaben ähnelt das Muster?

- 1: Tripelpunkt: l, monoklin, orthorhombisch
- 2: (p : 1400 bar, T : 369 K)
- 3: Tripelpunkt: l, g, monoklin

Infrarotaufnahme einer der produktivsten Geburtsstätten für Sterne in unserer Galaxie, dem Nebel RCW 49. ©NASA

Das war leicht! Schwefel ist mit seinen Tripelpunkten eine Besonderheit, da es durch seine beiden Festkörperstrukturen eine zusätzliche Phase aufweist.

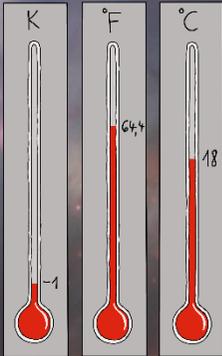
Es ergibt sich ein V auf dem Holztäfelchen. Dieses werdet ihr später noch einmal brauchen.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Wenn ein Stern „stirbt“, nimmt die Anzahl der Fusionsprozesse ab. Irgendwann ist die Gravitationskraft größer als der nach außen wirkende Strahlungsdruck, sodass es zum Gravitationskollaps kommt.

Euch stechen drei Thermometer ins Auge. Eines zeigt $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, ein weiteres -1 K , das dritte $64,4\text{ }^{\circ}\text{F}$. Hier kann etwas nicht stimmen! Welches Thermometer ist fehlerhaft?

Ihr glaubt, der Lösung ein Stück näher gekommen zu sein.



NGC 1333 ist ein riesiges Sternentstehungsgebiet mit sehr jungen Sternen. Zusammengesetztes Bild aus Aufnahmen im Röntgen-, Infrarot- und sichtbaren Bereich. ©NASA

Ihr habt den Fehler gefunden. Die Kelvinskala hat 0 K als ihre absoluten Temperaturnullpunkt definiert. Wenn ihr also ein Thermometer mit -1 K findet, solltet ihr euch Sorgen machen.

Ihr dürft die Karte weglegen.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Emittiert ein Objekt, das sich auf ein Schwarzes Loch zubewegt Strahlung, so wird diese durch die Gravitation rotverschoben. Strahlung, die vor der Überquerung des Horizonts abgegeben wird, kann theoretisch beobachtet werden.

Ihr erblickt einen Tresor. Dort muss etwas Wichtiges versteckt sein. Ihr versucht das Rätsel so schnell wie möglich zu lösen und das Ergebnis in das Zahlenpad einzutippen.

Wie viel Mol Stickstoff befinden sich im Raum? (Es kann ideales Gasverhalten angenommen werden).

Der Raum besitzt eine Grundfläche von 30 m^2 und eine Höhe von 3 m . Der Stickstoffanteil im Raum beträgt 78% , der Luftdruck beträgt 1 bar .



Der Ringnebel ist der Überrest eines alten Sterns, der am Ende seiner Entwicklung seine äußere Gashülle abgestoßen hat. Im Zentrum des Nebels befindet sich ein weißer Zwerg. ©NASA

Sehr gut! Ihr erhaltet den Schlüssel zum Basenschrank.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Die Stoffmenge von Stickstoff beträgt 2900 mol . Eure Antwort ist korrekt, wenn das Ergebnis $2900 \pm 2 \text{ mol}$ beträgt.

Die Temperatur beträgt hier weiterhin 18 Grad Celsius .

Nehmt euch den Schlüssel.

Nice-to-know: Weiße Zwerge sind kompakte alte Sterne und besitzen Massen von ca. $1,4$ Sonnenmassen. Da in ihnen keine Kernfusion mehr stattfindet, kommt ihre schwache Leuchtkraft aus der Emission von gespeicherter thermischer Energie.

An der Wand direkt neben dem Tresor befindet sich eine Führungsrinne mit einem Hebel. Über ihr ist ein großes „S“ zu sehen.

Diesen Hebel habt ihr vorher noch gar nicht bemerkt! Ihr wollt ihn in eine Richtung bewegen, doch in welche?



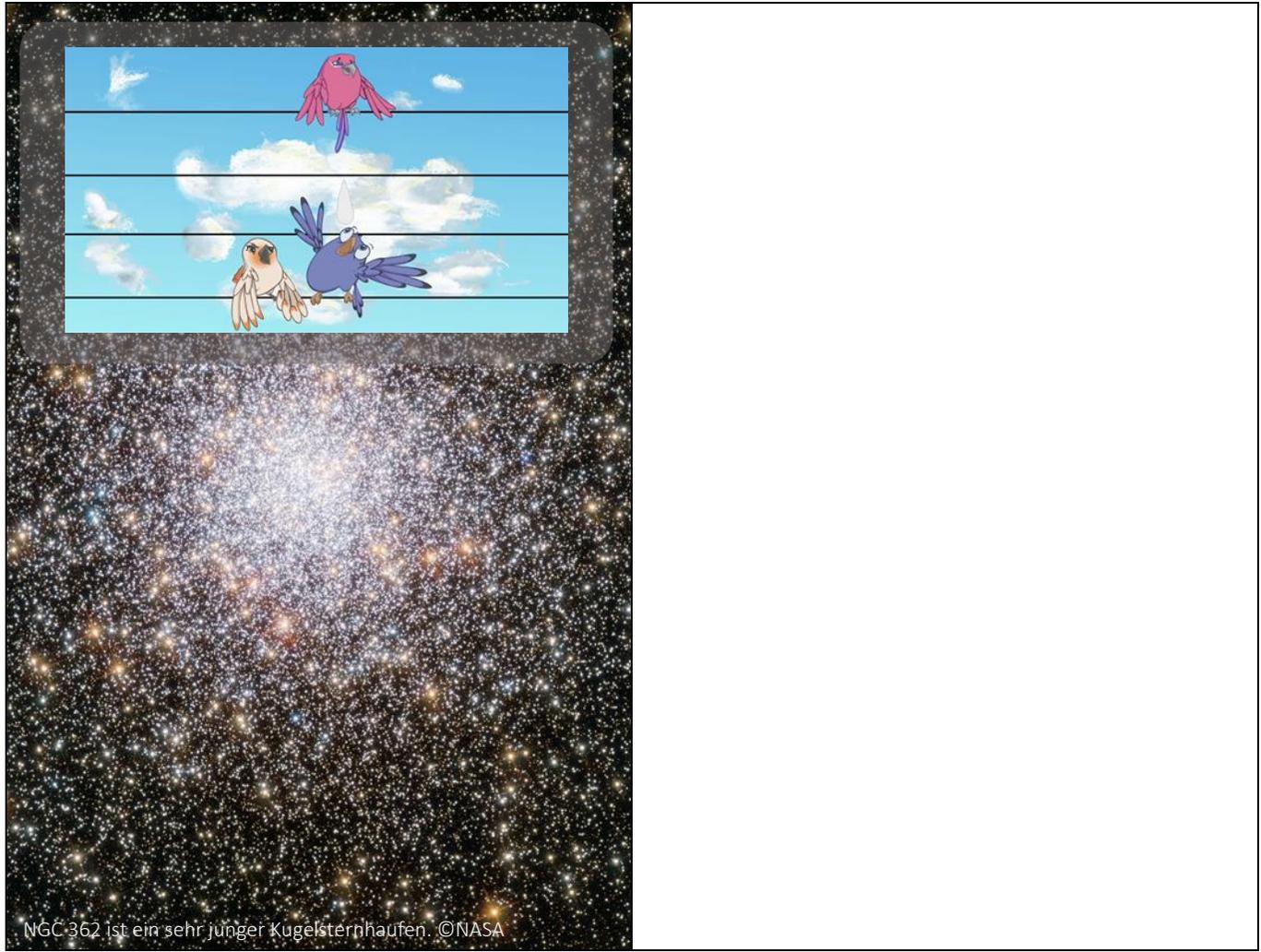
Der lange Schweif der Tadpole-Galaxie entstand durch die Begegnung mit einer kleineren Galaxie, deren Gravitationskräfte Gas und Sterne aus der Ursprungsgalaxie herausfügten. ©NASA

Richtig! Der Hebel muss nach oben bewegt werden, denn die Änderung der Entropie für eine einzelne Komponente ist immer größer null.

Nehmt euch die Holzplatte mit den Vögeln, sie wirkt, als könnte man sie irgendwo einsetzen.

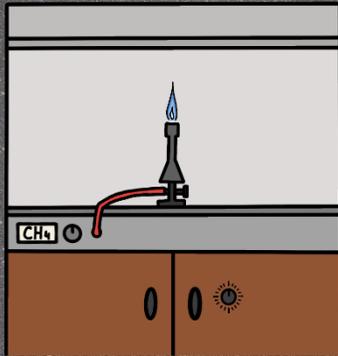
Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Nach dem No-Hair-Theorem wird angenommen, dass sich Schwarze Löcher durch lediglich drei physikalische Eigenschaften vollständig beschreiben lassen: Masse, Drehimpuls und elektrische Ladung.



NGC 362 ist ein sehr junger Kugelsternhaufen. ©NASA

Im Abzug steht ein Bunsenbrenner, welcher mit der Gasleitung verbunden ist. CH_4 steht auf dem kleinen Drehregler. Im Brenner befindet sich noch weißglühendes Eisen, äußerst fahrlässig! Unter dem Abzug fällt euch ein kleiner Schrank mit einem Drehknopf und verschiedenen Ziffern von 0 bis 100 auf. Hier könnte der Professor wichtige, hilfreiche Dinge lagern.



Auf die Schutzplatte ist mit zittriger Handschrift ein $f_{vib} = ?$ gekritzelt.

Ausschnitt des Milchstraßenbands am europäischen Nachthimmel. Die dunklen Bereiche werden durch Gas- und Staubwolken hervorgerufen, die das Licht der dahinterliegenden Sterne absorbieren. ©Noa Wassermann

Sehr gut! Methan besitzt neun Freiheitsgrade, der Knopf am Schrank muss auf die Position 9 bestellt werden.

$$(f_{vib} = 3N - 6 \text{ (gewinkelt)}) = 15 - 6 = 9)$$

Zum Vorschein kommt eine Hantel.

Nehmt die Hantel.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Asteroiden sind astronomische Kleinkörper, die sich um die Sonne bewegen. Sie besitzen einen Radius von einigen Metern bis mehreren Kilometern, eine vergleichsweise geringe Masse sowie eine unregelmäßige Form.

Dieser Zettel ist euch schon direkt aufgefallen, doch er erschien euch sehr kompliziert und ihr glaubtet nicht an einen Zusammenhang mit dem Endrätsel. Aus lauter Verzweiflung nehmt ihr euch doch auch diesem Rätsel an.

Bestimmt die Verdampfungsenthalpie von Dichlormethan bei der gegebenen Raumtemperatur.

$$T_v = 39,6 \text{ °C}$$

$$\Delta_v H = 28,82 \text{ kJ/mol}$$

$$C_p(l) = 101,2 \text{ J/(mol K)}$$

$$C_p(g) = 51,0 \text{ J/(mol K)}$$

C_p kann im gegebenen Temperaturintervall als konstant angenommen werden.

Die dunklen Bereiche des Lagunennebels sind protostellare Wolken und vermutlich Frühstadien der Sternentstehung. ©NASA

$$\Delta h_{v,T_2} = \Delta h_{v,T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta c_{p,mol} dT$$

Die Verdampfungsenthalpie ist 29,90 kJ/mol.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Schwarzschild Schwarzen Löchern kann eine sogenannte Hawking-Temperatur zugeordnet werden:

$$T = \frac{h \cdot c^3}{16 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot G \cdot M} = \frac{1,228 \cdot 10^{23}}{M} \text{ K} \cdot \text{kg}$$

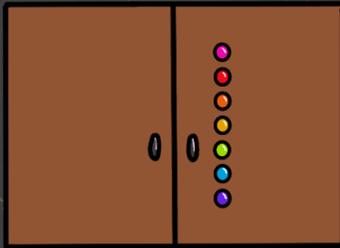
Sie stellt eine Näherungslösung dar und ist nur von der Masse M des Schwarzen Lochs abhängig.

Stapel 3

C0

Kann euch der regenbogenfarbige Sensor helfen?
Wie könnt ihr diesen bedienen?

Das Schrankschloss scheint mit einem
regenbogenfarbigen Sensor ausgestattet zu sein.



Auf dieser Deep Field Aufnahme des Hubble-Teleskops sind
mehrere tausend Galaxien zu sehen. ©NASA

Auflösung

Richtig! Durch das Prisma wird Licht gebrochen,
kurzwelliges Licht am stärksten.

Der Schrank öffnet sich.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch
einen Fehler.

*Nice-to-know: Ein mittelschweres Schwarzes Loch hat
eine Masse von 100 bis zu 1 Million Sonnenmassen.*

Vor euch befinden sich zwei Aufbauten, zehn in Reihe geschaltete Batterien, so wie ein Gasballon an einer Flasche Wasserstoff. Die beiden Aufbauten lassen euch vermuten, dass ihr Arbeit erzeugen müsst, um der Lösung einen Schritt näher zu sein.

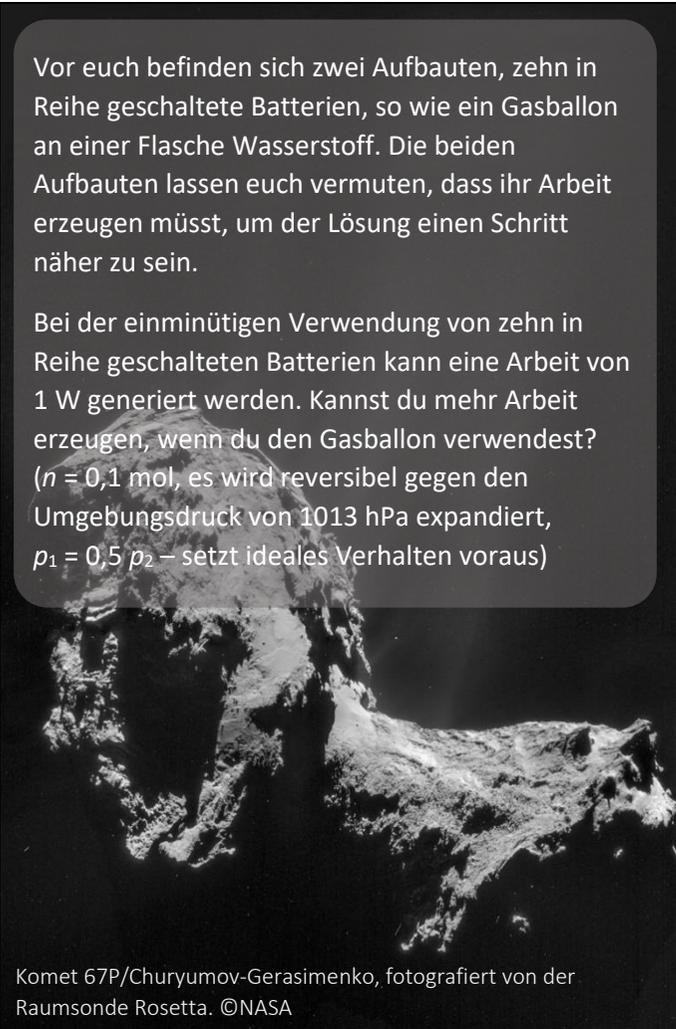
Bei der einminütigen Verwendung von zehn in Reihe geschalteten Batterien kann eine Arbeit von 1 W generiert werden. Kannst du mehr Arbeit erzeugen, wenn du den Gasballon verwendest? ($n = 0,1$ mol, es wird reversibel gegen den Umgebungsdruck von 1013 hPa expandiert, $p_1 = 0,5$ p_2 – setzt ideales Verhalten voraus)

$$W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Es ergibt sich eine Arbeitsleistung von -168 Ws. Das Vorzeichen ist negativ, weil Arbeit generiert wird. Du solltest also den Ballon verwenden. Im Hintergrund fällt euch eine Flasche mit flüssigem Stickstoff auf.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Aufgrund des Sonnenwinds ist der Schweif von Kometen immer von der Sonne weggewandt.



Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko, fotografiert von der Raumsonde Rosetta. ©NASA

Diese Notiz habt ihr vorher noch gar nicht bemerkt! Ihr wisst, dass euch nicht mehr viel Zeit bleibt und sucht schnell nach einer Möglichkeit, das Kochen zu verringern, um die Notiz lesen zu können.

Das Wasser ist leicht am Sieden, die Notiz lässt sich dadurch nicht erkennen. Das Gefäß lässt sich nicht bewegen, der Temperaturregler ist kaputt.



Komet C/2020 F3 (NEOWISE) im Juli 2020. ©Noa Wassermann

Aluminiumchlorid dissoziiert in vier Teilchen und ist damit die beste Wahl, da es außerdem gut löslich in Wasser ist.

Ihr findet dabei die folgende Formel auf dem Zettel:

$$T [^{\circ}\text{C}] = (X^{\circ}\text{F} - 32) * (5/9)$$

Behaltet die Karte, der Hinweis könnte euch nützlich sein.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

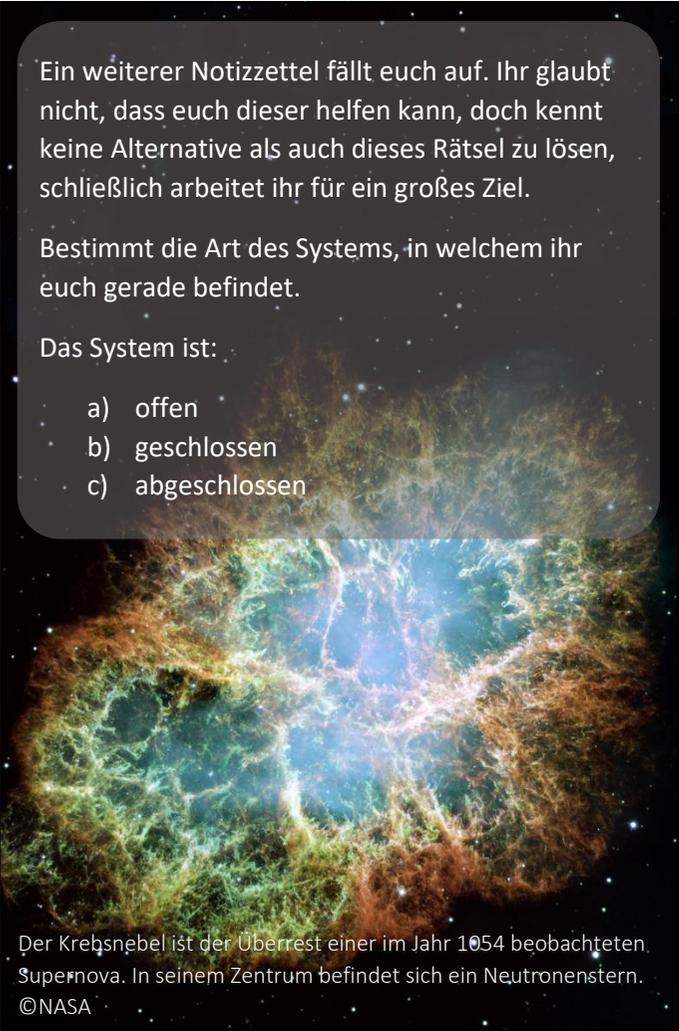
Nice-to-know: Kometen bestehen aus Eis, Staub und Gestein, besitzen einen Durchmesser von einigen Kilometern und sind Überreste der Entstehung des Sonnensystems. In Sonnennähe entwickeln die meisten Kometen durch Ausgasen einen leuchtenden Schweif.

Ein weiterer Notizzettel fällt euch auf. Ihr glaubt nicht, dass euch dieser helfen kann, doch kennt keine Alternative als auch dieses Rätsel zu lösen, schließlich arbeitet ihr für ein großes Ziel.

Bestimmt die Art des Systems, in welchem ihr euch gerade befindet.

Das System ist:

- a) offen
- b) geschlossen
- c) abgeschlossen



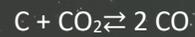
Der Krebsnebel ist der Überrest einer im Jahr 1054 beobachteten Supernova. In seinem Zentrum befindet sich ein Neutronenstern.
©NASA

Richtig! Ihr befindet euch in einem offenen System. Es kann ein Wärme- und Luftaustausch erfolgen.

Ihr dürft die Karte weglegen.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Als Rote Riesen werden große, leuchtkräftige, relativ kühle Sterne bezeichnet. An dessen Lebensende können durch einen Gravitationskollaps Weiße Zwerge, Neutronensterne oder Schwarze Löcher entstehen.



Was würde Gibbs sagen? $\Delta_R G = ?$

Gebt das Ergebnis in kJ auf eine Nachkommastelle genau an.

Ein Zahlenschloss! Hinter dieser Tür muss sich etwas Wichtiges befinden! Die Reaktion kommt euch bekannt vor, ihr glaubt wieder daran, die Welt retten zu können.

Die südliche Feuerradgalaxie ist eine Spiralgalaxie. ©NASA

Die Gibbs-Energie der Reaktion lässt sich aus der Reaktionsenthalpie und der Reaktionsentropie berechnen. Mit den gegebenen Werten erhaltet ihr Folgendes:

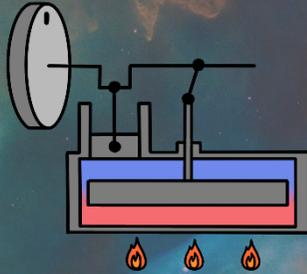
$$\begin{aligned}\Delta_R G &= \Delta_R H - T \cdot \Delta_R S \\ &= 172 \text{ kJ/mol} - 291,15 \text{ K} \\ &\quad \cdot 176 \text{ J/(mol K)} = 120,76 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Der Schrank öffnet sich, eine Wärmekraftmaschine kommt zum Vorschein.

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Ein supermassereiches Schwarzes Loch hat Massen von ca. 1 Million bis zu 1 Milliarden Sonnenmassen.

Versucht eine möglichst hohe Arbeitsleistung zu erzielen!



Falschfarbendarstellung des Blasennebels. Die Blase entsteht durch den Sternwind eines sehr heißen, massereichen Sterns. ©NASA

Auflösung

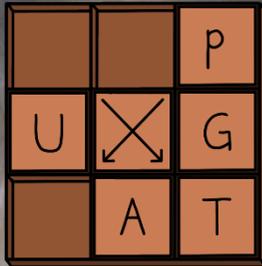
Newcomen wäre stolz auf euch! Der Wirkungsgrad einer Kraftmaschine hängt von den Temperaturreservoirs ab. Mit flüssigem Stickstoff (77 K) und weißglühendem Eisen (1773 K) ist der erste Schritt getan:

$$\eta = 1 - \left(\frac{T_{kalt}}{T_{heiß}} \right) = 1 - \left(\frac{77 \text{ K}}{1773 \text{ K}} \right) = 96 \%$$

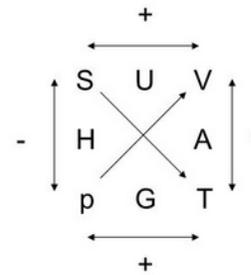
Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Sagittarius A ist eine Radioquelle im Zentrum der Milchstraße, bei der es sich nach aktuellem Forschungsstand um ein supermassives Schwarzes Loch handelt. Mit etwa 26000 Lichtjahren Entfernung ist es das uns nächste supermassive Schwarze Loch. Es besitzt schätzungsweise ca. 4,3 Mio Sonnenmassen.*

Ihr versucht so schnell wie möglich, das Guggenheimschema zu vervollständigen. Dafür müsst ihr die Lücken mit Holzplatten füllen. Euer Herz klopft schneller, ihr glaubt, kurz vor der Lösung des Rätsels zu stehen.



„Heute saugt unser Vampir auch tagsüber ganz prächtig.“ ist der Merksatz für das Guggenheimschema. Es zeigt die funktionale Abhängigkeit der thermodynamischen Potentiale U, F, H, G von ihren Variablen und deren Ableitungen (p, V, T, S). Die Leserichtung dieses Guggenheimschemas weicht etwas vom Vorlesungsschema ab. Das S der Entropie wird durch die Vögel dargestellt.



Glückwunsch! Der Raum mit dem Schwarzen Loch öffnet sich, ihr könnt euch nun eurer letzten Mission widmen! Solltet ihr noch ungelöste Rätsel haben, löst diese zuerst!

Falls ihr das Rätsel nicht gelöst habt, notiert euch einen Fehler.

Nice-to-know: Schwarze Löcher erscheinen schwarz, weil sie durch ihre extrem hohe Massendichte in ihrer unmittelbaren Umgebung eine so starke Gravitation erzeugen, dass nicht einmal Licht dieser entkommen kann.

Aufnahme zweier kollidierender Spiralgalaxien. ©NASA

ABSCHLUSSRÄTSEL

SCHAUT EUCH DIESEN STAPEL ERST AN, WENN IHR DEN HINWEIS ERHALTET, DASS SICH DER RAUM MIT DEM SCHWARZEN LOCH ÖFFNET!

Auf einem Schreibtisch findet ihr einen Brief:

Glückwunsch, ihr habt es geschafft meinem Herzstück näher zu kommen. Ob ihr das Loch zerstören könnt, werden wir noch herausfinden. Vorher möchte ich wissen, wie aufmerksam ihr eure Umgebung beobachtet. Ich habe allerhand Hinweise versteckt, die euch helfen werden, die Maschine zu starten. Seht meine Fragen als letzten Hinweis, der euch den Weg zur Lösung zeigen soll.

1) Ordnet die folgenden interstellaren Objekte nach aufsteigender Masse:

supermassives Schwarzes Loch, Komet,
mittelschweres Schwarzes Loch, Weißer Zwerg,
Roter Riese, stellares Schwarzes Loch

Das Bild zeigt die Zentralregion der Galaxie NGC1313. Sie beheimatet eine ultrahelle Röntgenquelle, die als Kandidat für ein mittelschweres Schwarzes Loch gilt. ©NASA

Ihr habt gut aufgepasst! Natürlich ist die Reihenfolge folgende:

supermassives SL > mittelschweres SL > stellares SL > Roter Riese > weißer Zwerg > Komet

Wenn ihr die Zuordnung hinbekommen habt, notiert euch zwei Pluspunkte (Keinen Fehlerpunkt!). War die Zuordnung falsch, passiert nichts.

Ihr lest weiter...

Es ist von elementarer Notwendigkeit die grundlegendsten Informationen zu kennen, bevor ihr euch mit der tiefergehenden Materie beschäftigt.

2) Warum sind Schwarze Löcher schwarz?

- a – Aufgrund ihrer starken Gravitation kann keine Strahlung aus ihnen entkommen.
- b – Sie emittieren nur sehr energiereiche, nicht sichtbare Infrarotstrahlung
- c – Sie erscheinen aufgrund ihrer großen Entfernung zur Erde schwarz
- d – Es finden nur noch wenige Fusionsprozesse statt

Computer-simuliertes Bild eines supermassiven schwarzen Lochs im Zentrum einer Galaxie. ©NASA

Die Antwort lautet a.

War eure Antwort richtig, notiert euch einen Pluspunkt. (Keinen Fehlerpunkt!). War die Antwort falsch, passiert nichts.

Es ist ein sehr langer Brief, den ihr da vor euch habt...

Mein Bruder ist ein absoluter Taugenichts, der sich nur für Ruhm interessiert und seine Taten nie in den Dienst der Wissenschaft gestellt hat. Ich hoffe, meine bisherigen Rätsel konnten ihn davon abhalten, einen großen Schaden anzurichten.

3) Wie entstehen stellare Schwarze Löcher?

- a – Beim „Tod“ eines sehr massereichen Sterns kommt es zum Gravitationskollaps
- b – Bei der Kollision zweier Planeten wird die Gravitation zu stark
- c – Alle stellaren Schwarzen Löcher sind bereits beim Urknall entstanden
- d – Sie entstehen durch Polarisierung des elektromagnetischen Feldes

Künstlerische Darstellung eines supermassiven schwarzen Lochs mit Akkretionsscheibe (orange) und Jet (blau). ©NASA

Die Antwort lautet a.

War eure Antwort richtig, notiert euch einen Pluspunkt. (Keinen Fehlerpunkt!). War die Antwort falsch, passiert nichts.

Ihr könnt so langsam nachvollziehen, warum der Professor und sein Bruder Probleme haben...

Natürlich würde er so niemals etwas erreichen - was erwartet man auch von einem jüngeren Zwilling?

4) Wo befindet sich das uns nächste supermassive Schwarze Loch?

- a – in der Andromeda Galaxie
- b – in der Bodes Galaxie
- c – in der Whirlpool Galaxie
- d – in der Milchstraße

Auf dieser Überlagerung von Aufnahmen der Galaxie Centaurus A im Submillimeter- (orange), Röntgen- (blau) und sichtbaren Bereich sind die Jets des supermassiven Schwarzen Lochs im Zentrum der Galaxie gut erkennbar. ©NASA

Die Antwort lautet d.

War eure Antwort richtig, notiert euch einen Pluspunkt. (Keinen Fehlerpunkt!). War die Antwort falsch, passiert nichts.

Endlich erhaltet ihr die lang ersehnte Aufgabe:

Um den Code zu erhalten, der die Maschine startet, ist es notwendig, die Masse in Kilogramm zu berechnen, die für ein Schwarzes Loch von 4,1 Millionen Sonnenmassen eine Entropieänderung von $4,2 \cdot 10^{-40}$ J/K hervorruft. Ihr könnt die Masse der Sonne als $2 \cdot 10^{30}$ Kilogramm annehmen. Um es euch nicht zu schwer zu machen, ist das Schwarze Loch ungeladen und rotiert nicht. Bedenkt dabei Einstein!

Ich vertraue euch, rettet die Welt!

Stoppt die Stoppuhr, sobald ihr euch für eine Lösung entschieden habt!

Die helle Röntgenquelle im Zentrum der Galaxie NGC 3627 stammt vermutlich von Materie, die in das supermassive Schwarze Loch fällt. ©NASA

Sämtliche nötige Formeln habt ihr in den Nice-To-Know-Facts oder den Hinweisen erhalten.

Da das Loch ungeladen und nicht rotierend ist, vereinfacht sich die Formel.

- $dM = T dS + \Omega dJ + \Phi dQ =$
 $\frac{1,23 \cdot 10^{23}}{4,1 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{kg}} \text{K} \cdot \text{kg} \cdot 4,2 \cdot 10^{-40} \frac{\text{J}}{\text{K}} + 0 + 0 =$
 $6,3 \cdot 10^{18} \text{J}$
- $m = \frac{E}{c^2} = \frac{6,3 \cdot 10^{18} \text{J}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}^2} = 70 \text{ kg}$

Notiert euch 5 Pluspunkte, falls ihr die exakte Lösung von 70 kg herausgefunden habt. Notiert euch 3 Punkte, falls ihr die Lösung in einem Rahmen von ± 5 kg erreicht habt. Sonst notiert euch 0 Punkte.

Auswertung

1. Notiert euch alle Pluspunkte aus dem Aufgabenblock S1 bis S6.
2. Notiert euch folgende Pluspunkte in Abhängigkeit von der Zeit, die ihr zum Lösen gebraucht habt.
3. Zieht von diesen Punkten die Fehlerpunkte ab.

Tabelle zu 2.:

| | |
|---------------|-----------|
| ≤ 60 min | 10 Punkte |
| 61 – 65 min | 7 Punkte |
| 66 – 70 min | 5 Punkte |
| 71 – 75 min | 3 Punkte |
| 76 – 80 min | 1 Punkt |
| > 80 | 0 Punkte |

Wie habt ihr nun abgeschnitten?

- **18 bis 20 Punkte:** Ihr habt die Welt gerettet, den Professor befreit und ein überaus gutes Wissen in Thermodynamik! Der Professor bietet euch eine Stelle als Studentische Hilfskraft an und eure Thermodynamikklausur kann eigentlich nicht schief gehen.
- **13 bis 17 Punkte:** Ihr habt es irgendwie geschafft, die Welt und den Professor zu retten, allerdings nicht ohne Kratzer. Der Professor ist euch zwar dankbar, aber trotzdem solltet ihr einzelne Bereiche der Thermodynamik noch weiter verinnerlichen.
- **7 bis 12 Punkte:** Das Schwarze Loch hat sich glücklicherweise als weniger gefräßig herausgestellt, aber eine Glanzleistung war das nicht. Der Professor hat überlebt, aber sonderlich dankbar ist er nicht, gerade so bestanden!
- **0 bis 6 Punkte:** Die Welt ist nicht mehr was sie war, ihr befindet euch in der Mitte eines Schwarzen Loches und... Ihr wacht auf... Glücklicherweise nur ein Albtraum, hoffentlich endet die Thermodynamikklausur nicht genauso! Ihr solltet euch definitiv genauer mit der Materie beschäftigen.
- **negative Punktzahlen:** Habt ihr überhaupt versucht die Welt zu retten? Man könnte denken, ihr steckt mit dem Bruder des Professors unter einer Decke! Eine äußerst peinliche Leistung, für die Klausur sieht euer Professor schwarz.