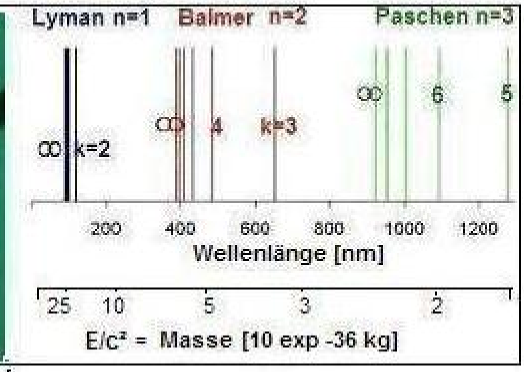
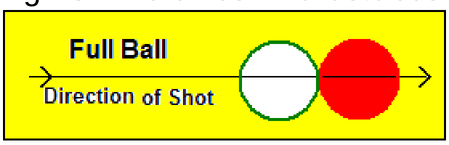


Fragen und Antworten zu dem Vortrag „Fünf Überraschungen …“, wo es um die Ableitung der Formel von Rydberg aus dem Energiesatz und dem Impulssatz des Billardstoßes geht

FAQ 1: In der angelsächsischen Physik-Literatur trifft man neuerdings öfter den Begriff „billiard as a dynamical system“. Ist das vorliegende Konzept des Billardstoßes hier mit einzuordnen?
Nein, der Billardstoß ist eine einzige (zentrale, elastische) Zweiteilchenwechselwirkung, wobei eine Kugel anfangs ruht. Die besagte Methode aus der Literatur besteht im Grunde aus einer einzigen Kugel, die eine große Anzahl an Reflexionen an der „Bande“ eines beliebig geformten Billardtisches oder einer mehrdimensionalen Begrenzung erfährt. So spricht man auch z.B. anstelle von “Excitation spectrum of Andreev billiards”besser von“Andreev reflection”.

Fig.: Skizze eines Billardstoßes.



Billardstab: langer, sich verjüngender Stab.
Spielkugel: Die Kugel, die der Spieler mit dem Billardstab anstößt.
Objektkugel: Die Kugel, die von der Spielkugel geschlagen wird.
Siehe auch Fig. 1 im Beitrag (DPG-Vortrag, auf den sich die FAQ´s beziehen)
.

FAQ 2: Die Nachbildung eines Emissions- oder Absorptionsspektrum mit einer mechanischen Zweiteilchenwechselwirkung setzt ein ruhendes Teilchen voraus. Wenn von Ruhe die Rede ist und wenn ungleiche Massen vorliegen, spielt doch das Bezugsystem eine Rolle?
Es wird das Laborsystem und nicht das Schwerpunktsystem verwendet. Natürlich erfordert die relativistische wie auch die klassische Mechanik eine Festlegung, ob die die kleine oder die große Masse anfangs ruht. Er wird hier vorzugsweise der letztere Fall angenommen, aber es funktionieren beide Fälle.

Es interessiert die Energie der in Bewegung gebrachten Masse, die zu der Anfangsenergie ins Verhältnis gesetzt wird. Diese Relativzahl ist unabhängig davon, welche der beiden Masse m oder M im Laborsystem ruht.

FAQ 3: Eine fundamentale Annahme ist der gerade Stoß. Wer garantiert denn, dass der Stoß auf einer Geraden stattfindet. Ist dies nicht ein unwahrscheinlicher, äußerst selten zutreffender Fall?

Im Prinzip ja, aber es kommt auch noch der unelastische Stoß in Betracht. Beim elastischen Stoß mit **v** als Startgeschwindigkeit ergeben die Massen je nach Ruhezustand folgende Startenergien: einmal **$\frac{1}{2}mv^2$** und einmal **$\frac{1}{2}Mv^2$**. Bildet man die Summe der als Bezugsgrößen verwendeten Energien, dann erscheint der Ausdruck **$1/m+1/M$**. Dieser Vergleich weist formal auf den unelastischen Stoß hin, denn hier tritt dieser Ausdruck auch auf, und zwar bei der Verlustenergie als reduzierte Masse in reziproker Form. Tatsächlich kann das Emissions- oder Absorptionsspektrum auch mit dem unelastischen Stoß zweier Kugeln nachgebildet werden, wenn eine Kugel ruht. Um allen diesen Möglichkeiten, die im Atom nebeneinander verlaufen könnten, gerecht zu werden, ist eine Stoßgerade erforderlich, siehe auch FAQ 8.

Man darf in diesem Zusammenhang weiter fragen, warum es beim Billard viel leichter erscheint, eine ruhende Kugel in Bewegung zu versetzen als umgekehrt eine rollende Kugel durch einen elastischen Stoß zur Ruhe zu bringen? Scheinbar ist das erste extrem einfach und das zweite extrem schwierig, aber tatsächlich sind beide Fälle gleich einfach oder gleich schwierig. Das Problem bei den beiden Kugelmassen **m** und **M** besteht darin, die erwünschten Geschwindigkeiten vor und nach dem Stoß zu erreichen. Die natürliche Relation bei ruhender Kugel lautet **$k=\frac{1}{2}(M+m)$**. Je nach der angestrebten Endgeschwindigkeit beider Kugeln muss die Maximalgeschwindigkeit k vorgegeben werden. Um anderseits eine mit **(k-n)** bewegte Kugel **M** schlagartig zum Stillstand zu bringen, bedarf es einer Gegenbewegung **(-n)** der Kugel **m**. Hier müssen also zwei Geschwindigkeiten vorgegeben werden. Das ist die ganze Kunst.

FAQ 4: Das Thema „Billardstoß und Elektronenübergang“ setzt anfangs eine bewegte und eine ruhende Kugel voraus. Wie ist die Zuordnung der Kugeln im atomaren Geschehen?

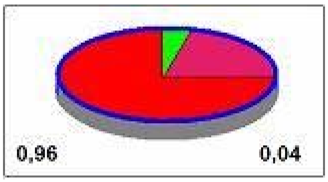


Fig.: Anregung in zwei Stufen, einmal mit 75% Fremdenergie und einmal mit 21 % Fremdenergie, beide rot gezeichnet. Der Zustand ohne Anregung ergibt einen Kreis mit 100% grün, er wird geschälert einmal auf 25% und einmal auf 4%. Siehe auch Fig. 7 im Beitrag (DPG-Vortrag,auf den sich die FAQ´s beziehen)

.

FAQ 5: Können zwei Quasi-Partikel, die Teile einer angeregten Atombindung sind, einen mechanischen Stoß vollziehen?

Zunächst einmal gibt es keine Bindung an sich, sondern es gehören wenigsten zweier Partner dazu. Wie das Wort Quasi-Partikel schon andeutet, handelt es sich um einen relativistischen Effekt. Die regulären Bindungspartner sind aber nicht gemeint, sondern es geht um eine angeregte Bindung, genauer gesagt um einen Stoß zwischen der reduzierten Masse der Bindungspartner und einem Lichtteilchen. Zunächst einmal kann man sich grob einen Balken vorstellen. Das obige Kreisdiagramm wird hierzu durch ein Balkendiagramm ersetzt. Der Balken verkörpert die ursprüngliche Bindungsenergie, und bei Anregung kommt es zum teilweisen Austausch bzw. Ersatz durch Fremd-Energie. Dies wird bewirkt durch das Photon, das wie ein masseloser Virus oder Katalysator einen Teil der Bindungsenergie in Fremd-Energie umwandelt. Man kann auch von chemischen Begriffen wie Neutralisation oder Disproportionierung sprechen. Der grüne Balken und der rote Balken verkörpern die Kugeln, die den Billardstoß realisieren. Die rote oder lila Kugel, die das Photon repräsentiert, ist anfangs in Ruhe (bei Emission) oder kommt zur Ruhe (bei Absorption). Nur sehr wenige Fälle genügen dieser Ruhebedingung.

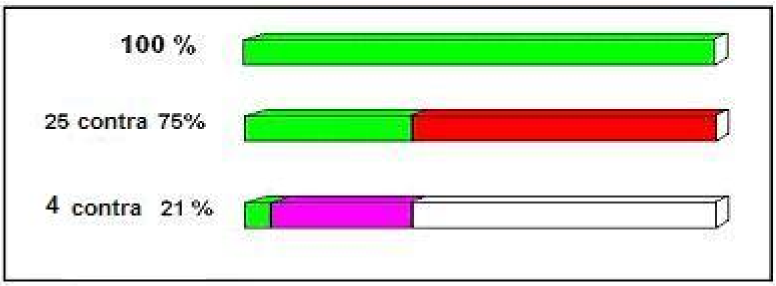


Fig.: Der Grundzustand ergibt einen Balken, 100% grün gezeichnet. Die Anregung in zwei Stufen, einmal mit 75% Fremdenergie und einmal mit 21 % Fremdenergie, ist rot oder lila gezeichnet. Mit den Massen 1 zu 3 stößt der grüne Balken auf den roten. Der Anteil der Fremd-Energie beträgt ¾, siehe Lyman α Linie. Im unteren Fall beträgt er 21:25. Da aber auf die gesamte Bindung bezogen wird, ergibt sich 0,21, siehe Balmer γ Linie.

Es handelt sich hier um eine Bilanzdarstellung, die davon absieht, dass ein hoch angeregtes Atom effektiv kaum noch Bindungsenergie besitzt.

FAQ 6: Tritt das Lichtteilchen mit Lichtgeschwindigkeit in dem Stoßmodell direkt in Erscheinung?

Nein, das Photon wird nur indirekt abgebildet. Energie und Impuls stimmen zwar exakt mit den Werten des Photons überein, aber die Vorstellung eines ruhenden Photons widerspricht natürlich der Physik. Die fiktive Masse, die aus der Photonenenergie gemäß $E=mc^2$ berechnet werden kann, wird anfangs durch ganze Quantenzahlen wie beispielsweise n=1, k=2 oder deren Kombinationen m=k-n, M=k+n ersetzt. Die obige Lyman α Linie wird durch die Massen m=1 für Eigen-Energie und M=3 für Fremd-Energie berechnet.

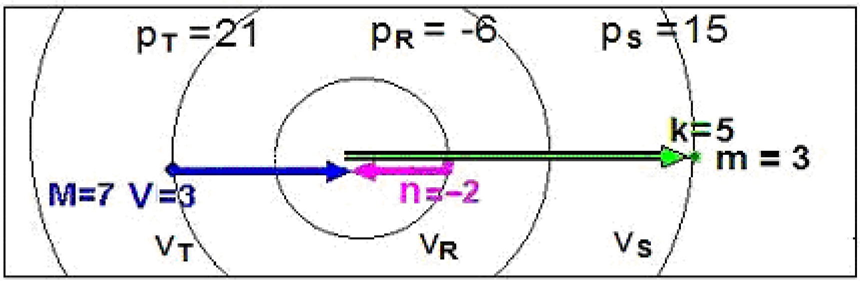
FAQ 7: Treten die Bindungspartner des Atoms, also beispielsweise Proton als Kern und Elektron als Hülle, in dem Stoßmodell direkt in Erscheinung?

Nein, in erster Linie d.h. zur Berechnung des Wertes ¾ für die Lyman α Linie werden Proton und Elektron nicht gebraucht. Erst wenn es um den Energiewert (oder das Massenäquivalent 1,81810 exp -35 kg) geht, dann ist die reduzierte Masse nötig, also der Kehrwert von 1/Proton+1/Elektron. Stillschweigend wird vorausgesetzt, dass die Bindungspartner des Atoms Kernladungen unterschiedlichen Vorzeichens besitzen, die für die Bindung verantwortlich sind. Die Kernladungszahl Z ist normalerweise 1. Sie kann aber z.B. bei wasserstoffähnlichen Atomen, die auch nur eine Bindung aufweisen, je nach der Ordnungszahl des Atoms hohe Werte annehmen. Das trifft auch auf He-like Atome zu, die zwei Atombindungen besitzen.

FAQ 8: Wie könnte man sich einen mechanischen Stoß zweier Kugeln ohne Raum und Zeit vorstellen? Besser gefragt: Können die Zustände vor dem Stoß und nach dem Stoß nebeneinander (gleichzeitig) bestehen?

In der Mechanik ist dies nicht vorstellbar, aber die Atomistik bietet wahrscheinlich Möglichkeiten einer Stoßinterpretation ohne Raum, Zeit, Kraft und Beschleunigung. In der Impulswelt liegen wegen der Impulserhaltung die Zustände vor und nach dem Stoß (gleichzeitig) nebeneinander vor. Man denke an eine Präformation der Bindung. Wie schon bei FAQ 5 ausgeführt, genügt eine angedeutete Teilung einer Bindung den Anforderungen eines „aktivierten Komplexes“ oder eines „eingefrorenen“ oder eines „erstarrten“ Stoßes, siehe [kunz-consult.com/23html] Seite 10 hier klicken. Es existiert zwar der Pfeil vom Vorher zum Nachher, aber der Übergang findet (noch) nicht statt.

.



Siehe auch Fig. 10 im Beitrag (DPG-Vortrag, auf den sich die FAQ´s beziehen):
Einordnung des Kugelstoßes in das Schalenmodell des Atoms am Beispiel k=5 n=2, Balmer γ Linie.
Bedeutung der Indizes: T= Target, R= quasi Reflexion, S= Start

Die Pfeile in der angegebenen Richtung deuten darauf hin, dass sich im vorliegenden Fall eine Absorption anbahnt, bei der ein Photon zur Ruhe gebracht werden soll und ein angeregter Zustand k=5 entstehen soll. Die nicht gezeichnete ruhende Kugel mit Masse M=7 soll im Kreismittelpunkt dieser Impulswelt landen bzw. liegen. Diese Masse M als Verkörperung des internen Photons hat vorher die Geschwindigkeit V=3 und soll nach dem Stoß Nullgeschwindigkeit anstatt Vakuum-Lichtgeschwindigkeit besitzen. Die Impuls- und Energiegleichung lauten:

$$\boxed{\begin{array}{c} 3\cdot(-2) + 7\cdot(+3) = 3\cdot(+5) + 7\cdot(0) \\ \tfrac{1}{2}\cdot 3\cdot(-2)^2 + \tfrac{1}{2}\cdot 7\cdot(+3)^2 = \tfrac{1}{2}\cdot 3\cdot(+5)^2 + \tfrac{1}{2}\cdot 7\cdot(0)^2 \end{array}}$$

Es gibt zur obigen Abbildung und zu den Erhaltungsgleichungen mehrere Darstellungen z.B. mit Oszillationen und Rotationen. Aber man orientiere sich in der Atomistik am besten an dem religiösen Bilderstreit: "Du sollst dir kein Bild machen (2 Mose 20, 1-4)". Möglicherweise liegen viele derartige Präformationen der Bindung im Atom ohne Mitwirkung des Lichts vor, und ein zufällig vorbeikommendes passendes Photon entscheidet, welcher reale Stoß als Absorption abläuft. Man denke an das Wachstum eines Blattes in die Natur, das bereits geplant und präformiert ist, ohne dass Anzeichen von einem Blatt erkennbar sind. Diese Interpretation des atomaren Billardstoßes erklärt auch, weshalb elastischer und unelastischer Stoß nebeneinander existieren können. Diese Präformationen könnten und müssten also ohne Mitwirkung von Photonen entstehen und im Atom als eine Sammlung von Stoßkonzepten vorliegen. Diese Interpretation würde auch verdeutlichen, weshalb die Richtung des Stoßes zunächst ziemlich unbedeutend ist, weil eine Bewegung von Punkten im Raum noch nicht stattfindet, siehe These 44 in [kunz-consult.com/5html]. hier klicken

FAQ 9: Kann man Schülern eine Präformationsvorstellung zumuten?

Ein Stoß ohne Raum und Zeit ist zwar Fortgeschrittenen zuzumuten, aber für Schüler sind reale Kugeln mit der Begriffswelt von Newton besser geeignet. Es ist bereits problematisch, eine Impulslänge in einen Impulsraum einzuordnen, der kein wirklicher Raum ist. Newton bezeichnete den Impuls als selbständige Einheit, als Bewegungsgröße, während viele Physiker im Impuls neben der Masse nur die Geschwindigkeit, also Raum und Zeit sehen. Eine weitere Schülerangelegenheit ist das Problem des Lichtteilchens. Wie bereits in FAQ 6 ausgeführt, ist klarzustellen, dass nicht das Lichtteilchen selbst, sondern ein Stellvertreter als direkter Stoßpartner dient. Dieser Stellvertreter entspricht hinsichtlich Energie und Impuls genau dem Photon, ohne allerdings Lichtgeschwindigkeit c zu besitzen. Hingewiesen sei allerdings noch auf die Verringerung von c mit Zunahme der Brechzahl, und dies könnte auf der eindimensionalen Stoßgeraden eine Entsprechung finden. Aus Sicht der Schüler ist vorteilhaft, dass die Lichtenergie direkt aus dem Kugelstoß hervorgeht, im Gegensatz zur Quantentheorie, wo erst Terme berechnet und eine Termdifferenz ermittelt werden muss. Auch die Vorstellung, dass das Lichtteilchen zur Ruhe kommen muss, ist einleuchtend und schultauglich und wird von mehreren Autoren vertreten.

.

FAQ 10: Beim Übergang von der Mechanik zur Atomistik kommt es nicht zu einer Bereicherung, sondern zu einer Verarmung von Eigenschaften. Wie äußert sich diese Eigenschaftsverarmung bei Weg und Zeit?

Der Kugelstoß in der besonderen Form des Billardstoßes beruht auf Gesetzen, die auch in der Atomistik gelten, wenn man sich auf die Stoßdynamik konzentriert. Die Kinematik des Stoßes, wo man die Begriffe Weg und Zeit benutzt, ist offenbar nicht für die Atomistik geeignet. Wir benutzen den Begriff „Eigenschaftsverarmung“, wobei Verarmung die Adjektive „nicht reichhaltig, unentwickelt, noch nicht entfaltet“ bezeichnet, siehe These 89 in [kunz-consult.com/5html] hier klicken. So ist z.B. die Feinstrukturkonstante α eine verarmte Form von Ladungsquadrat und Planckscher Konstante $\hbar$ ist, siehe Regensburg 2007Abschnitt 10 Seite 13 [kunz-consult.com/23html] hier klicken.
Auch die Geschwindigkeit v ist eine verarmte Form von Weg (s wie spatum) und Zeit (t wie tempora), nämlich $v=s/t$. Bringt man allerdings Energie e und Impuls p ins Spiel und bildet das folgende Verhältnis $e/p= ½\ v= ½\ s/t$, dann kann man damit etwas sehr Gewagtes tun, nämlich eine Trennung der

Verhältnisgleichung in zwei separate Gleichungen: e· t=½ p· s → 2e=h/t und p=h/s, wobei h zunächst ein unbekannter Faktor ist, der allerdings nicht dimensionslos gleich 1 gesetzt werden darf.

.

FAQ 11: Ist eine Trennung einer Verhältnisgleichung in zwei separate Gleichungen konkret beim Stoß möglich?

Der soeben behandelten Fall e. t=h=½ p. s führt sofort zu vernünftigen separaten Gleichung, wenn man statt h als unbekannten Faktor die Plancksche Konstante $\hbar$ einführt. Man gelangt in die Nähe der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation, wo es bei Unterschreitung des Gleichheitsfalles zu unscharfen Observablen innerhalb des Produktes e. t und p. s kommt.

Sind bei der dynamischen Stoßgleichung Impuls und Energie hinsichtlich v und m ebenfalls verarmt? Wie äußert sich diese Eigenschaftsverarmung bei Masse und Geschwindigkeit im Impulsbegriff? In Fig. 2 stellt die Beziehung (7) eine Verhältnisgleichung dar, die ebenfalls mittels eines Faktors f in zwei separate Gleichungen (8) umgewandelt wird. Dass dieser Faktor in (9) gleich eins gesetzt wird, führt zum Unverständnis der Physiker und Mathematiker. Die Situation wird noch verschärft, wenn man (wie zu Beginn der Seite 4) als Postulat fordert, dass „die folgenden Zahlenwerte gleich sein sollen: $m_S=v_T$“. Die physikalischen Maßeinheiten jeder Wahl lassen sich nicht gleichsetzen, höchstens mit einem zwischengeschalteten Faktor f=1[kg. s/m], der allerdings nicht befriedigt.

$$M/m = (\vec{v}_S - \vec{v}_R)/(\vec{v}_S + \vec{v}_R) \tag{5}$$

$$k = |v_S| \qquad n = -|v_R| \tag{6}$$

$$M/m = (k+n)/(k-n) \tag{7}$$

$$M = f\cdot(k+n) \qquad m = f\cdot(k-n) \tag{8}$$

$$M = (k+n) \qquad m = (k-n) \qquad \mathbf{f=1}\ [\mathrm{kg}] \tag{9}$$

$$v_S = g\cdot(k) \qquad v_R = g\cdot(\pm n) \qquad v_T = g\cdot(k \pm n) \tag{10a}$$

$$v_S = k \qquad v_R = \pm n \qquad v_T = k \pm n \qquad \mathbf{g=1}\ [\mathrm{m/s}] \tag{10}$$

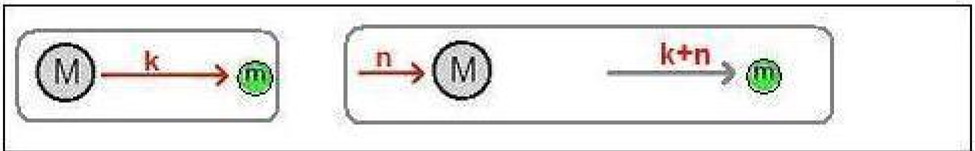
Auszug aus Fig. 2, wo eine gewagte Trennung einer Verhältnisgleichung (7) in zwei separate Gleichungen (9) vorgenommen wird.

Bei (10) und (10a) ist ein Hinweis insofern nötig, als die Vorzeichen k±n gegenläufig eingesetzt werden. Es geht um die beiden Fälle, ob M oder m anfangs ruhen.

FAQ 12: Welche Lösungswege zeichnen sich bei der heiklen Frage um den Faktor f=1 ab?

Eine überzeugende Antwort schien zunächst hoffnungslos, deshalb wurde in Fig. 4 bei der induktiven Herleitung der Rydberg-Formel einmal vom Gesetz der Erhaltung der Geschwindigkeiten ausgegangen und zweitens dazu die umstrittene Form Masse=k±n benutzt. Impulssatz (14) und Energiesatz (15) folgen daraus zwanglos als abgeleitete Größen. Die Abrisskante in Fig. 4 deutet auf eine Auslassung hin, die zum besseren Verständnis noch nachgereicht wird.

In Fig. 4 wird im Grunde die Rydbergformel nicht aus dem Energie- und Impulserhaltungssatz direkt abgeleitet, sondern aus dem Geschwindigkeitserhaltungssatz und der Massenrelation M, m=k±n. Umgekehrt kann die erwähnte bemerkenswerte Ableitung des Energiesatzes nur im Kontext des verwendeten idealisierten Billardstoßes erfolgen.



$k \quad +0$	=	$-n$	+	$(k+n)$	(1)
$k \quad +0$	=	n	+	$(k-n)$	(2)
$(k+n)\cdot k$	=	$(k+n)\cdot(n)$	+	$(k+n)\cdot(k-n)$	(3)
$\{k+n\}\cdot k$	=	$\{k+n\}\cdot(n)$	+	$[k-n]\cdot(k+n)$	(4)
$\frac{1}{2}\cdot\{k+n\}\cdot k^2$	=	$\frac{1}{2}\cdot\{k+n\}\cdot(n)^2$	+	$\frac{1}{2}\cdot[k-n]\cdot(k+n)^2$	(5)
1	=	n^2/k^2	+	$(k-n)\cdot(k+n)/k^2$	(6)
$1/n^2$	=	$1/k^2$	+	$(k-n)(k+n)/(n\cdot k)^2$	(7)
$1/n^2 - 1/k^2$	=	$m_{red}/((n\cdot 2)^2(k\cdot 2))\cdot 16 = m_{red}\cdot 2/(n^2\cdot k)$			(8)
$1/n^2 - 1/k^2$	=	$\overline{\nu}_{n,k}/R_H$			(9)

Die geschwungenen Klammern in lila { } bezeichnen m_S , die große Kugel M
Die eckigen Klammern in gelb [ ] bezeichnen m_T
Die unterstrichenen Klammern in türkis ( ) bezeichnen v_T
R_H=Rydberg-Konstante $m_{red}=1/\,(1/M+1/m)$ $\overline{\nu}_{n,k}$ = Wellenzahl

Siehe Fig. 4 im Beitrag (DPG-Vortrag,auf den sich die FAQ´s beziehen)

mathematische Umformung

$$(5-2)*5 = (5-2)*(-2) + (5-2)*(5+2)$$

$$(5-2)^2*5^2= [(5-2)*(-2) + (5-2)*(5+2)]^2$$

$$(5-2)^2*5^2=(5-2)^2(-2)^2 + 2*(5-2)*(-2) *(5-2)*(5+2) +(5-2)^2*(5+2)^2$$

$$(5-2)*5^2 = (5-2)*(-2)^2 + (5-2)* 2*(-2) *(5+2) + (5-2)* (5+2)^2$$

$$(5-2)* 5^2 = (5-2)* (-2)^2 + (5-2)* [2*(-2) + (5+2)] *(5+2)$$

$$(5-2)* 5^2 = (5-2)* (-2)^2 + (5-2)* [(5-2)] *(5+2)$$

$$½*(5-2)* 5^2 = ½* (5-2)* (-2)^2 + ½* (5+2)*(5-2)^2$$

Ergänzung zur Fig. 4, wobei die Abrisskante mit Zahlenbeispiel gefüllt wird. Man erkennt, wie eine mathematische Umformung genügt, um vom Impulssatz zum Energiesatz zu gelangen. Die Ausdrücke mit einem Minuszeichen dürfen allerdings nicht ausmultipliziert werden. Impulssatz und Energiesatz sind für diesen Stoßtyp abgeleitete Größen. Die gliedweise quadrierten Geschwindigkeiten sind die Überraschung dieser Operation

.

FAQ 13: Welche anderen Bestimmungsgleichungen gibt es noch für den Billardstoß?

Bei der Lösungssuche zur heiklen Frage um den Faktor f=1 werden weitere Wege beschritten. Normalerweise benutzt man die Erhaltungssätze des Impulses und der Energie als die beiden Bestimmungsgleichungen. Daraus werden die Geschwindigkeiten nach dem Stoß abgeleitet. Und daraus erhält man nach einigen Umformungen das Ergebnis $m_ø/m_S=v_{rel}/u_T$,

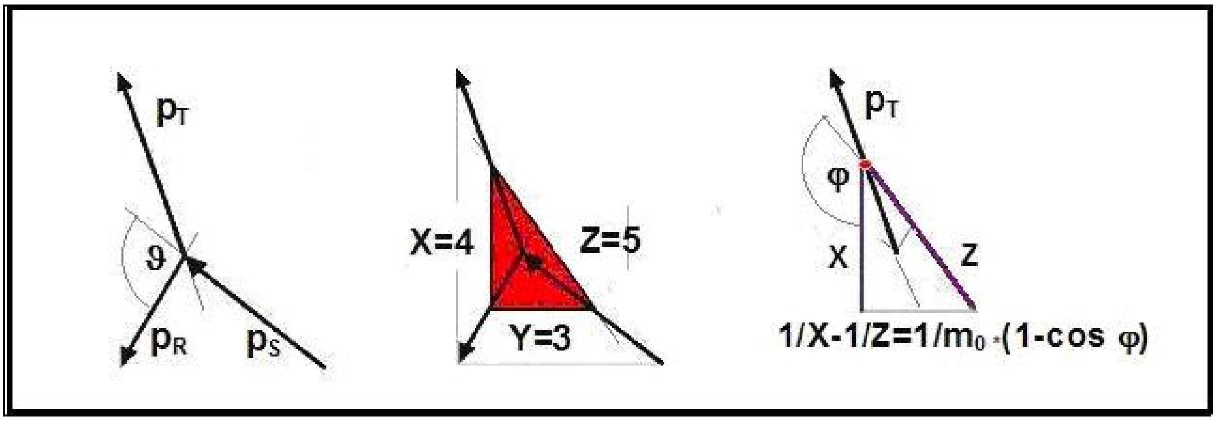
siehe Buch 2001 S.176 [kunz-consult.com/3html]. ((Hier klicken))

(Ableitung: Wir benutzen die untere Gleichung und setzen $v_T=0$ für den Ruhestoß in der Normalform. Die Endgeschwindigkeit des anfangs ruhenden Körpers beträgt u_T, und die Gleichung verkürzt sich nach Multiplizieren mit (m_S+m_T) zu $u_T \cdot (m_S+m_T) \cdot v_T = 2 \cdot m_S \cdot v_S$. Bildet man die Durchschnittsmasse $m_ø=(m_S+m_T)/2$ und setzt die Startgeschwindigkeit gleich v_{rel}, dann gelangt man zu der besagten und für alle geraden elastischen Ruhestöße zutreffenden Beziehung $m_ø/m_S=v_{rel}/u_T$)

Dieses Ergebnis $m_ø/v_{rel}=½(M+m)/k =m_S/u_T$ wird nun verglichen mit der Formel, die aus Fig. 2 abgeleitet werden kann, nämlich $M/m=(k+n)/u_T$ oder $M/(k+n)=m_S/u_T$. Das Gleichsetzen von m_S/u_T bringt $½(M+m)/k=M/(k+n)$ und nach Einsetzen $½(2k)/k=(k+n)/(k+n)$. Dies ist zwar richtig, bringt aber keine Antwort auf die heikle Frage zum Faktor f=1. Mehr Hoffnung verspricht die Impulsgleichung mit dem Begriff einer Impulspaarbildung.

FAQ 14: Gibt es eine relativistisch-mechanische Atomtheorie und wie sind die Billardstoßversuche einzuordnen?

Ohne Wellenfunktion existiert keine relativistisch-mechanische Atomtheorie, soweit uns bekannt ist. Das Modell von Bohr-Sommerfeld wäre zu nennen, es benutzt bekanntlich kein Stoßkonzept. Der Billardstoß ist aber auch nicht prädestiniert für Aussagen zu einem Atommodell, weil beim Stoß nur die Übergänge im Mittelpunkt stehen. Wie z.B. der Grundzustand des H-Atoms aussieht und welche Energie ihm zuzuschreiben ist, lässt sich nur aus einer Fülle von Billardstößen und weiteren Annahmen schlussfolgern. Trotzdem schwingt überall die Relativitätstheorie, insbesondere der Massebegriff von Einstein mit. Die Kernannahme und der zentrale Aspekt ist die separat betrachte Massenzunahme z. Ohne Bewegung gibt es keinen Impuls, keine kinetische Energie und keine Massenzunahme. Liegt jedoch Bewegung und ein kollidierendes Zweiteilchensystem vor, dann treten vier oder mindestens drei Impulse auf. Letzteres ist beim „Laborsystem“ der Fall, wenn vorher oder hinterher ein ruhendes Teilchen vorliegt. Fragen des Bezugssystems bleiben außen vor, d.h. die Fragestellung: „was wäre, wenn die ruhende Masse sich bewegt“ ist sophistisch, weil der geometrische Impulsverbund eine unverrückbare Ganzheit ist. Mit der Bewegung entsteht z und mit ihm die kinetische Energie $e_{kin}=z \cdot c^2$. Es ist nicht üblich, die Massenzunahme z separat zu behandelt, im folgenden Beispiel eines relativistischen Billardstoßes wird jedoch der Nutzen sichtbar.



Siehe auch Fig. 15 im Beitrag (DPG-Vortrag, auf den sich die FAQ´s beziehen):

Die drei Impulse des Billardstoßes, beginnend mit dem Startimpuls p_S und mit Stoßwinkel ϑ sind dargestellt. Der Winkel ϑ ist links in der Verlängerung vom Startimpuls zum quasi reflektierten Impuls p_R eingezeichnet. Das mittlere Bild zeigt die Umhüllung der Impulse in halber Länge. Das rote rechtwinklige Dreieck mit den Seiten 3, 4, 5 ist eine Ersatzdarstellung mit fiktiven Photonen. Die links gezeichneten Stoßimpulse der Teilchen werden in dieser Impulswelt durch Photonenimpulse umgerechnet. Die Dreieck-Seiten verkörpern je einen Photon-Impuls, welche an jeder Ecke einen Comptoneffekt verursachen. Rechts oben ist die Entstehung von p_T skizziert: Das energiereiche Photon Z vollzieht am Target, welches anfangs ruht, eine Richtungsänderung um den Winkelbetrag φ. Dann verlässt das geschwächte energiearme Photon X den Ort des Comptoneffekts. Mit der Annahme von Hasenöhrl und c=1 wird hier scheinbar leichtfertig für das Photon $e=p \cdot c$ gesetzt. Das in Bewegung versetzte Target hat von den beiden Photonen die kinetische Energie e_T =Z-X erhalten, siehe [12]. Die Formel von Compton ist rechts unten dargestellt. Auf beiden Seiten der Formel werden gleiche Maßeinheiten gebraucht, und wir verwenden für die Größen im Nenner die Einheit "kg", siehe [22].

Jede Massenzunahme bzw. Zusatzmasse z setzt eine Ruhmasse voraus, und im obigen Beispiel gehören z_S+z_R zu der stoßenden Masse m_S, welches die gleiche Ruhmasse besitzt wie m_R. Im mittleren Bild sind jedoch die Ruhmassen aufgelöst und erscheinen als Photonengürtel X, Y und Z. Korrekt trifft das für m_S bzw. m_R zu. Hier existieren also Zusatzmassen zu einem Gürtel aus Photonen! Die Ruhmasse kann also kein Dogma sein. Einschränkend muss man sagen, dass ein Dualismus des linken Bildes mit dem mittleren Bildes besteht. Auffallend ist die bei aller geometrischen Schärfe auftretende Unschärfe der Zuordnung und Lage (z.B. der Ruhmassen).

Aus Fig. 15 kann man entnehmen, dass es zwei Impulsdarstellungen gibt, nämlich einmal die massengebundenen Vektorimpulse des Skeletts (linkes Bild) und einmal die photonengebundenen Umhüllungen (mittleres Bild), wo ein Photonengürtel gleich einem Skineffekt die Vektorimpulse umhüllt. Beide Zustände können nicht gleichzeitig existieren, denn die Photonen beinhalten die Gesamtenergie der stoßenden Masse. Die Ruhmasse ist im Photonengürtel verschwunden, d.h. die virtuellen Photonen halten stellvertretend oder ersatzweise die Ruhenergie am Leben.

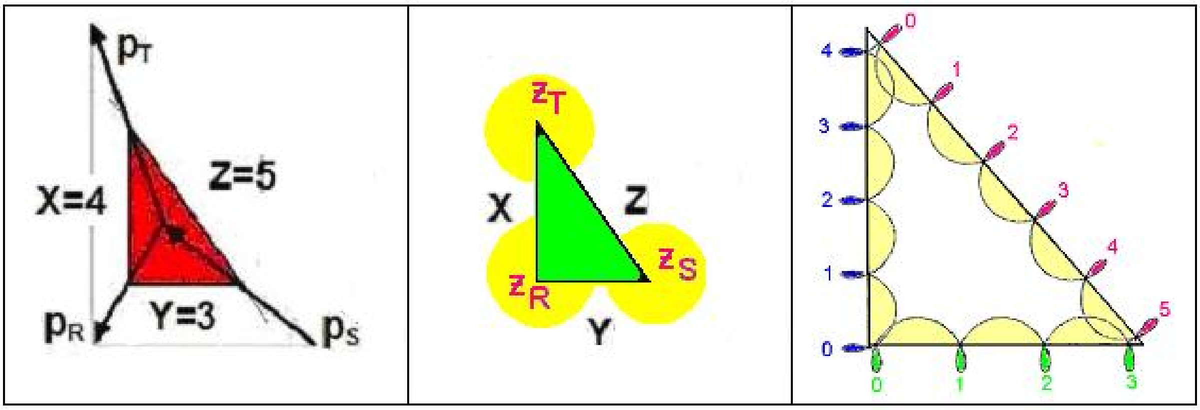


Fig. : Links das Skelett mit Skins, im Mittelteil die Skins und rechts eine Spiraldarstellung

Das mittlere Bild enthält in dieser Anatomie der Stoßimpulse nur das Dreieck der Skins. Es enthält die stoßende Ruhmasse, die umgewandelt wird zu einem Ring aus virtuellen Photonen. Des Weiteren sind die Zusatzmassen z_S, z_R und z_T indirekt enthalten. Sie folgen aus der Differenz der anliegenden Seiten. Hinter dem Wort Zusatzmasse eines Teilchens verbirgt sich eine Zunahme der

Ruhmasse, welche bedingt ist durch die Geschwindigkeit v. Das Startteilchen besitzt als Standardbeispiel die Kennwerte m_{0S} =12, z_S=2, p_S=√(73). Die Geschwindigkeit ß=v/c ergibt sich aus dem Impuls durch Division mit der relativistischen Gesamtmasse. Zur Vereinfachung verwenden wir quadrierte Werte und erhalten $ß^2$=73/(12+2)²=0,372 und v_S=0,61028. Der Zusammenhang zwischen Zusatzmasse und Geschwindigkeit folgt aus der Lorentzgleichung in der Fassung von Einstein, siehe Gleichung (27). Für jedes Teilchen lässt sich als Impulsquadrat formulieren: $v^2 \cdot (m_0+z) = c^2 \cdot (2.m_0.z+z^2)$. Dies gestattet die Vorstellung, dass Bewegung gewissermaßen durch einen Faden (wie beim Geißeltierchen) zustande kommt, der zusammengepresst die Zusatzmasse ergibt. Man beachte: $c^2 \cdot z = E_{kin}$.

Die rechte Bild (entnommen [14] Abb. 22) skizziert das obige Bild der Skinimpulse mit den Maßen Y=3, X=4, Z=5 als Wellenspirale. Sie ist geschlossen und ganzzahlig, d.h. sie hat als gemeinsamen Nenner die Zahl 1. Aus relativistischer Sicht sind auch die Zusatzmassen ganzzahlig, nämlich z_S=2, z_R=1 und z_T=1, wie aus Tab.4 Zeile 5 hervorgeht. Aus dem Billardstoß entstehen fiktive Photonen. Umgekehrt könnte man im Atomaren flüchtige Ruhmassen herstellen aus dressierten Photonen.

Es folgte ein Vergleich mit dem Billardstoß der Lyman-α-Linie, obwohl hier ein gerader, mechanischer (nicht relativistischer) Stoß angenommen wird. Für den Fall, dass die schwere Kugel ruht, ergeben sich folgende Vergleichswerte: v_S=2, v_R=1 und v_T=1. Die Impulse lauten entsprechend p_S=2, p_R=-1 und p_T=3. Bei den Ruhmassen lauten die Werte für das Standardbeispiel in gleicher Reihenfolge 12, 12 und 36, und für den Billardstoß findet man proportionale Werte, nämlich 1, 1 und 3. Die kinetischen Energien für den Billardstoß sind e_S=2, e_R=1/2 und e_T=1/2. Die Summe z_S+z_R=3 der stoßenden Masse steht zur Masse derselben m_{0S}=12 im Verhältnis ¼. Daraus kann man nicht schlussfolgern, dass für die größere Masse m_{0T}=36 ein ähnliches Verhältnis von ¾ resultiert, wie es für den Übergang der besagten Lyman-Linie erwartet wird. Aber auch das Verhältnis der stoßenden Ruhmasse zur Gesamtruhmasse m_S+m_T beträgt 25%. Doch der Vergleich hinkt an vielen Stellen, wenngleich es überrascht, dass Ähnlichkeiten und Gleichheiten auftreten, denn es wird ein schiefer relativistischer Stoß mit einem geraden mechanischen Stoß verglichen. Wenn der Billardstoß in eine atomare Umgebung eingebettet wird, dann muss es zu gravierenden Änderungen kommen. Die Teilchenimpulse werden durch den Ringschluss der drei kombinierten Comptoneffekte automatisch hergestellt. Die Umrundung hat einen Drehsinn, in linker oder rechter Richtung. Man könnte dieses „Compton-Dreieck" als ein einziges Photon mit wechselnder Farbe auffassen, das nach einer Umrundung den Stoß beendet. Im Atom ist eine mehrfache Umrundung oder wegen Spiegelung auch ein stationäres Erstarren denkbar.

Wir untersuchen die Anregung des H-Atoms. Zunächst wird das Photon als Stoßpartner ersetzt durch einen mechanischen Partner, z.B. durch ein Elektron, wie es beim Franck-Hertz-Versuch geschieht. Die Anregung durch Photon oder durch ein Teilchen passender Energie lässt sich nicht direkt abbilden, sondern es muss erst eine Input-Zone passiert werden, wo das oben Geschilderte von Gleichung (27) vollzogen wird. Ob Photon oder Franck-Hertz-Elektron, nach Passieren dieser Input-Zone liefern beide ein Teilchen mit der Masse M=3 und der Geschwindigkeit V=1, welches zur Ruhe gebracht wird. Der Unterschied in den Auswahlregeln verschwindet auch. Quasipartikel dürfen offenbar in einem gewissen Maße selbständig agieren. Ihr Impuls hat vermutlich auch eine Gestalt, wie die Spiralstruktur rechts in obigem Bild zeigt. Die Frage nach der eingeschränkten Selbständigkeit der Quasipartikel findet noch eine andere Erklärung in der Fortschaltung von α, siehe [24] S.135-138. Die Energie der Rydberg-Konstante $½\cdot m_{red}\cdot\alpha^2 \cdot c^2 = \mu\cdot c^2$ entspricht dem Grundzustand eines Quasiteilchens mit der Masse μ. Dieses kann als Stoßpartner mit dem Quasiteilchen des Photons operieren. Die Weiterführung des Ansatzes ermöglicht auch eine Abschätzung von Feinstruktur und Weltalter. Letztes beträgt demnach 22 Mrd. Jahre, siehe [3] Kap. 14.

.

Fortsetzung folgt