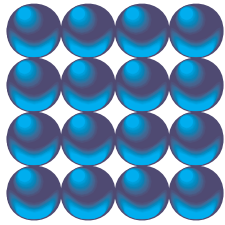


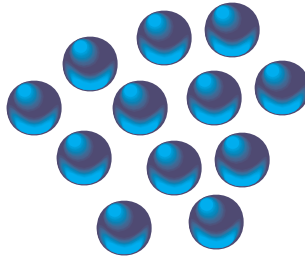
# Arbeitsblatt I: Die einfache Atomvorstellung

## Festkörper – Flüssigkeit – Gas

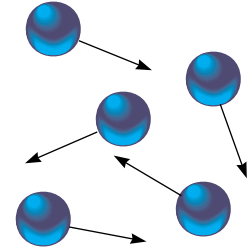
Schon die alten Griechen (darunter beispielsweise Leukipp und Demokrit) vermuteten, dass alle Stoffe aus kleinsten Einheiten bestehen müssen und bezeichneten diese als Atome (griechisch: atomos: unteilbar). Stoffe können in drei verschiedenen Zustandsformen – sogenannten Aggregatzuständen – in der Natur vorkommen, nämlich fest, flüssig oder gasförmig.



fest



flüssig



gasförmig

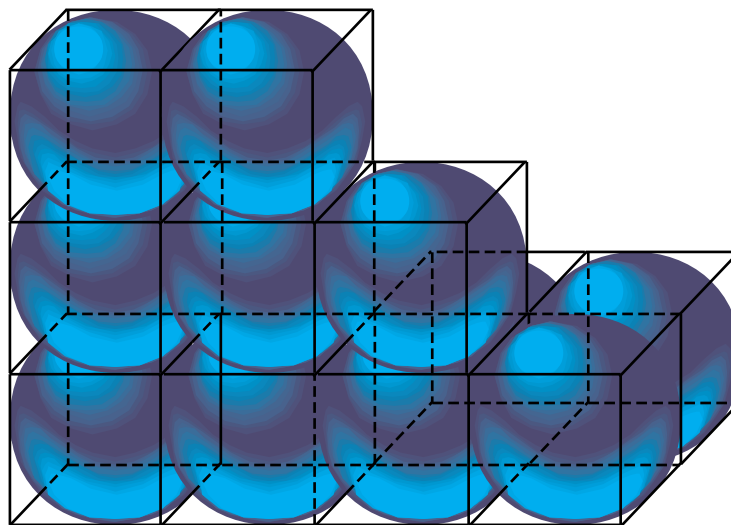
Zur Veranschaulichung der Aggregatzustände auf atomarer Ebene reicht das Atommodell von Dalton. Dieses beschreibt Atome als gleichförmig aufgebaute Kugeln ohne jeglichen inneren Aufbau. Das beste Beispiel für einen Stoff, welcher in der Natur in allen drei Aggregatzuständen vorkommt, ist Wasser.

## Was ist groß und was ist klein?

Um ein Gefühl für die Größenordnungen zu bekommen, öffnet [Girlsday 2009\10hoch\10hoch.html](#) und spielt ein bisschen mit der Simulation.

## Wir schätzen den Atomdurchmesser ab

Man kann den Durchmesser eines Atoms über eine sehr einfache Betrachtungsweise abschätzen. Untersuchen wir einen Festkörper, in welchem die Atome in einem regelmäßigen Gitter angeordnet sind. Die Form dieses Gitters ist je nach Festkörper verschieden. Wir schauen uns jedoch den einfachen Fall an, bei dem die Atome in einem quadratischen Gitter angeordnet sind wie in folgender Skizze:



Die Atome sind nach dem Atommodell von Dalton als Kugeln symbolisiert; sie besitzen keinen inneren Aufbau.

a.)

Öffnet das Periodensystem der Elemente `c:\Girlsday\Periodensystem\Periodensystem.html` und sucht ein Element aus, das sich bei Zimmertemperatur im festen Aggregatzustand befindet.

Lösung: Feste Elemente sind zum Beispiel Zink (Zn), Blei (Pb) oder Cäsium (Cs).

b.)

Lest das Atomgewicht des Elements ab, das ihr euch ausgesucht habt. Die Atommasse ist in der Einheit  $u$  angeben. ( $u$  ist die Abkürzung für englisch „unit“ und entspricht der sehr kleinen Masseneinheit, in welcher Atommassen üblicherweise angegeben werden. In Kilogramm ist dies eine Zahl mit sehr vielen Nullen!). Sucht zusätzlich die Dichte  $\rho$  des Elements aus der beiliegenden Tabelle (Hilfsmaterial I) heraus. Diese besitzt die Einheit  $\text{g}/\text{cm}^3$ . (Die Dichte ist ein Maß dafür, wie dicht die Atome in einem Stoff gepackt sind.) Notiert euch die beiden Zahlen.

Lösung: Wir lesen die Atommassen  $65,39 u$ ,  $183,84 u$ ,  $132,905 u$  bzw. die Dichten  $7,13 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,  $19,35 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,  $1,87 \text{ g}/\text{cm}^3$  ab.

c.)

Ein grundlegendes Prinzip aus der Chemie ist das folgende. Sei die Atommasse gleich  $m$  (in der Einheit  $u$ ). Ersetzt man nun die Einheits  $u$  durch die allseits bekannte Einheit Gramm, so weiß man, dass eine solche Stoffmenge etwa  $6,02 \cdot 10^{23}$  Teilchen enthält. (Chemiker sind faul und sprechen hier von einem Mol Teilchen, um nicht jedes Mal diese große Zahl aufschreiben zu müssen.)

Beispiel: Die Atommasse von Kohlenstoff ist  $12,01 u$  (wie ihr aus dem Periodensystem ablesen könnt). Nimmt man eine Menge Kohlenstoff von  $12,01$  Gramm, so enthält diese Menge  $6,02 \cdot 10^{23}$  Teilchen. Berechnet nun über die Formel

$$V = \frac{m}{\rho},$$

das Volumen  $V$  von  $m$  Gramm des jeweiligen Elements, das ihr euch ausgesucht habt.

Beispiel: Die Dichte von Kohlenstoff ist  $2,26 \text{ g}/\text{cm}^3$  (wie man in Hilfsmaterial I findet). Dann ist das Volumen von  $12,01 \text{ g}$  Kohlenstoff:

$$V = \frac{12,01 \text{ g}}{2,26 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \approx 5,31 \text{ cm}^3.$$

Lösung: Wir berechnen die Volumina nach der angegebenen Formel:

$$V_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{\rho_{\text{Zn}}} = \frac{65,39 \text{ g}}{7,13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \approx 9,17 \text{ cm}^3,$$

$$V_{\text{Pb}} = \frac{m_{\text{Pb}}}{\rho_{\text{Pb}}} = \frac{183,84 \text{ g}}{19,35 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \approx 9,50 \text{ cm}^3,$$

$$V_{\text{Cs}} = \frac{m_{\text{Cs}}}{\rho_{\text{Cs}}} = \frac{132,905 \text{ g}}{1,87 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \approx 71,07 \text{ cm}^3.$$

d.)

Dieses Volumen enthält nun etwa  $6,02 \cdot 10^{23}$  Teilchen. Dividiert das Volumen durch diese Große Zahl und ihr erhaltet das Volumen des Würfels, welches ein einziges Atom nach dem Bild auf der ersten Seite beansprucht.

Lösung: Die Volumina eines solchen Würfels sind:

$$V_{\square, \text{Zn}} = \frac{9,17 \text{ cm}^3}{6,02 \cdot 10^{23}} \approx 1,52 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3,$$

$$V_{\square, \text{Pb}} = \frac{9,50 \text{ cm}^3}{6,02 \cdot 10^{23}} \approx 1,58 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3,$$

$$V_{\square, \text{Cs}} = \frac{71,07 \text{ cm}^3}{6,02 \cdot 10^{23}} \approx 1,18 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3.$$

e.)

Nun müsst ihr aus dem Volumen noch die dritte Wurzel ziehen und ihr bekommt als Ergebnis die Kantenlänge eines solchen kleinen Würfels und somit den Durchmesser des Atoms. (Das Volumen eines Würfels ist nämlich  $V_{\text{Würfel}} = a^3$ , wenn  $a$  die Kantenlänge ist.)

Lösung: Wir erhalten den Atomradius nach dieser einfachen Abschätzung:

$$r_{\text{Zn}} = \sqrt[3]{V_{\square, \text{Zn}}} = \sqrt[3]{1,52 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3} \approx 2,48 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 2,48 \cdot 10^{-10} \text{ m},$$

$$r_{\text{Pb}} = \sqrt[3]{V_{\square, \text{Pb}}} = \sqrt[3]{1,58 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3} \approx 2,51 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 2,51 \cdot 10^{-10} \text{ m},$$

$$r_{\text{Cs}} = \sqrt[3]{V_{\square, \text{Cs}}} = \sqrt[3]{1,18 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3} \approx 4,91 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 4,91 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

Die Größenordnung eines Atomdurchmessers ist somit  $10^{-10}$  m. Die Vorfaktoren darf man nicht zu ernst nehmen, da das zugrundeliegende Modell sehr einfach und die Abschätzung somit sehr grob ist.

# Arbeitsblatt II: Der Aufbau des Atoms

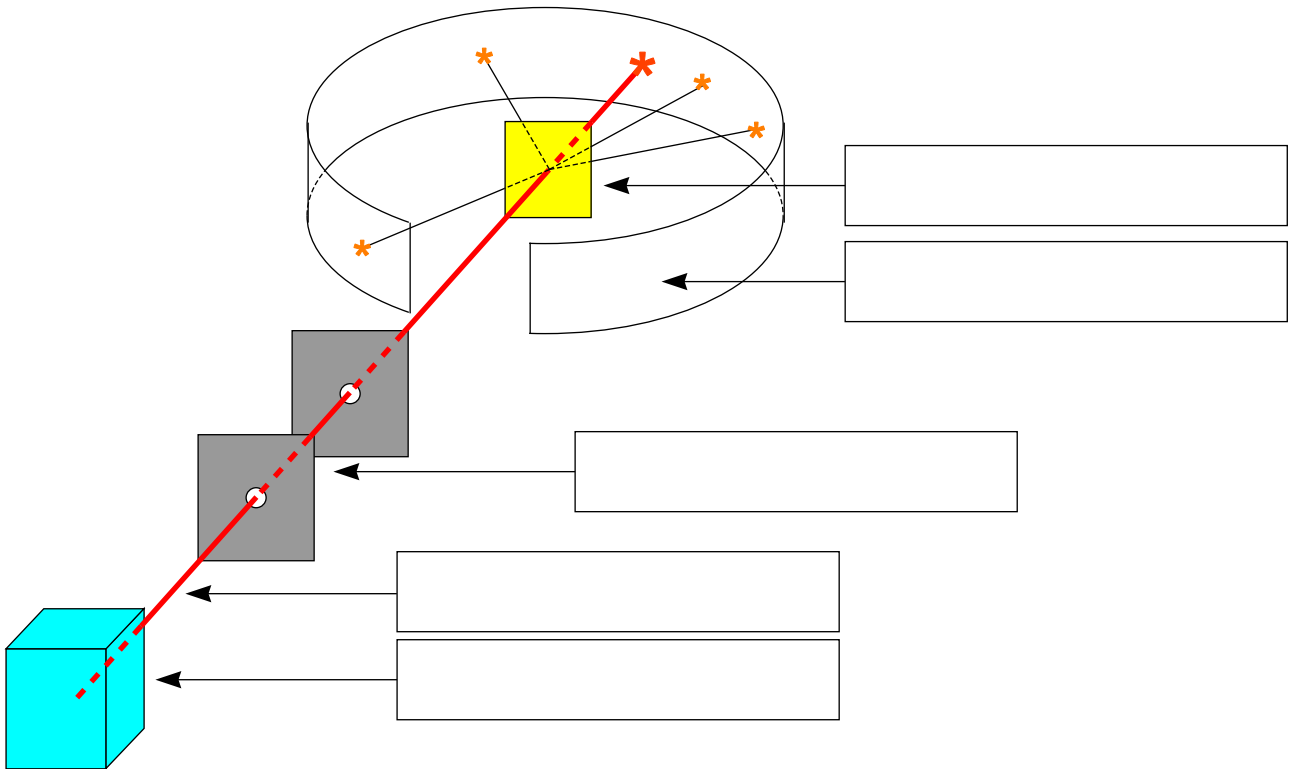
## 1 Das Rutherford-Experiment

Im Jahre 1909 führten die Physiker Geiger, Marsden und Rutherford ein Experiment durch, um den Aufbau des Atoms zu untersuchen. Dabei schossen sie einen Strahl aus  $\alpha$ -Teilchen auf eine sehr dünne Goldfolie.

Diese  $\alpha$ -Teilchen sind positiv geladene Teilchen und werden von radioaktiven Stoffen ausgesendet. Ein Stoff ist radioaktiv, wenn dieser nach einer bestimmten Zeit unter Aussendung eben solcher  $\alpha$ -Teilchen (und noch anderen Teilchen) zerfällt. Die Radioaktivität wurde von der Physikerin Marie Curie entdeckt.

a.)

Beschriftet bitte den folgenden Versuchsaufbau:



Lösung: Die Lösung findet ihr im Vortrag :-)

Geiger, Marsden und Rutherford beobachteten, dass die meisten  $\alpha$ -Teilchen die Goldfolie ungehindert durchfliegen. Einige wenige jedoch wurden abgelenkt und teilweise sogar reflektiert, also in die ursprüngliche Richtung zurückgeworfen. Die Deutung dieses experimentellen Ergebnisses war, dass ein Atom nicht gleichmäßig aufgebaut ist. Ein Großteil der Masse des Atoms steckt in einem winzig kleinen Atomkern, der nur etwa ein Zehntausendstel des Durchmessers eines Atoms besitzt.

b.)

Berechnet die Bewegungsenergie (kinetische Energie)  $W_{\text{kin}}$  eines  $\alpha$ -Teilchens nach der Formel

$$W_{\text{kin}} = \frac{m_{\alpha} v^2}{2}.$$

Wir nehmen an, dass die  $\alpha$ -Teilchen aus radioaktivem Wismut kommen; diese besitzen eine Geschwindigkeit  $v = 2,0 \cdot 10^7$  m/s. Die Masse eines  $\alpha$ -Teilchens ist

$$m_{\alpha} = 4 \text{ u} = 4 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Die kinetische Energie folgt nach der Formel:

$$W_{\text{kin}} = \frac{m_{\alpha} v^2}{2} = \frac{6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (2 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} \approx 1,33 \cdot 10^{-12} \text{ J}.$$

c.)

Wechselt auf dem Computer in den Ordner `Girlsday 2009\Rutherford` und öffnet die Datei `Rutherford.html`. Spielt etwas mit den Einstellungen. Was beobachtet ihr?

Lösung: Das einlaufende  $\alpha$ -Teilchen wird von seiner Bahn abgelenkt, und zwar umso stärker, je näher es am Kern vorbeifliegt (also je kleiner der Stoßparameter ist). Auch wenn es nicht direkt auf den Kern trifft, wird es abgelenkt, da die Abstoßungskraft zwischen dem positiv geladenen  $\alpha$ -Teilchen und dem positiv geladenen Kern über Entfernungen wirkt. Trifft das Teilchen frontal auf den Kern, wird es entgegen der ursprünglichen Richtung zurückgeworfen.

d.)

Der Kerndurchmesser kann durch folgende Betrachtungsweise abgeschätzt werden. Wir betrachten den zentralen Stoß eines  $\alpha$ -Teilchens mit einem Atomkern; dies bedeutet, dass unser  $\alpha$ -Teilchen frontal auf den Atomkern zufliegen soll:

Die Bewegungsenergie des  $\alpha$ -Teilchens ist wieder

$$W_{\text{kin}} = \frac{m_{\alpha} v^2}{2},$$

was ihr ja schon in Aufgabenteil (b) ausgerechnet habt.

Hinweis: Das Zwischenergebnis lautet:  $W_{\text{kin}} \approx 1,33 \text{ kgm}^2/\text{s}^2 = 1,33 \text{ J}$ . (J (Joule) ist die Einheit der Energie.)

Sowohl das  $\alpha$ -Teilchen als auch der Atomkern sind positiv geladen und ein Grundgesetz der Physik besagt, dass sich gleichförmige Ladungen mit einer bestimmten Kraft gegenseitig abstoßen. Fliegt das  $\alpha$ -Teilchen also auf den Atomkern zu, wird es von diesem weggerückt und immer langsamer in seiner Bewegung. Das geht solange, bis die ganze Bewegungsenergie  $W_{\text{kin}}$  in Feldenergie (Energie des elektrischen Feldes des Kerns)  $W_{\text{pot}}$  umgewandelt wurde. Diese Feldenergie kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$W_{\text{pot}} = \frac{1}{C} \frac{1}{r},$$

wobei  $r$  der Abstand des  $\alpha$ -Teilchens vom Mittelpunkt des Atomkerns ist. Die Konstante  $C$  habt ihr in Aufgabenteil (c) bereits ausgerechnet und euch hoffentlich notiert :-). Ein  $\alpha$ -Teilchen mit einer so hohen Bewegungsenergie (wie in Aufgabenteil (a) bestimmt) wird sehr nahe an der Kern herankommen, bis es die ganze Bewegungsenergie in Feldenergie umgewandelt ist. Dann kann es nicht mehr gegen den Kern ankommen und wird nun wieder von diesem weggedrückt; die Bewegungsrichtung dreht sich also um. Der Abstand  $r$  vom Mittelpunkt des Kerns, an dem sich die Bewegungsrichtung umkehrt, ist nun näherungsweise dem Kernradius  $r_{\text{Kern}}$ ; dann gilt:

$$W_{\text{kin}} = W_{\text{pot}},$$

also

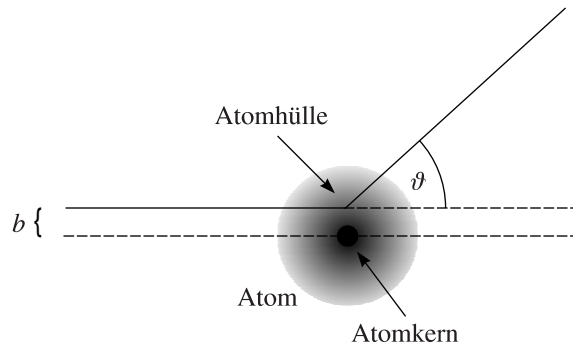
$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{C} \frac{1}{r_{\text{Kern}}}.$$

Löst diese Gleichung nun nach  $r_{\text{Kern}}$  auf und setzt die Zahlenwerte für  $W_{\text{kin}}$  und  $C$  ein, die ihr in den Aufgabenteilen (b) bzw. (c) berechnet habt. Dann erhaltet ihr den ungefähren Kernradius.

Lösung: Indem wir die angegebene Formel nach  $r_{\text{Kern}}$  auflösen, ergibt sich:

$$r_{\text{Kern}} = \frac{1}{C W_{\text{kin}}} = \frac{1}{5,49 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{Jm}} \cdot 1,33 \cdot 10^{-12} \text{ J}} \approx 1,37 \cdot 10^{-14} \text{ m}.$$

e.) (falls noch Zeit ist)



Man kann den Ablenkwinkel  $\vartheta$  eines  $\alpha$ -Teilchens berechnen nach der folgenden Formel:

$$\vartheta = \pi - 2 \arctan(\mathcal{C} \cdot b \cdot W_{\text{kin}}), \quad \text{mit } \mathcal{C} = \frac{4\pi\epsilon_0}{Ze^2}.$$

Hierbei ist  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Jm}$  die Dielektrizitätskonstante,  $Z = 79$  die Ordnungszahl von Gold,  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  die Elementarladung.  $\mathcal{C}$  ist eine Konstante, die ihr euch am Besten notiert, nachdem ihr sie ausgerechnet habt. Sie wird im nächsten Aufgabenteil noch einmal benötigt.

Zwischenergebnis: Falls ihr nicht wisst, wie man  $\mathcal{C}$  ausrechnet, könnt ihr mit dem Zwischenergebnis  $\mathcal{C} = 5,49 \cdot 10^{25} \text{ 1/Jm}$  weiterrechnen.

Hinweis: Viele physikalische Größen besitzen eine Einheit, wie beispielsweise die Länge, welche in m (Meter), cm (Zentimeter) usw. angegeben wird. C (Coulomb), J (Joule) sind auch Einheiten, nämlich der Ladung und der Energie. Ihr könnt jedoch die Einheiten einfach weglassen und nur mit den Zahlen rechnen. So ist es dann einfacher :-)

Die Funktion arctan (Arkustangens) ist die Umkehrfunktion vom Tangens (dem Verhältnis zwischen Gegenkathete zur Ankathete in einem rechtwinkligen Dreieck). Ihr solltet diese auf eurem Taschenrechner finden.

Nehmt als Stoßparameter  $b$  die folgenden drei verschiedenen Werte und tragt die Ergebnisse für die Ablenkwinkel in die Tabelle ein:

Stoßparameter [m]	Ablenkwinkel [Grad]
$b_1 = 10^{-10}$	$\vartheta_1 =$
$b_2 = 10^{-15}$	$\vartheta_2 =$
$b_3 = 10^{-20}$	$\vartheta_3 =$

Lösung: Wir berechnen zuerst die Konstante  $\mathcal{C}$ :

$$\mathcal{C} = \frac{4\pi\epsilon_0}{Ze^2} = \frac{4\pi \cdot 8,85 \frac{\text{C}^2}{\text{Jm}}}{79 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2} \approx 5,49 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{Jm}}.$$

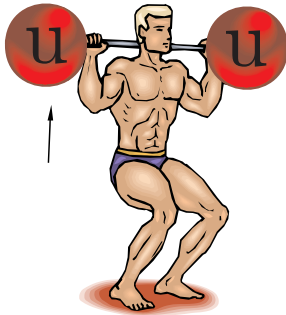
Durch Einsetzen erhalten wir folgende Winkel:

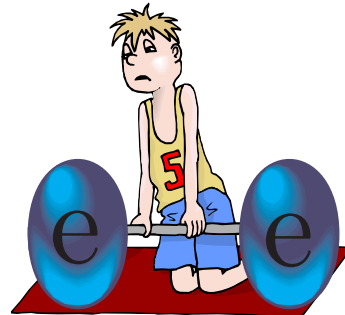
Stoßparameter [m]	Ablenkwinkel [Grad]
$b_1 = 10^{-10}$	$\vartheta_1 \approx 0,02$
$b_2 = 10^{-15}$	$\vartheta_2 \approx 171,67$
$b_3 = 10^{-20}$	$\vartheta_3 \approx 180$

Je kleiner der Stoßparameter ist, umso mehr wird das  $\alpha$ -Teilchen von seiner ursprünglichen Flugbahn abgelenkt. Liegt der Stoßparameter in der Größenordnung des Atomdurchmessers (vergleiche mit Aufgabe 1), so ist die Ablenkung sehr gering. Doch bereits für die Größenordnung des Kernradius (vergleiche mit Aufgabenteil ) wird das  $\alpha$ -Teilchen fast in die entgegengesetzte Richtung zurückgeworfen!

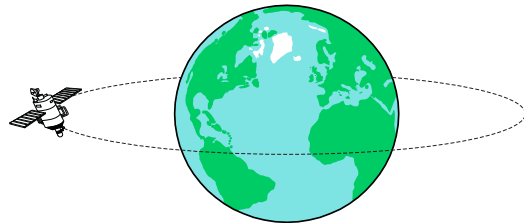
# Arbeitsblatt III: Zuordnung der Überträgerteilchen zu den Grundkräften

Hier sind die vier Grundkräfte (in der Reihenfolge von links nach rechts: starke Kraft, schwache Kraft, elektromagnetische Kraft, Schwerkraft) dargestellt.



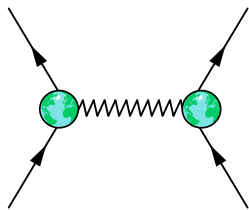




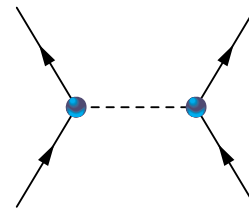



a.)

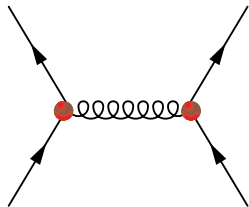
Die folgenden sogenannten Feynmandiagramme werden in der theoretischen Physik benutzt, um die vier Grundkräfte mathematisch zu beschreiben. Ordnet bitte die Diagramme den obigen Bildern zu, indem ihr die richtigen Zahlen in die Kästchen schreibt.



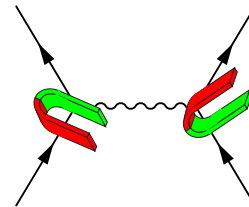
①



②



③



④

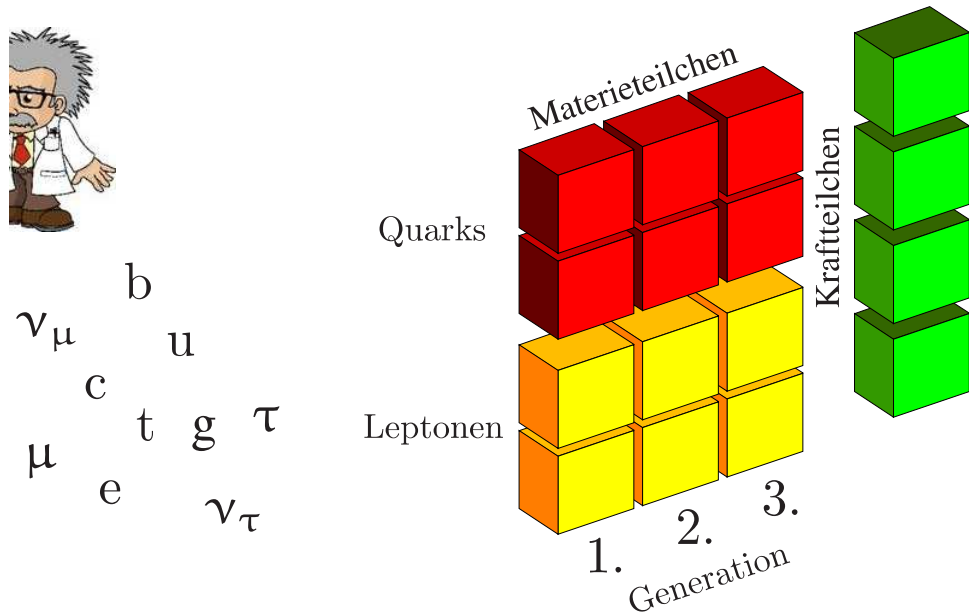
Anmerkung: Zur Hilfestellung könnt ihr das Hilfsblatt III benutzen :-)

Lösung: 3, 2, 4, 1 in dieser Reihenfolge von links nach rechts!

# Arbeitsblatt IV: Könnt ihr das Standardmodell der Elementarteilchen zusammenbauen?

## Chaos im Labor

Hilfe! Durch ein unglücklicherweise misslungenes Experiment hat Professor Probenius das ganze Standardmodell der Elementarteilchen durcheinandergebracht:



a.)

Könnt ihr ihm dabei helfen, das Standardmodell wieder zusammenzusetzen? Sammelt dazu die verschiedenen Teilchen auf und schreibt diese wieder in das leere Standardmodell neben dem Professor!

Anmerkung: Zum Glück hat Professor Probenius vor dem Experiment noch Notizen zum Standardmodell gemacht! Diese findet ihr unter Hilfsmaterial II und III :-)

Lösung: Auch hier findet ihr die Lösung im Vortrag!

b.)

Öffnet die Datei `Girlsday 2009\Microboy\Microboy.html` und versucht, ein Kohlenstoffatom zusammenzubauen. Wie viele Quark und Elektronen benötigt ihr dazu?

Lösung: Aus dem Periodensystem liest man eine Kernladungszahl  $Z = 6$  und eine Massenzahl  $N = 12$  u ab. Damit besteht das Kohlenstoffatom aus sechs Protonen ( $Z = 6$ ), sechs Neutronen und sechs Elektronen, da die Anzahl der Protonen gleich der Anzahl der Elektronen sein muss (damit das gesamte Atom elektrisch neutral ist). Ein Proton besteht aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark und ein Neutron aus einem Up-Quark und zwei Down-Quarks. Insgesamt folgt also:

$$\text{Anzahl der Up-Quarks} = 6 \cdot 2 + 6 \cdot 1 = 18,$$

$$\text{Anzahl der Down-Quarks} = 6 \cdot 1 + 6 \cdot 2 = 18.$$

c.)

Nun wird es experimentell. Öffnet `Girlsday 2009\Synchrotron\Synchrotron.html` und spielt mit den Einstellungen. Schafft ihr es, das Teilchen zu beschleunigen? Was beobachtet ihr?



Lösung: Bei SynchrotronFT.html („FT“ steht für „fixed target“ (englisch: festes Ziel)) wird das Teilchen beschleunigt und trifft auf ein festes Ziel. Dabei werden viele neue Teilchen erzeugt, was man an den Teilchenspuren im Detektor (Nachweisgerät) erkennen kann. Bei SynchrotronCB.html („CB“ steht für „colliding beams“ (englisch: zusammenstoßende Strahlen)) werden zwei Teilchen in entgegengesetzte Richtungen beschleunigt und zum Zusammenstoß gebracht, wodurch viele neue Teilchen entstehen. Dies erkennt man auch hier an den Teilchenspuren.

d.)

Öffnet nun `Girlsday 2009\LHC-Simulation\LHC-Simulation.html` und schaut euch die Simulation an. Was passiert hier?

Zwei Teilchen werden im Vorbeschleuniger beschleunigt und in entgegengesetzte Richtungen in den Ring eingespeist, wo sie noch weiter beschleunigt werden und irgendwann zusammenstoßen. Die Kamera fährt dann in den Detektor (Nachweisgerät), wo die Einzelheiten des Zusammenstoßes betrachtet werden können. Es entstehen viele neue Teilchen, erkennbar an den Teilchenspuren.

e.)

Startet das LHC-Spiel unter `Girlsday 2009\LHC-Spiel\LHC-Spiel.html`. Schafft ihr es, den Large Hadron Collider (LHC) zum Laufen zu bringen?

Hierzu hab ich keine Lösung, spielt einfach das Spiel ;-)

# Hilfsmaterial I:

## Dichten verschiedener Elemente in g/cm<sup>3</sup>







$\rho$	Element		$Z$	$\rho$	Element		$Z$	$\rho$	Element		$Z$
0,09	Wasserstoff	H	1	5,32	Germanium	Ge	32	9,30	Polonium	Po	84
0,18	Helium	He	2	5,50	Radium	Ra	88	9,32	Thulium	Tm	69
0,53	Lithium	Li	3	5,72	Arsen	As	33	9,73	Radon	Rn	86
0,86	Kalium	K	19	5,90	Xenon	Xe	54	9,75	Wismut	Bi	83
0,90	Neon	Ne	10	5,91	Gallium	Ga	31	9,84	Lutetium	Lu	71
0,97	Natrium	Na	11	6,11	Vanadium	V	23	10,07	Aktinium	Ac	89
1,25	Stickstoff	N	7	6,15	Lanthan	La	57	10,22	Molybdän	Mo	42
1,43	Sauerstoff	O	8	6,24	Tellur	Te	52	10,50	Silber	Ag	47
1,55	Kalzium	Ca	20	6,51	Zirkonium	Zr	40	11,35	Blei	Pb	82
1,63	Rubidium	Rb	37	6,68	Antimon	Sb	51	11,50	Technetium	Tc	43
1,70	Fluor	F	9	6,77	Cer	Ce	58	11,72	Thorium	Th	90
1,74	Magnesium	Mg	12	6,77	Praseodym	Pr	59	11,85	Thallium	Tl	81
1,78	Argon	Ar	18	6,90	Ytterbium	Yb	70	12,02	Palladium	Pd	46
1,82	Phosphor	P	15	7,01	Neodym	Nd	60	12,37	Ruthenium	Ru	44
1,85	Beryllium	Be	4	7,13	Zink	Zn	30	12,41	Rhodium	Rh	45
1,87	Cäsium	Cs	55	7,19	Chrom	Cr	24	13,31	Hafnium	Hf	72
2,07	Schwefel	S	16	7,30	Promethium	Pm	61	13,50	Curium	Cm	96
2,26	Kohlenstoff	C	6	7,31	Indium	In	49	13,55	Quecksilber	Hg	80
2,33	Silizium	Si	14	7,31	Zinn	Sn	50	13,67	Amerikium	Am	95
2,34	Bor	B	5	7,43	Mangan	Mn	25	14,78	Berkelium	Bk	97
2,54	Strontium	Sr	38	7,52	Samarium	Sm	62	15,10	Kalifornium	Cf	98
2,70	Aluminum	Al	13	7,87	Eisen	Fe	26	15,40	Protactinium	Pa	91
3,00	Scandium	Sc	21	7,90	Gadolinium	Gd	64	16,65	Tantal	Ta	73
3,12	Brom	Br	35	8,23	Terbium	Tb	65	18,95	Uran	U	92
3,21	Chlor	Cl	17	8,55	Dysprosium	Dy	66	19,32	Gold	Au	79
3,59	Barium	Ba	56	8,57	Nobium	Nb	41	19,35	Wolfram	W	74
3,75	Krypton	Kr	36	8,65	Kadmium	Cd	48	19,84	Plutonium	Pu	94
4,47	Yttrium	Y	39	8,80	Holmium	Ho	67	20,20	Neptunium	Np	93
4,54	Titan	Ti	22	8,90	Kobalt	Co	27	21,04	Rhenium	Re	75
4,79	Selen	Se	34	8,90	Nickel	Ni	28	21,45	Platin	Pt	78
4,93	Jod	I	53	8,96	Kupfer	Cu	29	22,40	Iridium	Ir	77
5,24	Europium	Eu	63	9,07	Erbium	Er	68	22,60	Osmium	Os	76

# Hilfsmaterial II: Das Standardmodell der Elementarteilchen

## Materieteilchen ...







### ... welche die starke Wechselwirkung spüren

Diese Teilchen nennt man Quarks und es gibt davon sechs verschiedene, nämlich das Up-, Down-, Charm-, Strange-, Top- und Bottom-Quark. Weil Physiker faul sind, werden diese mit ihren Anfangsbuchstaben abgekürzt und man nennt sie dann: u-, d-, c-, s-, t- und b-Quark. Jeweils zwei dieser sechs Quarks fasst man zu einem Paar zusammen und es gibt dann insgesamt drei solcher Paare. Diese Paare bezeichnet man auch als Generationen.

Quarks			
1. Generation			
Up		Down	
Proton enthält zwei, Neutron eines Ladung 2/3 gehören zu den leichten Quarks Stabile Materie besteht nur aus diesen beiden Quarktypen.		Proton enthält eines, Neutron zwei Ladung -1/3	
2. Generation			
Charm		Strange	
1970 vorhergesagt, 1974 entdeckt gehört bereits zu den schweren Quarks		1964 entdeckt gehört noch zu den leichten Quarks	
3. Generation			
Top		Bottom	
sehr schwer (Größenordnung eines Goldatoms) zerfällt sehr schnell gehören zu den schweren Quarks		wichtig zum Verständnis der elektromagnetischen und schwachen Kraft	

### ... welche die starke Wechselwirkung nicht spüren

Solche Teilchen bezeichnet man als Leptonen. Es gibt davon sechs verschiedene: Elektron, Myon, Tauon und die zugehörigen Neutrinos, also das Elektronneutrino, Myonneutrino und Tauneutrino. Wieder sind Physiker faul und kürzen das Elektron mit e, das Myon mit dem griechischen Buchstaben  $\mu$  (ausgesprochen: Mü) und das Tauon mit dem griechischen Buchstaben  $\tau$  (ausgesprochen: Tau) ab. Für das Elektron-, Myon- und Tauneutrino schreibt man  $\nu_e$  (Nü-E),  $\nu_\mu$  (Nü-Mü) und  $\nu_\tau$  (Nü-Tau). Auch hier fasst man jeweils zwei der Teilchen zu einem Paar zusammen, wodurch es insgesamt drei Paare oder auch Generationen gibt (wie bei den Quarks).

Leptonen			
1. Generation			
Elektron		Elektronneutrino	
Elektrizität und chemische Reaktionen Ladung -1		keine elektrische Ladung sehr kleine Masse	
2. Generation			
Myon		Myonneutrino	
verhält sich ähnlich wie Elektron Lebensdauer: $10^{-6}$ s		zusammen mit Myonen erzeugt keine elektrische Ladung	
3. Generation			
Tauon		Myonneutrino	
sehr schwer und instabil		keine elektrische Ladung	

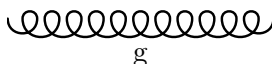
# Hilfsmaterial III:

## Das Standardmodell der Elementarteilchen

### Kraftteilchen

- Starke Wechselwirkung:

Die starke Wechselwirkung ist die Kraft, welche die Quarks beispielsweise in Protonen und Neutronen zusammenhalten. Ebenso die Kernkräfte, welche dafür sorgen, dass die Protonen und Neutronen innerhalb des Atomkerns zusammenbleiben, haben etwas mit der starken Kraft zu tun. Die Teilchen, welche die Starke Wechselwirkung übertragen, heißen Gluonen. Symbolisch werden sie als Schraubenlinie dargestellt und mit einem  $g$  abgekürzt:



Die Reichweite der starken Wechselwirkung ist sehr gering; außerhalb des Atomkerns ist sie nicht mehr spürbar.

- Elektromagnetische Wechselwirkung:

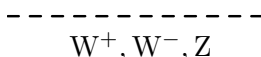
Die elektromagnetische Kraft wirkt zwischen elektrisch geladenen Teilchen. Sie ist beispielsweise dafür verantwortlich, dass sich Nord- und Südpol zweier Magnete gegenseitig anziehen. Die Übertragerteilchen der elektromagnetischen Kraft heißen Photonen und werden als Wellenlinie gezeichnet und mit dem griechischen Buchstaben  $\gamma$  (Gamma) abgekürzt:



Die elektromagnetische Kraft reicht unendlich weit.

- Schwache Wechselwirkung:

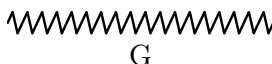
Symbolisch werden Weakonen auch oft als Wellenlinie dargestellt. Wegen der Verwechslungsgefahr mit Photonen ( $\gamma$ ) wollen wir jedoch gestrichelte Linien benutzen.



Die Übertragerteilchen der schwachen Kraft sind sehr schwer und zerfallen schnell, wodurch sich die kurze Reichweite der schwachen Kraft erklären lässt. Es gibt übrigens drei verschiedene Übertragerteilchen der schwachen Kraft: das  $W^+$ ,  $W^-$  und  $Z$ -Teilchen (W-Plus, W-Minus und Z). Oft fassen Physiker die beiden Teilchen  $W^+$  und  $W^-$  zu einem einzigen zusammen, nämlich  $W^\pm$  (W-Plus-Minus), um noch weniger schreiben zu müssen :-)

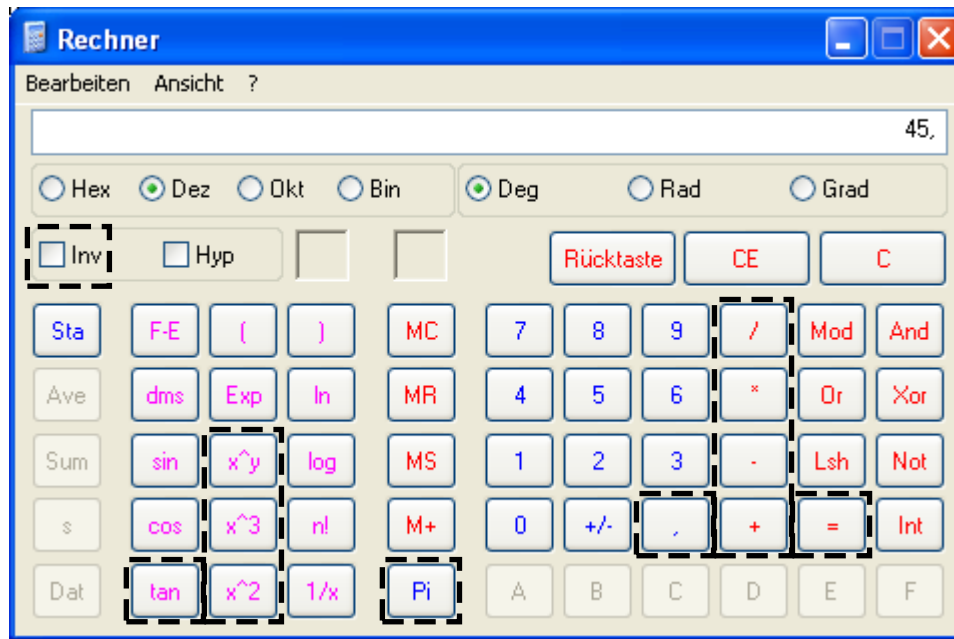
- Schwerkraft (Gravitation):

Die Schwerkraft wirkt zwischen allen Teilchen, welche eine Masse haben und wird von Gravitonen übertragen, die wir als Zick-Zack-Linie darstellen wollen:



Die Schwerkraft ist schwach, wirkt jedoch unendlich weit und ist somit in der Sternenkunde (Astronomie) sehr wichtig. Das Graviton soll mit  $G$  abgekürzt werden; es gehört jedoch nicht zum Standardmodell der Elementarteilchen.

# Hilfsmaterial IV: Die wichtigsten Funktionen des Windows-Taschenrechners



- Grundrechenarten: „Plus“ mit +, „Minus“ mit -, „Mal“ mit \* und „Geteilt“ mit /  
Also beispielsweise 3 geteilt durch 5 mit der Tastenfolge  $3 \oplus / \oplus 5 \oplus =$ . (Das Zeichen  $\oplus$  bedeutet, dass ihr nacheinander, die angegebenen Tasten drücken müsst.)
- Ihr werdet ein paar mal die Taste Pi benötigen. Diese gibt auch Knopfdruck die Kreiszahl  $\pi \approx 3,14$  an.
- Die Taste , benötigt ihr zur Eingabe von Kommazahlen.  
Beispiel: 7,98 erreicht ihr durch Eingabe von  $7 \oplus , \oplus 8$ .
- Potenzen: mit der Taste  $x^y$ .  
Beispiel: Das Ergebnis für  $2^3 = 8$  erhaltet ihr durch Drücken der Tastenfolge  $2 \oplus x^y \oplus 3 \oplus =$ .
- Quadratwurzel und Kubikwurzel (mehr benötigt ihr nicht): Dazu müsst ihr ein Kreuzchen im Feld Inv setzen. Für die Quadratwurzel ist die Taste  $x^2$  und für die Kubikwurzel die Taste  $x^3$  zu drücken.  
Beispiel: Um  $\sqrt{3}$  zu berechnen, müsst ihr zuerst ein Kreuzchen bei Inv setzen. Danach ist die Tastenfolge  $3 \oplus x^2$  zu drücken und ihr erhaltet sofort das Ergebnis.  
Beispiel: Um  $\sqrt[3]{2}$  zu berechnen, setzt erneut ein Kreuzchen bei Inv. Danach drückt ihr die Tastenfolge  $2 \oplus x^3$ .
- Arkustangens (das ist auch schon das komplizierteste): Setzt ein Kreuzchen bei Inv und drückt die Taste **tan**. Als Ergebnis erhaltet ihr einen Winkel in Grad.  
Beispiel: Ihr wollt den Arkustangens von 1 berechnen. Setzt dazu wieder ein Kreuzchen bei Inv und drückt dann die Tastenfolge  $1 \oplus \text{tan}$ . Als Ergebnis solltet ihr  $45^\circ$  erhalten!

Mehr werdet ihr sicher nicht brauchen!

# Hilfsmaterial V: Nützliche Verknüpfungen

Hier geben wir euch noch einige Internetlinks an, auf denen ihr zu Hause nochmal alles ausprobieren könnt (und zusätzliches :-)

- Die Größenordnungen von  $10^{-15}/10^{-16}$  bis  $10^{26}$  in Bildern:  
<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/P10/german/P-14.html>  
<http://csaweb.yonsei.ac.kr/~rhee/2000/universe/10+25.html> (englisch)
- Eine Tour durch die Facetten der Teilchenphysik (englisch):  
<http://csaweb.yonsei.ac.kr/~rhee/2000/universe/10+25.html>
- Was passiert beim Large Hadron Collider (englisch)  
[http://hands-on-cern.physto.se/ani/acc\\_lhc\\_atlas/lhc\\_atlas.swf](http://hands-on-cern.physto.se/ani/acc_lhc_atlas/lhc_atlas.swf)
- Hierbei handelt es sich um ein lustiges Jump'n'Run, bei dem ihr als Doktorandin physikalische Veröffentlichungen suchen müsst, die eurer Professor verschlampt hat. Werdet ihr es in der vorgegebenen Zeit schaffen, alle Texte wiederzufinden?  
<http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/kworkquark/de/forschungsauftrag/1/index.html>
- Hier gibt es viele Videos, Animationen und auch ein paar der Spiele, die wir euch gezeigt haben (englisch):  
<http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/media.html>  
<http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/PP.html>
- Zur Rutherford-Streuung:  
<http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/chemie/material/unter/atomb/atomb2.html>  
<http://www.pk-applets.de/phy/rutherford/rutherford.html>
- Sonstige Applets aus Mathematik und Physik:  
<http://www.pk-applets.de>