

1.3.1 Der Schwerpunktstoß und die Stoßquantenzahlen k und n

Nach dem in den Thesen 6 und 41 geäußerten Selbstverständnis findet die Bewegung des Neutrons überhaupt nicht gegenständig statt, sondern es taucht gewissermaßen unter, verharrt über die Distanz R in einem Schwebezustand und taucht nach einer Laufzeit in reflektierter verkürzter Richtung r wieder auf. Mit anderen Worten, aus V wird -v, und in Abb. 162 wird ein Winkel ϑ eingeschlossen. Man hat zwar noch nie einen Ball verschwinden und wieder auftauchen gesehen, aber in der atomaren Welt ist der Vorgang des „Tunnels“ nichts Besonderes.

1.3 Gemeinsamkeiten von Kugelstoß, Atomanregung, SRT

1.3.1 Der Schwerpunktstoß und die Stoßquantenzahlen k und n

Zwischen Kugelstoß und Einblicken in den Atombau werden in den Thesen essentielle Gemeinsamkeiten propagiert. Lassen sich diese Zusammenhänge funktional oder axiomatisch formulieren? Die Antwort lautet ja. Es gibt mehrere Brücken zwischen den drei Welten Atomanregung, Stoßmechanik und Spezieller Relativitätstheorie. Diese Brücken sind die besagten Stoßquantenzahlen, die einerseits eine Analogie des Stoßes mit der Atomanregung herstellen und die andererseits eine Analogie zur SRT ermöglichen. Freilich können die drei Welten wegen ihrer Komplexität zunächst nur an einfachsten Beispielen verglichen werden. Die formalen Gemeinsamkeiten äußern sich in folgender Zusammenstellung mit den noch näher zu erläuternden vereinfachten Beziehungen.

a)	$e/E_{\text{Rydberg}} = 1/n^2 - 1/k^2$	aus dem Rydberg-Ritz-Kombinationsprinzip
b)	$e/E_{\text{gesamt}} = 1/n^2 \cdot (1 - n^2/k^2)$	aus dem Kugelstoß mit Ruhestoßbedingung
c)	$e/E = 1 - n^2/k^2$	aus der Lorentztransformation

Abb. 163: Drei phänomenologische Welten mit der Gemeinsamkeit der Stoßquantenzahlen k und n

Die unter a) genannte Formulierung stammt aus der Spektroskopie der einfachsten Atome, wobei unter k und n atomare Quantenzahlen verstanden werden. Sie standen Pate bei der Namensvergabe der Stoßquantenzahlen k und n. Dass zwischen beiden Welten a) und b) Gemeinsamkeiten bzw. Ähnlichkeiten existieren, wird in der Physik im wesentlichen bestritten. Die atomaren Quantenzahlen sind ein Hinweis auf Ganzzahligkeit, und die Suche nach ganzen Zahlen in der Stoßmechanik ist angeblich vergeblich. Ebenso wird von der Wissenschaft eine Gleichbehandlung und Gleichschaltung von atomaren Prozessen und der SRT bezweifelt. Kurzum, die in Abb. 163 offerierten Gemeinsamkeiten bedürfen eines massiven Beweises.

Was sind diese Stoßquantenzahlen k und n? Es sind Zwittergrößen für die rechnerische Gewinnung von Masse und Geschwindigkeit. Anstelle zweier

Massen werden zwei Zahlen angegeben, aus denen durch Kombination $k \pm n$ die Massen hervorgehen. Diese Technik, hinter der sich nichts weiter als eine mathematische Substitution verbirgt, ist überall, also auch bei Stoßexperimenten im Schulversuch verwendbar. Mit den natürlichen Zahlen k und n läßt sich unter der Maßgabe $k > n$ die kleine Stoßmasse $m_1 = k - n$ und die große Stoßmasse $m_2 = k + n$ berechnen. In These 44 und in Abb. 164 wird gezeigt, wie sich diese Substitution auf die Stoßgleichungen (siehe Abb. 176) auswirkt. Wenn beim Stoß vorher oder hinterher ein ruhender Stoßpartner vorkommt, dann tritt der eigentliche Vorteil der Stoßquantenzahlen in Erscheinung, indem k und n plötzlich den Charakter von Geschwindigkeiten der stoßenden Masse annehmen. Über die Randbedingungen für eine Vereinfachung, bei der sich die Berechnung mittels einer Stoßformel völlig erübrigt, wird im Abschnitt „Normalform einer beliebigen Stoßaufgabe“ berichtet. Soweit k und n als reine mathematische Substitution dienen, ist physikalisch nichts einzuwenden; mit der Zulassung beliebig „krummer“ Zahlen könnte die ganze Physik mit Stoßquantenzahlen umgeschrieben werden. Somit werden Masse und Geschwindigkeit zwar aus einem einheitlichen Ursprung abgeleitet, aber von einer beiderseitigen Umwandlung kann keine Rede sein. Was aber, wenn der Mesozustand zwischen Masse und Geschwindigkeit für bare Münze genommen wird? Im Kapitel 1.1.3 war bereits von einer Verschmelzung und Ausprägung der beiden physikalischen Komponenten des Impulses die Rede. Die Stoßquantenzahlen sind genau das, was wir beim Impuls suchen, sie sind weder Fisch noch Fleisch, sie sind verschwommen und führen dennoch zu ausgeprägten beliebig scharfen Größen.

Quantenzahl = Stoßquantenzahl

Atombau und Spektrallinien sind ein unerschöpfliches Thema, von dem hier nur ein winziges Stück beleuchtet werden soll. Wer das Termenschema eines Atoms unter die Lupe nimmt, muß sich im klaren sein, dass experimentell nur Veränderungen, nicht die Niveaus selbst wahrgenommen werden können. Es war das Wasserstoffspektrum, das Licht in das Dunkel des Atoms brachte, und deshalb wird dieses Spektrum mit seinen Übergängen hier an den Anfang gestellt. Ein Elektronenübergang wird meist von einem Lichtquant ausgelöst oder ist im umgekehrten Fall mit einer Lichtemission verbunden. Keiner weiß genau, wie ein angeregtes Atom im Niveau n oder k aussieht, aber den Übergang von n nach k kann man ziemlich genau verfolgen, messen und beschreiben. Ähnlich verhält es sich beim Flug zweier Teilchen, weil nur der Stoß ein deutliches Signal gibt, aus dem Vergangenheit und Zukunft der Bahn berechenbar sind.

Die Terme eines Atoms sind bekanntlich Energieniveaus oder auch Aufenthaltsräume für Elektronen. In Abb. 165 symbolisieren Saturnringe oder

1.3.1 Der Schwerpunktstoß und die Stoßquantenzahlen k und n

mit Schwalben besetzte Drähte diese Terme. Die leeren Drähte sind das Termenschema und die Elektronen sind die Besetzung, hier durch Schwalben demonstriert. Was wir beobachten können, sind nur Veränderungen der Besetzung, also beispielsweise der Flug einer Schwalbe von einem zum anderen Draht oder der ominöse Elektronenübergang im Planetenmodell.

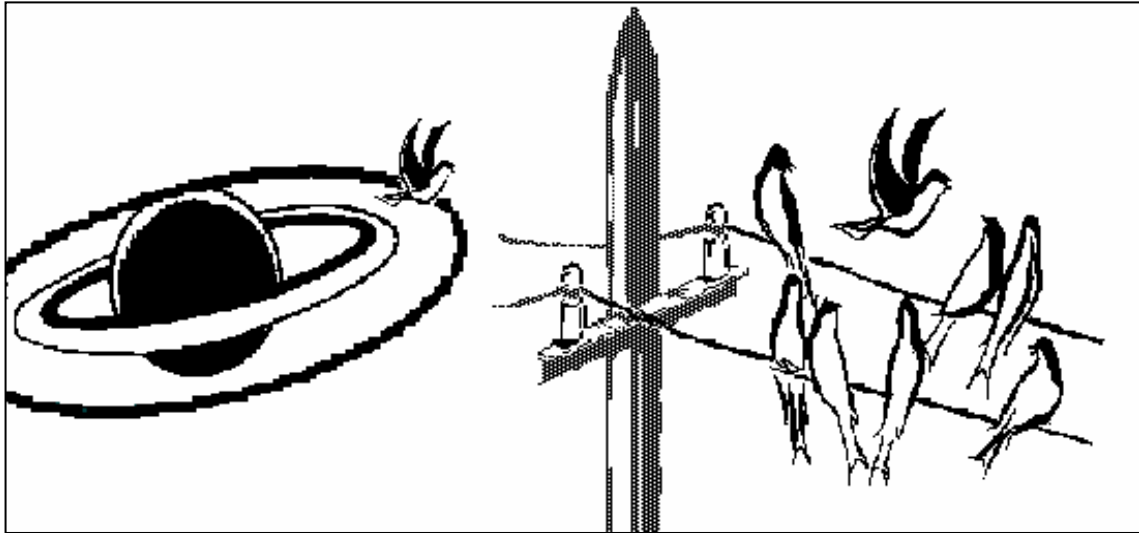


Abb. 165: Übergänge von einem Niveau zum andern. Die fliegende Schwalbe als Symbol des Übergangs zwischen den Leitungsdrähten (rechts) und Planetenbahnen (links).

Die möglichen Kombinationen der Übergänge zwischen den Termen k und n hatten Rydberg und Ritz als allgemeines Naturprinzip in der Form $1/n^2 - 1/k^2$ erkannt, welches heute den Rang einer spektroskopischen Binsenweisheit besitzt. Nach Aussage von Seite 163 soll nun eine Gemeinsamkeit mit dem Kugelstoß bestehen, und man fragt sich, was hat dies mit dem Atom zu tun? Weisen die Nebenbedingungen eines geraden elastischen Ruhestoßes zweier Kugeln nicht auf einen Ausnahmefall hin, der zufällig dieselbe formale Gestalt hat; denn Analogien mit einer reziprokquadratischen Differenz gibt es viele? Die Antwort wurde bereits gegeben, dergestalt, dass die Wechselwirkung zweier Terme oder zweier Stoßpartner im Grunde gleich ist, dies fordern schon die Erhaltungssätze von Energie und Impuls. Mit anderen Worten, auch ein elastischer Schwerpunktstoß oder ein unelastischer Ruhestoß müsste zur Nachbildung eines Elektronenübergangs geeignet sein, aber der Informationsgewinn wäre gering, wie am Beispiel der Balmerreihe in These 55 gezeigt wurde. Allein mit dem elastisch geführten Ruhestoß gelangt man zu neuen Einsichten in die Atomanregung. Wir unterstellen dem Mathematiklehrer J. Balmer, dass er sich mit den Stoßgesetzen und dem Wissen seiner Zeit vertraut gemacht hat und inszenieren ein Gespräch mit dem

Schöpfer des Atommodells, Niels Bohr. Die konstruierte Unterhaltung verlegen wir in das Jahr 1922.

Gespräch zwischen Bohr und dem Phantom von Balmer



Abb. 166: Balmer als Gesprächspartner in Form seines Phantoms. Er wird hier in Ermangelung eines Bildes als Karikatur gezeichnet. Balmers Phantom hätte aus seiner Entdeckung der pythagoreischen Einfachheit der Spektrallinien noch weitere Schlüsse ziehen können. Er zog es aber vor, sich nicht so sehr um das Wissen seiner Zeit zu bemühen, sondern sich mit den Mädchen des Hauses beim Klavierunterricht zu verlustieren. Das Bild zeigt die Vorliebe Balmers, mit Zahlen und Tastaturen zu spielen. Balmer war sehr bescheiden und geradezu devot gegenüber den Gelehrten, obwohl er selbst genial war. Wir unterstellen dem Balmer-Phantom nicht, dass er ein Dämon war, der das Wissen seiner Zeit in sich vereinigt, nehmen aber an, dass er über die Stoßgesetze und die daraus ableitbaren Stoßquantenzahlen hätte Bescheid wissen können. Der nachfolgende Dialog ist eine Imitation in der Möglichkeitsform, das Gespräch ist erfunden und hinter Balmer tritt Zweistein in Erscheinung.

Balmer: Ich freue mich über die Möglichkeit, mit Ihnen sprechen zu dürfen und begrüße Sie mit einem schwyzerischen Grüzy.

Bohr: Sie glauben, bereits früher einen Mechanismus zur Erklärung der Elektronenanregung gefunden zu haben, der sich von meinem Atommodell unterscheidet?

Balmer: Die von mir zufällig entdeckte Regel, die ich bei den Spektrallinien des Wasserstoffatoms gefunden hatte, mündet in der Serienformel von Rydberg-Ritz mit $n=2$ und lautet somit $1/4-1/k^2$. Ich hatte mich anfangs über die gefundene Zuordnung gefreut und zunächst keine weiteren Gedanken über den tieferen Grund der Wechselwirkung von Licht und Wasserstoff verschwendet. Heute wird mir klar, dass k und n Stoßkomponenten des Wasserstoffteilchens sind, die durch Lichtteilchen verändert werden.

Bohr: Schön und gut, aber mein Modell vom Atom ist doch viel plastischer, ein Planetenmodell mit eingeschränkten, durch Quantenzahlen charakterisierten Bahnen. Der Bahnwechsel ist ein Übergang des Elektrons von n nach k . Übrigens entstand dieses Modell seinerzeit unmittelbar, nachdem ich von Ihrer empirischen Zuordnung der Balmerreihe gehört hatte, wofür ich sehr zu Dank verpflichtet bin. Doch von Stoßquantenzahlen bin ich, und da spreche ich für die ganze Physik, weit entfernt. Das Lichtquant hat Lichtgeschwindigkeit und es sucht vergeblich einen geeigneten greifbaren Stoßpartner im Atom.

Balmer: Ihre Fachkollegen wie G. Hertz und Compton waren doch mit dem Modell des Lichtteilchens in der Teilchenphysik recht erfolgreich, warum sollte das nicht in der Physik der Atomhülle funktionieren? Der springende Punkt ist, dass das emittierte oder absorbierte Photon als ein ruhender Stoßpartner auftritt, es erhält die Ersatzmasse $m_2=k+n$ und die Endgeschwindigkeit $u_2=k-n$.

Bohr: Natürlich kann man nach Einstein dem Photon eine fiktive Masse m_2 zuschreiben, dies gilt für jede Form von Bindung bzw. Energie. Ich gehe wohl nicht fehl in der Annahme, dass Sie das Elektron nicht als direkten Stoßpartner behandeln, sondern die Bindung als eine fiktive Ersatzmasse $m_1=k-n$ betrachten.

Balmer: Genau, die vereinigten Energie- und Impulseigenschaften des Anfangszustands (Term k) und des Endzustandes (Term n) werden durch das Bindungsteilchen m_1 ausgedrückt, des weiteren muß man die Anfangsgeschwindigkeit $v_1=k$ und die Endgeschwindigkeit $u_1=n$ zuordnen, um der Stoßanalogie zu entsprechen.

Bohr: Zwei Widersprüche werden allerdings sofort sichtbar, erstens beißt sich die Vorstellung der Lichtgeschwindigkeit u_2 mit der noch größeren Geschwindigkeit k und zweitens bleibt die Masse des Bindungsteilchens m_1 vorher und nachher konstant, obwohl sich die Termenergie geändert, d.h. verringert hat, was nach Einstein eine Massenänderung zur Folge haben müßte.

Balmer: Diese ins Auge springenden Widersprüche sind gar keine, weil erstens die Relativgeschwindigkeit beim elastischen Stoß konstant ist und weil zweitens alle beteiligten Massen keine echten Massen sind. Das Fehlen einer Ruhmasse im Sinne der SRT ermöglicht es der Impulsmatrix, ihre Form wie eine Qualle zu ändern. Die Impulse $(k-n) \cdot k$ und $(k-n) \cdot (-n)$ sind wohl unterschiedlich, nicht aber die Massen. Einstein hat sich über diese fiktiven Massen von Termzuständen z.B. mit $u_2 < c$ nicht geäußert.

Bohr: Ich muß das Ganze erst einmal verdauen. Mich wundert, dass Sie keine Aussagen zur Atomhülle machen. In meinem Modell der Umkreisung sind die Quantenzahlen ganzzahlige Vielfache des Drehimpulses, bei Ihnen sind die Stoßquantenzahlen leere Zahlen auf einer Geraden.



Abb. 168: Wechselwirkung von Licht und Atom. Stoßmechanische Allegorie des Übergangs Balmer alpha ($n=2$ nach $k=3$) mit den Impulswerten $(k-n) \cdot n$ für die Atomhülle und $(k+n) \cdot (k-n)$ für das Photon. Die relative Energie des Übergangs beträgt für das Photon übereinstimmend mit dem Experiment $(k+n) \cdot (k-n)^2 / [(k-n) \cdot k^2 \cdot n^2] = 5/36$ Rydberg.

Balmer: Dieser nicht unwesentliche Sachverhalt wird schön erklärt durch die Impulspaare. Wenn man mittels einer Folge von Übergängen von 1 nach 2, dann von 2 nach 3, von 3 nach 4 usw. die Atomhülle aufbaut, dann entstehen bei jedem Schritt soviele Paare, wie es das Niveau erfordert. Zählt man jedes Paar als eine Drehimpulseinheit, dann besteht Übereinstimmung mit Ihrem Modell. Die Drehimpulsquantenzahl wächst also der Reihe nach von 1 nach 2 nach 3 nach 4.

Bohr: Das beruhigt mich erst einmal. Mir wird auch klar, dass ein Stoß nur auf einer Geraden und nicht bei einer Umkreisung stattfinden kann. Insofern sind die Stoßquantenzahlen keine leeren Zahlen, sondern möglicherweise auf der Bahn verteilte Einheiten, die sich beim Stoß vereinigen und geschlossen als Masse m_1 mit entsprechendem v_1 agieren.

Balmer: Verbleiben wir zunächst bei dieser Andersdarstellung, die allerdings noch diese oder jene Tücke aufweist. Aber zu einem Punkt wollte ich Sie noch befragen, nämlich zum Grundzustand, über den das Stoßmodell nichts aussagt.

Bohr: Der Grundzustand mit $n=1$ bezeichnet das nicht angeregte Atom. Der Zustand ist entartet, weil er quantenmechanisch die Drehimpulsquantenzahl null besitzt. Außerdem deutet sich an, dass die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons im Zentrum des Atoms (also quasi im Kern) am größten ist. Die atomare Bindung findet hier ihren tiefsten Wert, der seiner Bedeutung wegen bei der Definition der Rydbergkonstante eine maßgebliche Rolle spielte.

Die reduzierte Masse als eine entbehrliche Rechengröße?

Balmer: Welche abgründige Unverständlichkeit tun sich hier auf! Da lob ich mir meine Mechanik. Für mich ist doch völlig uninteressant, wo sich das Elektron aufhält, ich will ganze Zahlen. Sehen Sie eine Chance, diese Bindung mechanisch erklären zu können?

Bohr: Trotz aller Quantenmechanik gibt es ein Phänomen, nämlich die reduzierte Masse m_{red} , die aus der Masse M des Atomkerns und der Masse m des Satelliten *rein mechanisch* gebildet wird. Die Spektrallinien sind überraschend von m_{red} abhängig. Wenn es den Einfluss von m_{red} nicht gäbe, dann müssten die Spektrallinien des Heliumion an manchen Stellen exakt mit denen des Wasserstoffs übereinstimmen, was nicht der Fall ist. Aus der Rydbergkonstante, die ein Grenzwert für Kernmasse unendlich bzw. für Satellitenmasse null ist, kann man die tatsächliche Energie der Atombindung ermitteln, indem man mit m_{red} multipliziert. Mehr vermag ich momentan nicht dazu zu sagen. Vielleicht findet mein geschätzter Kollege Sommerfeld noch weitere Hinweise. Alsdann, grüßen Sie das Jenseits, Herr Balmer!

Die reduzierte Masse als eine entbehrliche Rechengröße?

Es ist nicht bekannt, ob Bohr die in These 7 geschilderte Relation zwischen m_{red} und der Feinstrukturkonstanten α von Sommerfeld gekannt hat, aber sicherlich war er über die beiden Komponenten bestens informiert. Es geht um die Relation $\varepsilon/c^2 = m_{\text{red}} \cdot K$ mit $K = \alpha^2/2$, und man kann sich über die Tragweite dieser „Sommerfeldformel“ als Wunderwaffe nur wundern. Setzt man für die Massen M das Proton und m für das Elektron ein, so erhält man folgerichtig als Energie des Grundniveaus für das H-Atom $\varepsilon = 13,6 \text{ eV}$.

Atom	eV
$p^+ e^-$	13,59826
$e^+ e^-$	6,80282
$\mu^+ e^-$	13,5402
$D^+ e^-$	13,6019
${}^4\text{He}^+ e^-$	54,4152
$\mu^+ \mu^-$	1407,2
$p^+ \pi^-$	3235,6
${}^{12}\text{C}^{+11} e^-$	489,781
$p^+ p^-$	12491

Abb. 169: Die Bindungsenergien von exotischen Atomen als Funktion der Massen. Aus den Massen der Atompartner wird jeweils die reduzierte Masse gebildet und daraus mittels der Wunderformel die Energie in eV berechnet. Bei mehrfach geladenen Partnern geht die Ladungszahl quadratisch ein. Die Tabelle entstammt Literaturwerten, es wären noch Merkmale wie ortho/para zu erwähnen. Die Symbole bedeuten: Elektron e^- und sein Antiteilchen Positron e^+ , Proton p^+ und Antiproton p^- , Myon μ^- und Antimyon μ^+ , Pion π^- , Deuteron D^+ , wasserstoffähnliches He und C (Kohlenstoff). Wenn also die Bindungsenergie eines prognostizierten Atoms aus einem Deuteriumkern und seinem denkbaren Antiteilchen abgeschätzt werden soll, so geschieht dies mit der besagten Formel, woraus ein Wert von 24,98 keV resultiert. Wer noch weitergehende Details sucht, kann sich das delikate Thema der Mitwirkung der Neutronen am besagten Atom des Deuterium-Antideuterium zu Gemüte ziehen. Man benutze auch zwei Teilchen namens Einstein, Antieinstein mit je 1 g!

Die Bindungsenergie scheint offensichtlich nur von den Massen beider einfach geladenen Partner abhängig zu sein, und dies kann man als Hinweis für einen nicht allzu komplizierten Aufbau aller Elementarteilchen werten. Eine wichtige Voraussetzung für die normalen und die exotischen Atome ist natürlich die Ladungszahl mit unterschiedlichem Vorzeichen. Der Eindruck, dass die Ladungszahl unabhängig von der Größe des Elementarteilchens ist, trägt scheinbar angesichts des Unterschieds der Bindungsenergien. Haben große Mädels haben dieselbe Anziehungskraft wie kleine? In der Physik zitiert man an dieser Stelle den Teilchenabstand als Erklärung. Auf den ersten Blick taucht aber bei unserer Berechnung der exotischen Atome überhaupt keine Länge auf, doch indirekt enthalten m_{red} und v_{rel} Hinweise auf einen Abstand, womit das Rätsel vorläufig beiseite gestellt wird.

Es ist naheliegend, die Bindung ebenfalls mit Jungs und Mädels darzustellen. Ebenso naheliegend ist es, eine Gleichheit von männlichen und weiblichen Impulsen bei der Bindung zu fordern, ansonsten ist die Bindung nicht gesättigt, also ungesättigt. Zur Demonstration lassen wir die Kinder antreten, spielen physikalische chemische Bindung und bedienen uns der Vorstellung vom unelastischen Stoß. Der einfachste Fall ist der gerade und unelastisch gestaltete Schwerpunktstoß, bei dem alle Impulse ausgelöscht werden. Wenn also, wie in Abb. 103, drei Mädchen und drei Jungs aufeinandertreffen, bilden sich drei *Bindungspaare*, wie diese speziellen unelastisch entstandenen Impulspaare genannt werden sollen. Die Impulserhaltungsgröße ist hier null und bleibt null, aber die Anzahl der Bindungspaare bleibt drei. Kann man mit solchen simplen Spielen die reduzierte Masse und die Bindungsenergie nachbilden? Hier zunächst Blick in eine andere Branche, um die Bildung von Ersatzgrößen zu erkunden.

Wir bedienen uns eines Vergleichs mit der Elektrizität, genauer mit Gleichstrom, Spannung, Widerstand sowie dem Ohmschen Gesetz und den Kirchhoffschen Regeln, die folgendes besagen. Bei der Reihenschaltung ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände $R_{ges} = \sum R_i$. Bei der Parallelschaltung ist der Kehrwert des Gesamtwiderstandes gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände $1/R_{ges} = \sum(1/R_i)$. Die letztgenannte einleuchtende Regel entspricht formal der Bildungsvorschrift für die reduzierte Masse m_{red} , für die ein Analogschluss durchgeführt werden soll.

$$\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} = \frac{1}{m_{red}} \qquad \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}$$

Abb. 170: Zusammenfassung von Einzelwiderständen oder Massen zu einer Ersatzgröße

Die reduzierte Masse als eine entbehrliche Rechengröße?

Zur Beweisführung fassen wir zwei parallele Rohre, die von einem Strom oder von einem Energiestrom durchflossen werden, zu einem großen Rohr zusammen. Als Widerstände der Teilströme dienen einmal R_1 bzw. R_2 und einmal die Massen m_1 bzw. m_2 . Im elektrischen Bild wird das Ohmsche Gesetz in der Form **Strom=Spannung/R** unter einer für beide Teilströme gleichbleibenden Spannung angewandt. Im mechanischen Fall setzen wir zunächst eine Unbekannte X (z.B. v_{rel}^2) mit der Bildungsvorschrift $X=Konstante/Masse$, wobei als Konstante eine ebenfalls gleichbleibende Größe dienen soll. Nun die Nachweisführung, dass die Kehrwerte der Widerstände summiert den Kehrwert des Gesamtwiderstandes ergeben. Man setzt einfach anstelle von $1/R$ jeweils die Leitfähigkeit ein, weil definitiv Leitfähigkeit und Widerstand reziprok zueinander sind. Die Gesamtströme sind nichts weiter als die Summe der Leitfähigkeiten. Bei der Punktmechanik ist dies nicht ohne weiteres einleuchtend. Was ist der Kehrwert der Masse? Eine sinnvolle Antwort beschränkt sich auf nur zwei Massen und ergibt zwei Möglichkeiten, die Gleichgewichtsimpulse und die Gleichgewichtsenergien. Zwei Impulse im Gleichgewicht, man denke dabei an den Schwerpunktstoß, befolgen die Form $v_i=p/m_i$, welche in der Schreibweise der Stoßquantenzahlen $(k\mp n)=(k^2-n^2)/(k\pm n)$ lautet. Beide Partner besitzen den gleichen Impuls p , die reziproken Massen addieren sich formal zu $1/m_{red}$, und es ergibt sich betragsmäßig $v_1+v_2=v_{rel}$. Die Ersatzmasse m_{red} ergibt multipliziert mit der Relativgeschwindigkeit v_{rel} tatsächlich den Impulsbetrag jedes Stoßpartners. Nun zum Kehrwert der Masse bei der Gleichgewichtsenergie. Nichts einfacher als das, könnte man meinen; denn die Schwerpunktenergie besteht aus $\frac{1}{2}\cdot m_{red}\cdot v_{rel}^2$. Doch es stellt sich heraus, dass auch die Stoßtypen FRS und ARS zusammengenommen dieser Kehrwerteigenschaft genügen, indem die reziproken Einzelmassen die reziproke reduzierte Masse liefern.



Abb. 171: Schema von zwei Stoßkanälen mit je einem Kugelpaar beim Ruhestoß. Bei der rechten Szene wirkt die Lichtgeschwindigkeit gleichsinnig, während die linke Szene im linken Bild entgegengesetzte Wirkung zeigt. Ein fragwürdiger Versuch zur Erklärung der reduzierten Masse m_{red} . Führt man beide Stöße der linken Szene aus, dann entsteht statt einer gewaltigen Überlagerung ein fader Eindruck. Im Falle eines unelastischen Stoßes bewegen sich z.B. die Massen 3 und 7 zusammengeklebt mit der Restgeschwindigkeit oben 1,5 und unterer Kanal 3,5 bei $v_{rel}=5$. Im Mittel ist dies vom Standpunkt des Impulses ein Wert $5/2$. Die Energie oben=75 sowie unten=175 und als Summe 250. Dagegen sollte sich ergeben $m_{red}\cdot v_{rel}^2=2,1\cdot 25=105/2=52,5$

Die Physiker dürften hier allerdings einwenden, dass es sich um eine künstliche, formale Auslegung der Definitionsgleichung m_{red} handelt. Multipliziert man allerdings die Massen mit $\frac{1}{2} \cdot v_{\text{rel}}^2$, dann ergibt sich $1/E_{\text{ARS}} + 1/E_{\text{FRS}} = 1/E_{\text{S}}$, mit anderen Worten gesagt, passiert beim Schwerpunktstoß ein eigenartiges Spiel, indem die volle Relativgeschwindigkeit an jeder Masse einzeln und entgegengesetzt ansetzt und nach dem Stoß die Schwerpunktsenergie E_{S} liefert.

Abb. 171 skizziert sowohl links als auch rechts je zwei Stoßschiene, auf denen Ruhestöße ablaufen. Ob dies mit der Startgeschwindigkeit k oder gar mit c geschieht, sei zunächst dahingestellt, problematischer ist die Verkopplung beider Ruhestöße zu einem Stoßgleichgewicht mit einer reduzierten Masse. Die linke Szene im Bild könnte man zusammenschmelzen zu einem Paar, auf das von beiden Seiten c einwirkt. Man könnte proklamieren, dass es in der Welt nur eine Geschwindigkeit zu geben braucht, weil durch das Phänomen des Doppelruhestoßes die „gebrochenen“ Geschwindigkeiten erst entstehen bzw. vorgetäuscht werden. Doch ehrlich, dieser real entstehende Schwerpunktstoß erscheint verklärt und ist im einzelnen nicht nachvollziehbar. Das ganze Marionettentheater mit den Bezugssystemen gerät ins Schwimmen, obwohl die Formeln stimmen.

	$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2$
Typ ARS	$(k+n) \cdot k = (k+n) \cdot n + (k-n) \cdot (k+n)$
Typ FRS	$(k-n) \cdot k = -(k-n) \cdot n + (k+n) \cdot (k-n)$
Typ FRS	● □ □ □ □ □ ⇨ ●
Typ ARS	● ⇐ □ □ □ □ □ ●

Abb. 172: Ruhestoßtypen, dargestellt mit den vorzeichenlosen Stoßquantenzahlen k und n .

Ersetzt man jede Energie $m_i \cdot v_i^2/2$ durch $\Delta_i \cdot c^2$, dann würde die volle Lichtgeschwindigkeit an jeder Masse einzeln und entgegengesetzt „angreifen“ und nach dem Stoß die äquivalente relativistische Schwerpunktsenergie E_{S} ergeben. Im Gleichgewicht verschmelzen m und v im Sinne einer Eigenschaftsverarmung, ausgedrückt in $m_1 \cdot v_1 = \mu \cdot c = \mu \cdot c = m_2 \cdot v_2$, d.h. die Anzahl der Impulse (der Jungs und Mädels) ist beim Stoß dieser Art wieder gleich. Die eingangs dieses Abschnitts gestellte Frage, ob die reduzierte Masse eine entbehrliche Rechengröße darstellt, muß bejaht werden. Beim Nachbilden, Simulieren braucht man keine Ersatzgröße, die Jungs und Mädels als Impulsdarsteller verlieren mit m_{red} allerdings ihre Ganzzahligkeit.

Impulspaarbildung und physikalische und chemische Bindung

Wir greifen nochmals das strapazierte und langweilige Thema der beiderseitigen Durchdringung der Impulse auf, wenngleich es scheint, als sei zum Schwerpunktstoß bereits alles gesagt. Doch bei näherem Hinsehen wird dieser impulsgleiche Stoß mit den Stoßquantenzahlen aufregend. Zum Impulsgleichgewicht gehört eine Schwerpunktenergie, die aus den Komponenten $m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2$ besteht. Umschreiben läßt sich dies mit $(k \mp n) \cdot (k \pm n)^2$, welches aber zurückübersetzt werden kann zu $m_1^2 \cdot v_1 + m_2^2 \cdot v_2$. Begründet ist diese Überraschung in der verschwommenen Zuordnung von Masse und Geschwindigkeit. Die Vertauschung von Spalten zu Zeilen spielt eine Rolle, wie aus Abb. 122 ersichtlich. Die Anzahl der „Plätze“ für die Impulseinheiten ist bei beiden Stoßpartnern gleich. Die Matrix aus Zeilen und Spalten ist abstrakt, nicht vergleichbar mit m bzw. v . Doch Vorsicht, der Messprozess von Ort und Impuls (ebenso wie der Messprozess von Zeit und Energie) ist von der *Krankheit namens Unschärferelation* befallen, was also besagt, dass man nicht einmal den vertrauten Größen trauen kann.

Das wichtigste Produkt aus Spalten und Zeilen sollte man nicht übersehen, nämlich die in These 11 zitierte diabolische Impulsformel. Es kommt auf dasselbe hinaus, ob sich ein Teilchen der Masse m mit v oder das virtuelle Teilchen der Masse μ mit c bewegt; denn die Impulse $m \cdot v = \mu \cdot c$ sind gleich. Das im allgemeinen sehr kleine virtuelle Teilchen ist gewissermaßen ein Satellit, der nur unter der Schirmherrschaft der realen Masse m lebt. Ob die Matrix $m \cdot v$ genau soviel Zeilen und Spalten wie $\mu \cdot c$ hat, ist eine Frage der Maßeinheiten.

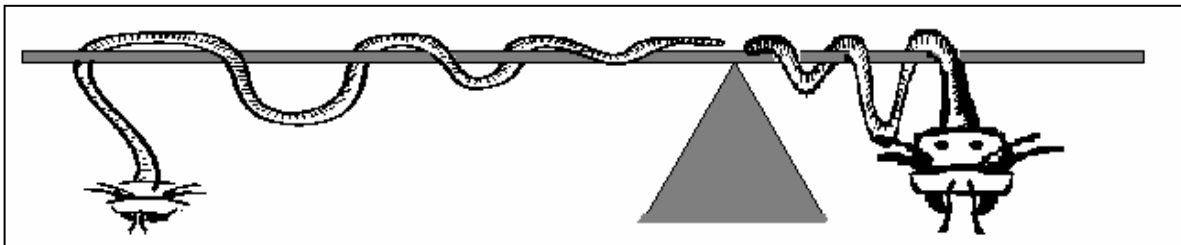


Abb. 173: Masse als Schlangenkopf und Bewegung als umschlängelte Waagebalkenlänge. Darstellung des Gleichgewichts als ungleichseitige Waage. Links: kleiner Kopf als kleine Masse mit großer Länge und rechts großer Kopf als große Masse mit kleiner Länge. Die Schlangenlänge zielt auf den Impulsbegriff ab und soll die Geschwindigkeit veranschaulichen, wobei eine kleine Länge einer kleinen Geschwindigkeit entspricht. Das Produkt der Drehmomente „Kraft mal Kraftarm gleich Last mal Lastarm“ wird auf das Produkt der Impulse „Kleinmasse mal Großgeschwindigkeit gleich Großmasse mal Kleingeschwindigkeit“ übertragen. Das Wort Lastarm dürfte einen Unbedarften an die Redensart „Die Summe aller Laster ist konstant“ erinnern, doch hier ist von einer Summe und nicht vom Produkt die Rede. Jeder Mensch wird bei seinem Ableben von einer Summe noch nicht ausgemachten Instanz beurteilt, ob er in den Himmel oder in die Hölle kommt. Diese Instanz wird die Laster abwägen, unabhängig davon, ob der Schwanz der Schlange lang oder kurz war.

Das Doppelgesicht der diabolischen Impulsformel kommt nicht beim Impuls „an sich“, sondern nur beim Austausch von Impulsen zum Vorschein. Die Behauptung von Zweistein, der Stoß zweier Billardkugeln sei im Grunde ein hundertprozentiger Effekt der SRT, ist hier mit im Spiele.

Die Vertauschung von Zeilen und Spalten ist nicht auf den impulsgleichen Stoß beschränkt, sondern tritt bei Stößen aller Art, allerdings nicht in der Reinkultur des Schwerpunktstoßes auf. Diese Vertauschung, was sie auch immer bedeuten mag, fordert eine Senkrechtsstellung, d.h. die in Bewegungsrichtung liegende Größe v_1 bzw. c stellt sich beim Stoß senkrecht und wird zu m_1 bzw. μ . Damit die Sache auch beim anderen Stoßpartner sowie beim schiefen und unelastischen Stoß funktioniert, *muß Masse grundsätzlich rechtwinklig zur Bewegungsrichtung stehen*. Ein Beweis wird in einem der folgenden Abschnitte nachgereicht. Als Vergleich bietet sich die ungleichseitige Waage an, wo die Gewichte grundsätzlich senkrecht am Waagebalken angreifen. Die Abb. 173 nimmt dabei Bezug auf die Flagellaten (These 3)

Formulierung von Stoßenergie und Stoßimpuls mit k und n

Nochmals zurück zum Thema „Auffahrts- oder Frontalzusammenstoß“. Als Ausgangssituation dient eine ruhende Kugel m_2 und eine stoßende Kugel m_1 , die die gesamte Energie und den Startimpuls $m_1 \cdot v_1$ beinhaltet. Je nachdem, ob die große Masse oder die kleine Masse ruht, sind zwei Fälle zu unterscheiden.



Abb. 174: Schema der beiden Arten des elastischen Stoßes, bei dem jeweils ein ruhender Körper übrigbleibt. Beim frontalen Ruhestoß (FRS) kommt der Körper mit der größeren Masse (dunkel gezeichnet) zur Ruhe, beim Auffahrts-Ruhestoß (ARS) bleibt der Körper mit der kleineren Masse nach dem Stoß schlagartig stehen.

Die Impulse können mittels k und n umschrieben werden, siehe Abb. 175. Da ein Quantenübergang vielschichtiger als ein Teilchenstoß ist, erhebt sich die Frage, ob es sich bei allem nicht nur um Sonderfälle, Zufälle und Ausnahmen handelt? Der Vorwurf einer mangelnden Verallgemeinerung wird durch die später erfolgende Ausdehnung der Ergebnisse des H-Atoms auf andere Atome (z.B. Helium, Lithium) entkräftet. Auch Photonen werden einbezogen; denn sie besitzen einen Impuls und können ebenfalls einen Ruhestoß ausführen. Wenn bisher vom Billardspiel die Rede war, dann nur, um auf die

Größenordnung und Elastizität der Kugeln anzuspielen. Die Kugeln müssen unterschiedliche Masse besitzen. Um bequem mit den Stoßquantenzahlen k und n hantieren zu können, empfiehlt sich die Definition einer *Normalform* des Impulses für den elastischen geraden Ruhestoß vom Typ FRS. Der Vorteil hinsichtlich der Geschwindigkeiten k und n wurde bereits gezeigt: Besitzt die stoßende Kugel vorher k , dann besitzt sie nachher $-n$, wobei das Vorzeichen den Rückstoß anzeigt. Die Massen ergeben sich aus $k \pm n$. Voraussetzung für dieses Kopfrechnen „ohne Stoßformel“ ist die Verabredung einer Gleichheit der Beträge von Durchschnittsmasse $(m_1+m_2)/2$ und Relativgeschwindigkeit (v_1). Dies ist nicht unerheblich und läuft darauf hinaus, dass beim Stoßtyp FRS die kleinere Masse ($k-n$) betragsmäßig zur Endgeschwindigkeit ($k-n$) der größeren Masse wird. Beim Stoßtyp ARS wird die größere Masse ($k+n$) betragsmäßig zur Endgeschwindigkeit ($k+n$) der kleineren Masse. Dies funktioniert nur unter der Verabredung der Zahlenbeziehung $(m_1+m_2)/2 = v_1$. Zur Unterscheidung von FRS und ARS sei erläutert, dass sie für die Umkehrung des Ruhestoßes nötig ist. Ein Zusammenstoß von zwei bewegten Partnern mit der Maßgabe, dass hinterher ein ruhender Partner verbleiben soll, kann frontal erfolgen, dann wird vom Frontal-Ruhe-Stoß (FRS) gesprochen, wie Abb. 175 zeigt. Beim Auffahrts-Ruhe-Stoß (ARS) ist den Pfeil der Relativgeschwindigkeit nicht an der leichten, sondern an der schweren Kugel anheftet, wie in Abb. 137 veranschaulicht wurde.

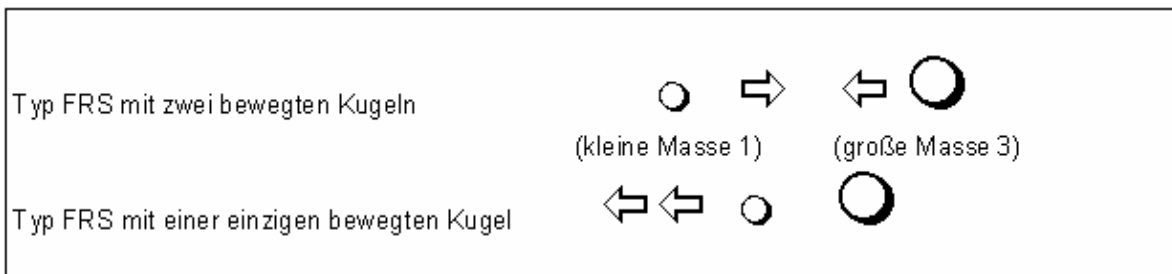


Abb. 175a: Umkehrung des Ruhestoßes vom Typ FRS, wo die große Masse zur Ruhe kommt.

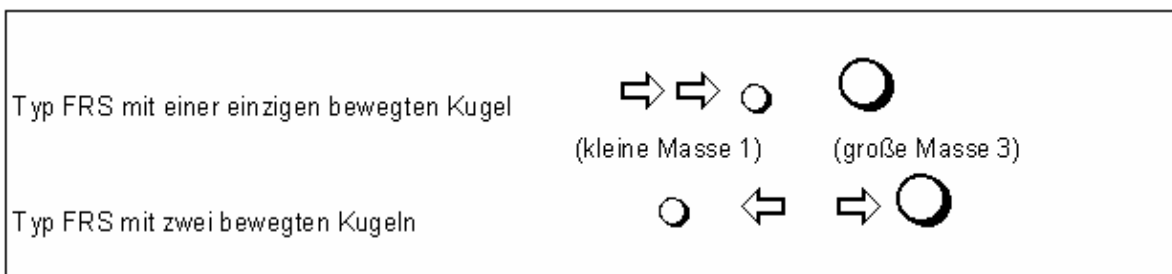


Abb. 175b: Ruhestoßes vom Typ FRS. Hier wird die ruhende große Masse in Bewegung versetzt.

Normalform einer beliebigen klassischen Stoßaufgabe

Wie gelangt man von einer beliebigen Stoßaufgabe zur bereits erwähnten „Normalform“? Die Normalform des Ruhestoßes ist nichts weiter als ein Stoß vom Typ FRS, also ein frontaler gerader Stoß auf einen ruhenden Körper, allerdings mit der Besonderheit, dass die Durchschnittsmasse beider Körper betragsmäßig der Relativgeschwindigkeit entsprechen soll, d.h. $m_{\emptyset} = v_{\text{rel}}$. Dann wird automatisch auch der Zahlenwert der kleineren Masse m_1 zum Zahlenwert der Geschwindigkeit u_2 der größeren Masse. Zur Herleitung entnehme man den Lehrbüchern oder Formelsammlungen der Physik die folgenden Stoßgleichungen (siehe auch These 44)

$$u_1 = (m_1 - m_2) / (m_1 + m_2) \cdot v_1 + 2 \cdot m_2 / (m_1 + m_2) \cdot v_2$$

$$u_2 = (m_2 - m_1) / (m_1 + m_2) \cdot v_2 + 2 \cdot m_1 / (m_1 + m_2) \cdot v_1$$



Abb. 176: Allgemeine Stoßgleichungen für den geraden elastischen Stoß zweier Körper der Massen m_1 und m_2 mit ihren Anfangsgeschwindigkeiten v_1 und v_2 sowie ihren Endwerten u_1 und u_2 .

Wir benutzen die untere Gleichung und setzen $v_2=0$ für den Ruhestoß in der Normalform. Die Endgeschwindigkeit des anfangs ruhenden Körpers beträgt u_2 , und die Gleichung verkürzt sich nach Multiplizieren mit (m_1+m_2) zu $u_2 \cdot (m_1+m_2) \cdot v_2 = 2 \cdot m_1 \cdot v_1$. Bildet man die Durchschnittsmasse $m_{\emptyset} = (m_1+m_2)/2$ und setzt die Startgeschwindigkeit gleich v_{rel} , dann gelangt man zu der besagten und für alle geraden elastischen Ruhestöße zutreffenden Beziehung $m_{\emptyset}/m_1 = v_{\text{rel}}/u_2$. Sie kann eingeschränkt bzw. verschärft werden durch die Verabredung einer zahlenmäßigen Gleichheit $m_{\emptyset} = v_{\text{rel}}$, woraus $m_1 = u_2$ resultiert. Die Schreibweise mit den Stoßquantenzahlen k und n ergibt tatsächlich $k-n=k-n$. Die Gleichheit der Beträge $m_1 = u_2$ ist eine Spezifikation der Ruhestöße in Normalform.

Selbstverständlich genügen aber nur die wenigsten Aufgaben der Bedingung einer Normalform, deshalb muß vorher eine Umformung vorgenommen werden, wozu ein additives Glied V und ein Faktor F dienen. Mit dem additiven Glied V ist das Bezugssystem der Geschwindigkeiten längs der Stoßgeraden soweit zu verschieben, dass der Vorgabewert v_2^* auf null $v_2=0$ transformiert wird, wodurch also ein Ruhestoß herbeigeführt wird. Die vorgegebene Relativgeschwindigkeit v_{rel}^* bleibt dabei zunächst unberührt konstant. Sie wird nun durch das multiplikative Glied F so verändert, dass ein neues v_{rel} entsteht, welches dem Betrag nach der Durchschnittsmasse $\frac{1}{2} \cdot (m_1+m_2)$ entspricht, womit automatisch v_1 festgelegt wird, da v_2 null ist.

Normalform einer beliebigen klassischen Stoßaufgabe

Im weiteren Text sind die Geschwindigkeitswerte meistens so gewählt, dass auf eine Umrechnung verzichtet werden kann, d.h. $V=0$ und $F=1$. Ansonsten geschieht die Umrechnung so, wie es im folgenden Beispiel demonstriert wird. Die noch nicht umgerechneten Vorgabewerte v_1^* und v_2^* sind mit einem Stern gekennzeichnet.

Beispiel: Erster Stoßpartner mit kleiner Masse $m_1=3$ g und mit $v_1^*=3$ cm/s. Zweiter Stoßpartner mit großer Masse $m_2=5$ g und mit $v_2^*=-5$ cm/s. Durch lineares Verschieben auf der Geschwindigkeitsskala, d.h. durch beiderseitiges Addieren des additiven Gliedes V von 5 cm/s erreicht man zunächst den Fall eines Ruhestoßes $v_2=0$, $v_1=8$. Durch einen Faktor $F=0.5$ erhält man $F \cdot v_1 = \frac{1}{2} \cdot (m_1+m_2) \cdot v_{rel}$. Die neue Aufgabe lautet nunmehr $k=4$ und $n=1$ und liefert das Ergebnis $u_1=-n$ und $u_2=k-n$. Einen auf die Zahlen k und n normalisierten Stoß kann man durch Kopfrechnen lösen. Die Formulierungen mit k und n sind dimensionslos, die Zuordnung von Masse und Bewegung steht zwar im Hintergrund; dennoch gelangt man zu einer höheren Verallgemeinerung. Die untere Gleichung von Abb. 176 ergibt umgeformt die linke Formel von Abb. 177, zu der im folgenden Beispiel die Anfangswerte $m_1=3$ $m_2=5$ $v_2=0$ und $v_{rel}^*=1$ gegeben sind. Mit $V=0$ und $F=5$ gelangt man zur Normalform.

$$\begin{array}{|c|} \hline \frac{m_1 + m_2}{2 \cdot m_1} = \frac{v_{rel}}{u_2} \\ \hline \end{array}
 \quad
 \begin{array}{|c|} \hline \frac{(k - n) + (k + n)}{2 \cdot (k - n)} = \frac{F \cdot k}{F \cdot (k - n)} \\ \hline \end{array}
 \quad
 \begin{array}{|c|} \hline \frac{3 + 5}{2 \cdot 3} = \frac{5 \cdot 5}{5 \cdot 3} \\ \hline \end{array}$$

Abb. 177: Im linken Teil ist die Durchschnittsmasse durch Umrandung markiert. Im mittleren Teil wird die linke Gleichung mit der Schreibweise $k \pm n$ wiedergegeben, und im rechten Teil sind Werte des Beispiels eingezeichnet. Die Gleichheit von m_1 und u_2 , welche beide den Wert 3 besitzen, ist durch eine Umrandung angezeigt.

Der ermittelte Normalfall entspricht dem Schülerbeispiel (Abb. 135), weitere Ergebnisse dazu sind $k=5$ $n=2$ $m_{red}=2,1$ Paaranzahl=6 und Anzahl der Impulseinheiten für $u_2 = 2 \cdot m_{red} \cdot v_{rel} = 2 \cdot 2,1 \cdot 5 = 21$.

Es fragt sich nur, ob diese Prozeduren mit V und F auch auf höchste Geschwindigkeiten ausgedehnt werden können? Gleichgültig ist, ob sich ein Elementarteilchen der Masse m mit v bewegt oder ob sich ein sehr kleines virtuelles Teilchen der Masse μ mit c bewegt; denn die Impulse $m \cdot v = \mu \cdot c$ sind gleich. Formal verwandelt sich Masse in Geschwindigkeit, doch das ist nichts Neues. Beim elastischen geraden Schwerpunktstoß trifft dies wegen $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$ sogar für beide Seiten zu; denn die Masse m_1 verwandelt sich formal in die Geschwindigkeit v_2 , während die Geschwindigkeit v_1 sich formal und betragsmäßig in die Masse m_2 verwandelt, wobei Maßeinheiten und ganze Zahlen keine Rolle spielen. Die Gleichheit der Impulse im

Schwerpunktstoß verbietet allerdings die gewohnte Formulierung $\mu_1 \cdot c_1 = \mu_2 \cdot c_2$; denn c ist konstant. Auf die Eigenart der Formulierung mit k und n , dass diese Sachverhalte in dimensionsloser Form deutlich werden, war bereits hingewiesen worden. Die Normalform ($F=1$ und $V=0$) wurde zwar mit ganzen Zahlen und mit der Umschreibung von k, n eingeführt, aber es geht auch ohne ganze Zahlen und ohne die $k \pm n$ Schreibweise. Beispiel: Eine stoßende Kugel m_1 mit einem Impuls $\sqrt{2}$ möge eine ruhende Kugel m_2 in Bewegung setzen. Das Verhältnis m_2/m_1 sei $\sqrt{5}$. Als Ergebnis erhält man gemäß Impulserhaltungssatz $p_1 + p_2 = \sqrt{2}$. Der Stoß teilt die Impulse nach dem Stoß im Verhältnis $p_2 : p_1 = -(G^2+1)$, wobei G hier zufällig den Goldenen Schnitt bezeichnet, k/n ist ebenfalls zufällig G^2 .

Lösungsweg: $m_1 + m_2 = 2 \cdot k$; $m_1 + \sqrt{5} \cdot m_1 = 2 \cdot k$; $m_1 \cdot k = \sqrt{2}$;
 aufgelöst nach $m_1 = 2 \cdot k / (1 + \sqrt{5}) = \sqrt{2} / k$ daraus
 $2 \cdot k^2 = (1 + \sqrt{5}) \cdot \sqrt{2}$ $k = \sqrt{(\sqrt{2} + \sqrt{10})} / \sqrt{2} = 1,512694$
 Impuls: $p_1 = (k-n)(-n) = -0,54018$ $p_2 = (k+n)(k-n) =$
 $1,9543$ $p_1 + p_2 = \sqrt{2}$ $G = 1,6180$; $G^2 = 2,6180$
 Energie: $2 \cdot E = m_1 \cdot k^2 = m_1 \cdot (-n)^2 + m_2 \cdot (k-n)^2 =$
 $2,1392 = 0,31211 + 1,8271$ $n = 0,5777980$



Abb. 178: Lösungsweg. Es zeigt sich, dass die berechnete kleine Masse m_1 (0,9348 kg) und der Geschwindigkeitswert u_2 (0,9348 m/s) der in Bewegung versetzten Masse als Beträge gleich sind.

Die alternative Möglichkeit der Stoßbeschreibung mit k und n läßt sich bei Energie und Impuls vorteilhaft einsetzen. Als Beispiel möge die reduzierte Masse $m_{\text{red}} = (k+n) \cdot (k-n) / (2 \cdot k)$ bei der Impulsberechnung dienen. Beim Ruhestoß erhält das ruhende schwere Teilchen den Impuls $m_2 \cdot u_2 = 2 \cdot m_{\text{red}} \cdot v_1$ mit $v_1 = k$ als Relativgeschwindigkeit.

Normierung auf Ruhmasse

Zur Ruhmasse m_0 existiert keine Geschwindigkeit, höchstens eine Ruhegeschwindigkeit null. Insofern hat der Impuls eine Gemeinsamkeit mit der SRT: Ohne Geschwindigkeit kein Impuls und keine Relativistik. Ein Umkehrschluss dazu, der in den Anfangsthesen etwas unverständlich geblieben ist, lautet: Wenn ein Impuls vorliegt, dann besteht auch ein Bezug zur Lichtgeschwindigkeit. Wir erinnern noch einmal an die Form $m \cdot v = \mu \cdot c$, welche in These 11 wegen des teuflischen Charakters als „diabolische“ Impulsformel bezeichnet wurde. Noch grotesker ist eine Verbindung der SRT zum Impulspaar. Entsprechend der oben in Abb. 163 vorgenommenen Gleichschaltung von Atom, Stoßmechanik und SRT gelangt man zu einer

überraschenden Feststellung. Nimmt man beispielsweise für den Fall $k=2$ und $n=1$ den Energieanteil des schweren Körpers, so beträgt dieser $\frac{3}{4}$ der Gesamtenergie. Schließt man, wie in These 51 ausgeführt, von dieser Energie auf das relative Geschwindigkeitsquadrat β^2 , dann sagt die SRT eine relativistische Verdopplung von Masse und Zeit oder auch eine Halbierung der Länge voraus. Von der ruhenden Kugel aus beurteilt, erscheint die sich nähernde stoßende Kugel so, als habe sie eine relativistisch größere Masse, und tatsächlich tritt beim Stoß eine Masse zu Tage, die, wenn man die Impulspaare mit einbezieht, verdoppelt ist. Mit anderen Worten: Es hat bei dieser zunächst flüchtigen Analogie zur SRT den Anschein, als ob einige relativistischen Effekte nichts weiter als Erscheinungsformen von Impulspaaren sind. Dies deckt sich selbstredend mit der in den Thesen proklamierten Feststellung, dass die Atombindung ein 100%iger Effekt der SRT ist. Auch andere Phänomene führen zu diesem Schluss, der durchaus zum Kenntnisstand der Physiker etwas nennenswert Neues darstellt. Diese Angaben sind hier nur angedeutet und bedürfen noch einer ausführlichen Erläuterung. Die Verbindung der Stoßquantenzahlen k und n mit den Quantenzahlen sowie die Gleichschaltung mit der SRT erleichtert dabei die Argumentation.

Ein fragwürdiger Aspekt betrifft das Wesen der Bewegung, welches in den Thesen als ein Auftauchen und Verschwinden erklärt wird. Elektromagnetische Wellen sind ihrer Natur nach auch nichts anderes als ein periodisches Entstehen und Vergehen. Allerdings sind die Details bei Materiewellen noch unklar, insbesondere hinsichtlich der Ruhmasse.

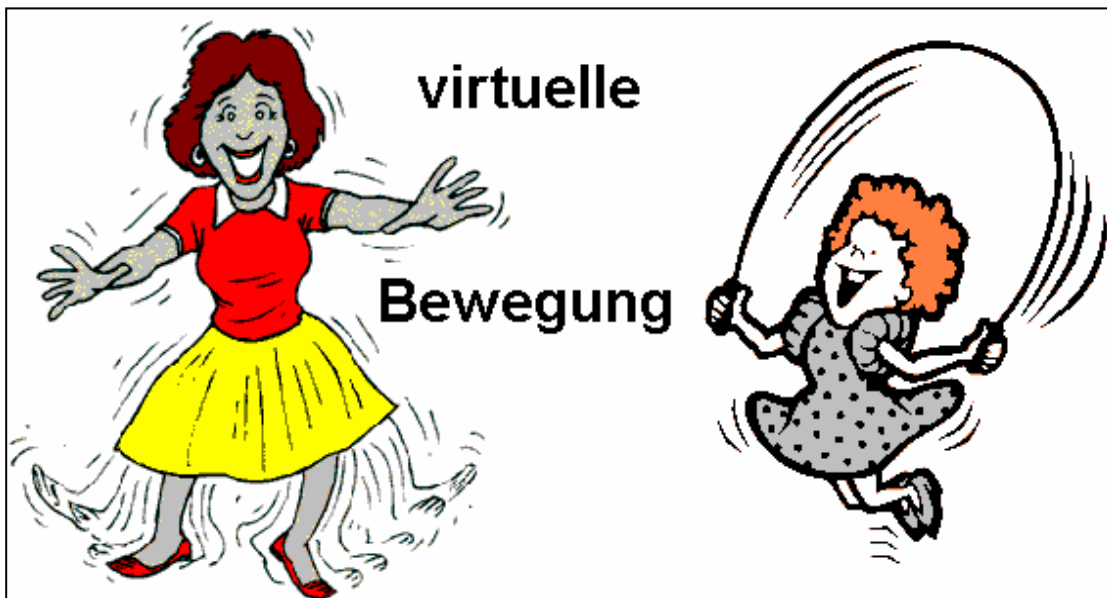
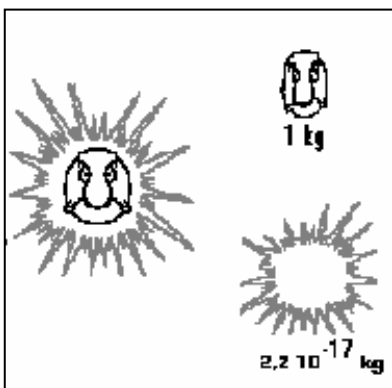


Abb. 179: Bewegung als Vorspiegelung und Sinnestäuschung

In den Thesen werden Vorstellungen unterbreitet, wie die gleichförmige Bewegung als eine Vorspiegelung aufgefasst werden könnte. Die vertrauten Merkmale „Bewegung“ und „Abstand“ werden dabei zur Sinnestäuschung erklärt, und der Schwerpunkt der Ruhmassen wird zum zentralen Bezugspunkt für virtuelle Teilchen, die die Bewegung vorgaukeln. In Zeichnungen wird Bewegung oft durch Striche markiert, wie die Hüpfbewegungen in Abb. 179. Um physikalischen Objekten Leben zu verleihen, muß man ein höheres Niveau vorlegen. Man muß erkennen, dass jede Geschwindigkeit Impulse und relativistische Effekte hervorruft. Wir quantifizieren dies an einer Ruhemasse von $m_1=1$ Kilogramm, die so angestoßen wird, bis eine Geschwindigkeit $v_1=2$ Meter/Sekunde erreicht worden ist, womit eine auf c bezogene relative Geschwindigkeit mit dem geringen Wert $\beta = 6,67 \cdot 10^{-9}$ entsteht. Die SRT liefert daraus ein Verhältnis $m_0/m = \eta = 1 - 10^{-17}$; denn die Lorentztransformation fordert $\beta^2 + \eta^2 = 1$. Die entsprechende Massenzunahme, d.h. die Differenz $m - m_0 = \Delta$ hat den Wert $2,22 \cdot 10^{-17}$ kg, und in dieser fast vernachlässigbaren Größenordnung liegt auch die relativistische Veränderung der Zeit und der Länge. Die Größe der kinetischen Energie, die äquivalent zur Massenzunahme ist, kann nun in der Maßeinheit Joule beziffert werden. Die Bewegungsenergie $\Delta \cdot c^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{rel}^2 = 2$ Joule ist sehr gering, im atomaren Maßstab erscheint jedoch die umgerechnete Energie von $1,25 \cdot 10^{19}$ eV recht groß, und man könnte daraus theoretisch über eine Milliarde Protonen herstellen. Diese flüchtige Bewegungsmasse, die einmal aus der Stoßenergie und zum anderen aus der SRT resultiert, entfaltet sich um den Schwerpunkt und täuscht Bewegung hervor. Abb. 180 versucht, diesen Sachverhalt mit dem winzigen Massenzuwachs zu symbolisieren. Die Impulsteilchen treten allerdings nicht in der skizzierten wirren Form, sondern als geordnete



Formation auf. Der Widerspruch, dass einmal relativistische Massenteilchen und einmal Impulsteilchen als „Beweger“ dienen sollen, wird noch verstärkt, indem Photonen als Quasiteilchen in die Überlegung einbezogen werden. Das kinetische Fluidum, welches in geheimnisvoller Weise den Abstand zweier Teilchen verändert, bleibt trotz der Andeutungen noch im Dunkeln. Der Faktor F regt stets zu diesen Überlegungen an.

Abb. 180: Der Größenunterschied als Karikatur. Trotz der Kleinheit der Bewegungswolke mit dem Massenäquivalent von $2,2 \cdot 10^{-17}$ kg verleiht diese der Ruhmasse von 1 kg überhaupt erst die Geschwindigkeit von 2 m/s. Man beachte trotzdem den Unterschied zwischen Ruhmasse und Ruhe. Der Faktor F ist der Schlüssel für den Übergang vom klassischen zum relativistischen Stoß.

Ein Unbehagen beim Gedanken an Impulspaare?

Ein Unbehagen beim Gedanken an Impulspaare?

Ein Tennisball, der an einer Fläche reflektiert wird, vollführt einen Stoß vom Typ FRS, wobei sämtliche reflektierten Impulseinheiten durch Paartrennung entstanden sein müssen. Wenn jedoch eine bewegte schwere Kugel gewissermaßen auf die ruhende leichtere Kugel auffährt (ARS), dann behalten die beiden in Bewegung befindlichen Kugeln unter Annahme eines geraden Stoßes die Stoßrichtung bei. Die verwendete Abkürzung ARS bedeutet Auffahrts-Ruhe-Stoß; und bei diesem Typ gibt es keinerlei Hinweise auf die Mitwirkung von Impulspaaren. Zum Überdenken der Angelegenheit kann man sich in zwei kollidierende Autos versetzen, die einmal als Auffahrtsunfall und einmal als Frontalzusammenstoß mit gleichem v_{rel} aufeinanderprallen. Die Wirkung auf die Insassen dürfte gleich sein, doch in der Bilanz bringt die Demolierung beim elastischen FRS einen Gewinn von Impulspaaren, während beim ARS keine Impulspaare entstehen.

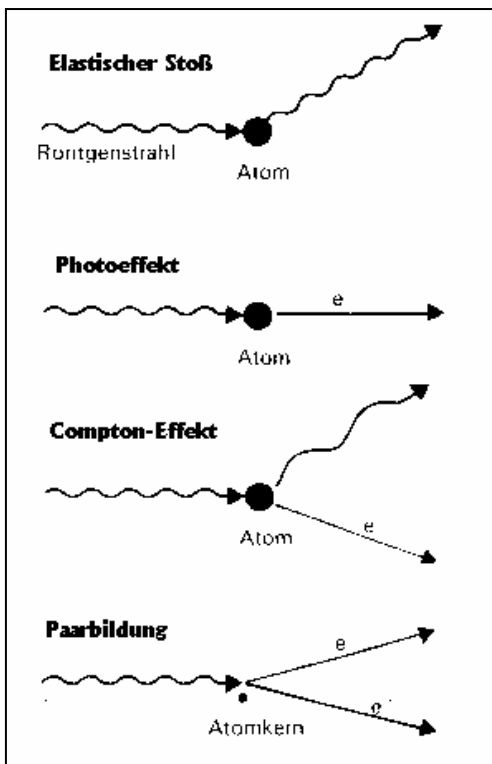


Abb. 181: Autozusammenstoß als gerader, zentraler und total elastischer Frontalstoß mit der Abkürzung FRS. Diese häufigste und geläufige Art des Ruhestoßes liegt auch bei der „Normalform“ zugrunde. Der Auffahrtsstoß ARS ist in der Welt der Stöße seltener und unnormal, wenn es um die Impulspaare geht; denn hier treten keinerlei Impulspaare in Erscheinung, sie sind in einem äußeren Bezugssystem verborgen.

Im Impulsreich, wo die Richtung der Impulse durch Mädels und Jungs verkörpert wurde, bedeutet der Stoßtyp ARS das alleinige Auftreten von nur Mädels oder nur Jungs. Eine Paarbildung oder Paartrennung ist daher nicht erforderlich und nicht möglich. Dies widerstrebt unserem Gefühl und unserer Erfahrung von der relativen Geschwindigkeit v_{rel} .

Warum sollte ein Stoßvorgang, der in ein anderes bewegtes Bezugssystem gesetzt (und damit zum Typ ARS) wird, plötzlich keine Impulspaare mehr aufweisen? Nun ist man nicht verlegen, wenn es um Ausreden geht, und so kann man die Impulspaare in ein äußeres System verlagern. Die zu These 10 gehörende Tabelle demonstriert an zwei Kugeln der Masse 2 und 4, wie der Übergang von einem Grenzfall ARS (nur Jungs) über die gemischten Fälle zum anderen Grenzfall ARS (nur Mädels) vor sich geht. Hauptsache ist die Einhaltung des konstanten Wertes v_{rel} . Zwischen den Grenzfällen des ARS liegen inmitten der Schar der Möglichkeiten die Sonderfälle FRS und der Schwerpunktsstoß. Könnte es sein, dass der Stoß unverfälscht nur in seiner Normalform vorliegt, während alle übrigen Fälle Überlagerungen des

Bezugssystems sind? Beim Grenzfall des ARS wäre dann die überlagerte, aufoktroierte Geschwindigkeit maximal. Die berühmte Umkehrbarkeit der Mechanik erfährt, so könnte man argumentieren, hier eine Einschränkung; denn je mehr Impulspaare beim Stoß getrennt werden müssen, desto mehr Ressourcen der Mechanik werden verzehrt. Die Umverteilung der Stoßenergie im Sinne einer gerechteren Energieaufteilung, die in These 56 erörtert wird, ließe sich noch anführen. Doch wie steht es mit den Lichtquanten, für welche dies auch gelten müßte? Ein Lichtstrahl, der am Spiegel reflektiert wird, vollzieht einen Stoß vom Typ FRS und ist verbunden mit einem maximalen Verbrauch von Impulspaaren.



Wer jedoch einen Einblick in das Verhalten eines einzelnen Photons gewinnen will, kann dies am Mößbauer-Effekt studieren, wo sich der Rückstoß des emittierten Quants bei der Resonanzabsorption so deutlich bemerkbar macht, dass er geradezu zum Anfassen ist. In Abb. 113 wurde die Frage der Impulspaare am Comptoneffekt studiert, und es zeigte sich, dass der Reflexionswinkel ϑ den Übergang vom Stoßtyp FRS zum Stoßtyp ARS bestimmt, und Abb. 137 zeigt die Grenzfälle. Wo bleibt hier das äußere Bezugssystem? Die Stöße unter Beteiligung von Photonen werden oft idealisiert, tatsächlich verlaufen die Reaktionen nur in einem Wirtsatom ab, das als Katalysator wirkt, siehe Abb. 182.

Abb. 182: Photonen als Stoßpartner in vier Beispielen. Der letztgenannte Fall betrifft Paare aus Teilchen und Antiteilchen.

Im Vakuum finden keinerlei Wechselwirkungen zwischen Photon und Photon statt und man fragt sich, wie der Urknall funktionieren konnte. Die Frage nach dem Verbleib der Impulspaare bleibt also weiterhin offen. Angenommen, die bei einem normalisierten Stoß entstandenen Paare befinden sich in der ruhenden Masse, und angenommen, diese Masse wird in einen weiteren Stoß mit einem dritten Partner verwickelt. Da es sich um drei Partner handelt, müßte man Herrn Dreistein um Auskunft bitten, was aus den Paaren wird. Vielleicht fahren diese Paare bei erneuter Bewegung als „schwarze Passagiere“ mit? Indirekt geht es stets um die Frage nach dem Wesen der

„Bewegung“. Die Leptonen, zu denen das Elektron gehört, sind strukturlose Teilchen; sie bestehen aus einem Nebel, der sich zum Zentrum hin verdichtet. Wie kommt die Ruhmasse m_0 zustande und wo ist sie lokalisiert? Sicherlich handelt es sich um einen mit größter Genauigkeit ausgestatteten magischen Eigenwert. Eine in Bewegung versetzte Ruhmasse darf man sich vorstellen, als sei sie umgeben von einer Armada von Begleitfahrzeugen. Doch anstelle von Spekulationen über die bereits deklarierten relativistischen Bewegungselemente sollen zunächst weitere Anwendungen untersucht werden. Einstein hat sich auch nicht den Kopf über den Bewegungsbegriff zerbrochen, statt dessen hat er, unter Mitwirkung von Minkowski, Raum und Zeit in einen Vierervektor gesteckt, ist also in eine vierte Dimension ausgewichen. Die von Zweistein proklamierten Impulspaare sind dagegen noch weniger als eine Dimension. Linientreue Jungs und Mädels sind ausdehnungslose Geschöpfe, die in einer Linie gerade mal ein Vorzeichen und eine Einheit haben dürfen. Beginnend mit Seite 243 wird deutlich, dass Paare nicht erschöpfend die relativistischen Effekte erklären können, dazu bedarf es der z-Werte. Über allem schweben die G-Zahlen von Abb. 155, denen eine tragende Rolle beim Graviton zukommt. Fragen zur Erweiterung des Zweiteilchensystems z.B. durch ein zweites paralleles System etwa nach Art von Abb. 175, werden über Gravitonen erklärt. Liegen mehrere Wechselwirkungen vor, wie z.B. in einem elektrischen Feld, dann ist eine Beantwortung des Zusammenspiels der Gravitonen unerlässlich.

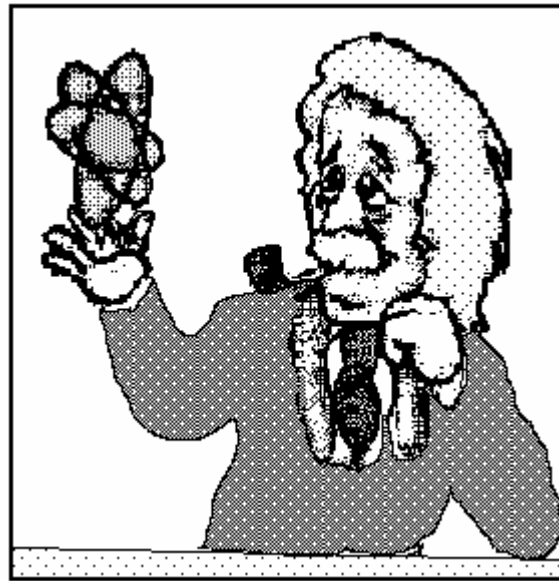


Abb. 183: Einstein beim Spiel mit dem Atom, das zu 100% relativistisch sein soll. Im Rahmen der Ganzheitstheorie wird das Graviton für alle Wechselwirkungsarten verantwortlich gemacht.

Wir sind immer noch beim Thema der Verkopplung der in 1.3.1 genannten Beziehungen a) bis c) von Abb. 163, wo es um eine umstrittene Gleichschaltung von Atom, Kugelstoß und SRT geht. Zum H-Atom hörten wir aus berufenem Munde, nämlich von J. Balmer, eine Meinung, und nun soll eine Ausdehnung auf das Helium folgen. Das Atom He ist ein Prüfstein für die Impulspaartheorie. Wir verwickeln dazu den schwedischen Physiker Johannes Robert Rydberg, der von 1854-1919 lebte, rückwirkend in ein Zwiegespräch.

Ionisierungsenergie in eV des vorletzten inneren Elektrons										
H	-									
He	24,579	-								
Li	-	75,63	-							
Be	-	-	153,9	-						
B	-	-	-	259,3	-					
C	-	-	-	-	391,9	-				
N	-	-	-	-	-	551,9	-			
O	-	-	-	-	-	-	739,1	-		
F	-	-	-	-	-	-	-	953,6		
Ne	-	-	-	-	-	-	-	-	1190	

$$\frac{1}{I_z} = \frac{1}{Z^2} + \frac{1}{Z^2 \cdot (Z-1) \cdot 0,8}$$

Abb. 184: Diagramm der Ionisierungsenergie I_z heliumähnlicher Atome in Abhängigkeit von der Kernladungszahl Z sowie eine empirische Serienformel. Für die Ionisierung der wasserstoffähnlichen Atome, d.h. für die Entfernung des innersten, letzten Elektrons entfällt der letzte Term der Serienformel, d.h. die Energie steigt mit Z^2 . Die Angaben sind in eV und können durch Bezugnahme auf 13,6 eV in Wellenzahlen umgerechnet werden.

Dialog über Helium und Impulspaare mit Rydberg im Jahr 2000

Zweistein: Es ist ein Wunder unserer Zeit, dass man die Altmeister mit einem Zeitsprung in die Vergangenheit wenigstens kurz für ein Interview gewinnen kann. Es ist aber auch ein Wunder Ihrer Leistung, dass Sie in der verwirrenden Welt der Spektren Ordnung geschaffen und mit der Einheit „Rydberg“ ein wichtiges Hilfsmittel für die Nachwelt hinterlassen haben.

Rydberg: Wie ich sehe, ist diese Energieeinheit als Äquivalent für die Rydbergkonstante R_∞ bereits wieder veraltet, aber in Form des Wertes 13,60569172 eV wird sie stets als eine markante physikalische Einheit gelten. Wie ich aus Ihren Thesen ersehe, haben Sie den Aktionsradius von R_∞ weidlich ausgedehnt und insbesondere in die SRT einbezogen. Aber kommen wir zum Thema Helium und Impulspaare, welches angesagt war.

Zweistein: Ja, es geht um die Auswertung von Spektren, also um die empirische Zusammenfassung spektraler Daten zu Serienformeln. Ich sympathisiere mit dieser Methode und hatte 1994 eine empirische Zuordnung veröffentlicht, wo es um Ionisierungsdaten heliumähnlicher Atome ging. Die Abb. 184 ist ein Beispiel, entstanden nach der Art von Balmer.

Rydberg: Mir brauchen Sie das nicht zu sagen, ich hatte 1890, fünf Jahre nach Balmers Entdeckung, ebenfalls nur empirisch nach einem Ordnungsprinzip für Serienformeln gesucht. Ich sehe hierin auch heute noch ein reiches Betätigungsfeld, und man kann die Jugend 2000 nur beneiden über ihre Computer, die alle Fleißarbeit abnehmen. Trotzdem ist die Zuordnung wichtiger als die Empirie. Nehmen wir Ihre besagte Abb. 184 und Ihre Formel, welche die Kernladungszahlen $Z=2$ bis 11 umfasst. Die als Konstante 0,8 ausgewiesene Größe ist doch sicherlich noch durch Zusatzterme zu ergänzen. Anders gesagt, der Wert 0,8 muß für den Einzelfall noch präzisiert werden und beträgt, wenn meine Kontrollrechnung stimmt, für das Anfangsglied Helium 0,824307. Wer einen Wert vorgibt, um daraus einen anderen zu berechnen, macht sich der Manipulation verdächtig.

Zweistein: Die Funktion überstreicht einen ziemlich großen Bereich und man kann sich glücklich schätzen, das Panorama des PSE in diesem Punkt überschauen zu können. Dass es, besonders für Anfangselemente eines Zusatzterms bedarf, ist richtig, dieser ist aber wiederum als Funktion von Z darstellbar. Mir geht es insgesamt um die Aufwertung solcher Serienformeln gegenüber den Theorien, d.h. Balmer ist theoriefrei und mehr als Bohr.

Rydberg: Damit schießen Sie aber über das Ziel hinaus, weil das Modell von Bohr in aller Munde ist, aber Balmer weitgehend unbekannt bleiben wird.

Zweistein: Nun geschätzter und verehrter Herr Rydberg, nach Ihrem Ausscheiden aus dem Leben im Jahre 1919 haben sich andere Theorien etabliert, die sich geradezu selbstherrlich abheben. So kommt man mittels aufwendiger Rechnung mit Quantendefekten zu Ergebnissen, die überhaupt keine Zahlen liefern, sondern nur Funktionen, deren Koeffizienten anhand der Messwerte bestimmt werden müssen. Dies ist niederschmetternd und ein Trauerspiel, aber keine Zuordnung oder Erklärung. Empirisch gelangt man dagegen z.B. für die Fundamentalserie des Heliums zu einer Serienformel, die mit einer einzigen Konstanten die Werte bestens im Rahmen der Messgenauigkeit beschreibt (These 84).

Rydberg: Aber Sie selbst sind mit Ihren Impulspaaren auf der Suche nach Ganzheit wohl ganz frei von Theorien?

Zweistein: Gestatten Sie, dass ich Ihre theoriefreie Konstante Ry benutze, um die gewaltige Tragweite anhand von Abb. 186 zu demonstrieren. Vorausgeschickt sei, dass der Wert Ry auf das Elektron zurückgeführt wird.

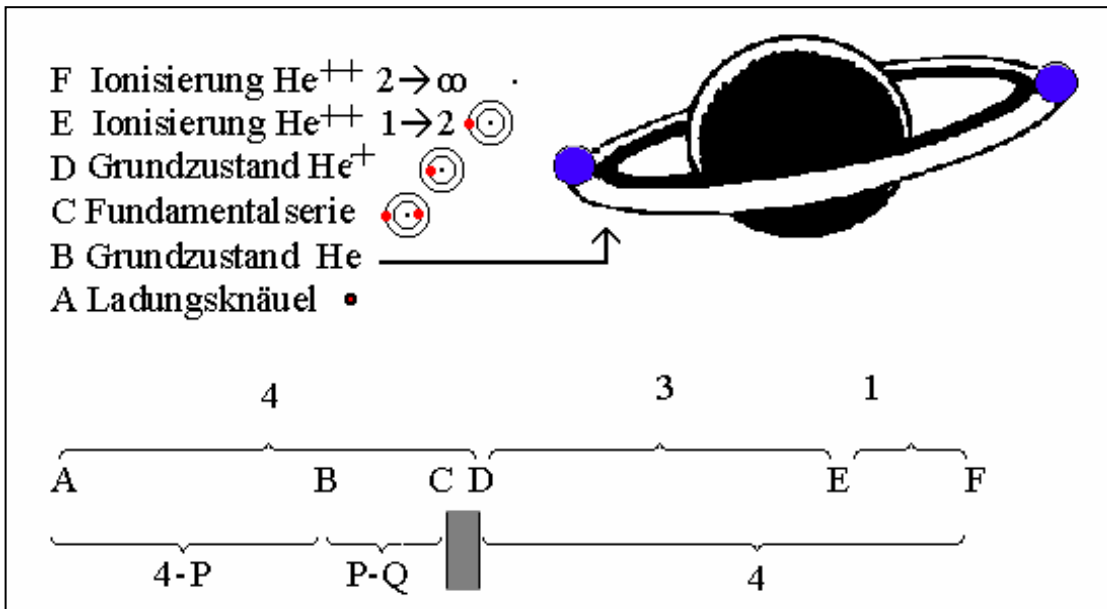


Abb. 186: Sechs markante Niveaus des Heliums von F bis A. Die Spanne D-B=P (im Text I_p) bezeichnet die Ionisationsenergie des neutralen Heliums. Sie wird auch Fundamentalserie genannt wird, deren erste Anregungsstufe C-B =Q als Q (im Text I_Q) bezeichnet wird.

Fasst man das Energieäquivalent von Ry als ein Bindungsteilchen auf, dann erweist sich dieses als ein „relativistisches“ Splitterchen der Masse m_e , gemäß $Ry = m_e \cdot K$. Da die Rydbergkonstante nicht nur vom Elektron, sondern von der reduzierten Masse abhängt, ist für He $m_{red} = 1,000136 \cdot m_e$ zu schreiben. Davon abgesehen dominieren in der Tabelle ganze Zahlen.

Rydberg: Sie spielen auf diejenigen Übergänge an, wo sich nur die Ladungszahl ändert, also Zeile F, D und A. Das letzte Niveau bezeichnet das einfach geladene Heliumion ${}^4\text{He}^+$, sozusagen im Grundzustand. Aber was soll das Ladungsknäuel in Zeile A?

Zweistein: Das ist eine Kombination des Heliumkerns $Z=+2$ mit einem Teilchen mit doppelter Elektronenmasse und mit $Z=-2$, das hier DoppelElektron genannt werden soll. Die Annahme solcher verdoppelten Elementarteilchen erfolgt nur rechnerisch, die nackten Atomkerne des gesamten Periodensystems beweisen jedoch, dass die Bündelung von positiven Ladungen möglich ist, wenn auch nur unter Mitwirkung von Neutronen. Die Bindungsenergie solcher exotischer Atome müßte durch die Eigenschaft, ganze Zahlen in der Maßeinheit Ry zu liefern, auffallen. Durch Anregung des Zustands A mit $4 Ry$ zerfällt das Ladungsknäuel in ein freies Elektron und in das wasserstoffähnlich Helium (Zustand D).

Rydberg: Interessanter wäre aber der Übergang von A nach B, womit der Grundzustand des neutralen Heliums entstehen dürfte. Dieser Vorgang findet zwar in der Natur vermutlich nicht statt, wäre jedoch als Gedankenexperiment hilfreich, wenn er dazu beitragen würde, den Zahlenwert I_P für die Ionisierung des „äußeren“ Elektrons einleuchtend berechnen zu können. Der notwendige Energiebedarf für diese hypothetische Umwandlung beträgt entsprechend Ihrem Schema in Ry ausgedrückt $8 - (4+ I_P) = 2,19262$.

Zweistein: Dieser Energieaufwand für die fiktive interne Bildung bzw. Rückbildung eines Doppelelektrons aus zwei Elektronen im Helium verursacht einen äußerlich bewegungslosen Vorgang. Die zwei Pluseinheiten und zwei Minuseinheiten kompensieren sich einmal ohne und einmal mit Abstoßung. Nach dem Coulombschen Gesetz wird die Anziehungskraft und die Energie durch das Produkt der Ladungen bestimmt. Mit dem Auftreten einer Abstoßung der beiden getrennten Elektronen wird, wie man meinen könnte, der Abstand im Grundzustand unentbehrlich. Die Fakten weisen jedoch darauf hin, dass *kein kompliziertes* elektrostatisches Dreikörpersystem mit Anziehung und Abstoßung entsteht. Die Spektroskopiker haben eine Vorstellung entwickelt, wonach das innere Elektron die Kernladung abschirmt, was durch Abschirmkonstanten berücksichtigt wurde. Nach unserer Formel äußert sich dies in dem o.g. Faktor $(Z-1)$, doch der Haupteinfluss rührt von der „kleinen Sommerfeldkonstante“ $s = \alpha^{-1} \cdot 10^{-3}$. Sie ist die entscheidende Vorgabe für das Heliumspektrum.

Rydberg: Auch zu meiner Zeit wurde bereits alles Erdenkliche probiert. Was die Anregung des äußeren Elektrons von B nach C in Abb. 186 anbetrifft, so kann man vom H-Atom ausgehen und den ersten Lymanübergang $1-1/4$ übertragen in Schreibweise I_Q/I_P' mit $I_P' = 1$ Ry. Beim Helium wäre $I_P = 1,807$ Ry. Anstelle von I_Q' als erster Anregungsstufe, dem ersten Übergang der Lymanserie entsprechend, wäre $I_Q = 1,55$ zu schreiben. Soweit ist mir alles klar. Das s ist mir allerdings unbekannt.

Zweistein: Mit s sind die Messwerte I_P und I_Q mit guter Genauigkeit berechenbar. Es eröffnet sich der Zugang einmal zum Grundzustand $(4+ I_P)/8 = 1-2 \cdot s$ und einmal zum ersten angeregten Zustand $I_Q/I_P = 1-s$. Aber mehr noch! Eine Kombination des Heliumkerns mit dem Antiheliumkern entspricht diesem Muster und würde den sehr hohen Wert $m_{He}/2 \cdot K \cdot 2 \cdot Z^2 = 4 \cdot (4 \cdot 1836)$ als Atombindungsenergie in Ry ergeben. Alle Atombindungsenergien, die in Tab. 169 aus den Massen hergeleitet wurden, basieren auf s . Sieben auf einem Streich! Dieser Fall verdient eine gesonderte Besprechung. Vielen Dank!

1.3.2 Der Ruhestoß und die Stoßquantenzahlen k und n **Ruhestoß und Schwerpunktstoß**

Satz: Wenn zwei Körper mit den Massen m_1 und m_2 gerade und elastisch zusammenstoßen, dann läßt sich ihr Stoßverhalten sowohl beim Schwerpunktstoß als auch beim Ruhestoß allein durch die reduzierte Masse m_{red} und die konstante Relativgeschwindigkeit v_{rel} beschreiben. Erfreulicherweise ist die Summe *aller* Impulsbeträge beim Schwerpunktstoß gleich dem Impuls der in Bewegung gesetzten ruhenden Masse, welcher den Wert $2 \cdot m_{\text{red}} \cdot v_{\text{rel}}$ besitzt. Wir wollen diesen trockenen Satz mit Leben erfüllen. Wie kommt es, dass Schwerpunktstoß und Ruhestoß so eng mit m_{red} verwandt sind? Beide Vorgänge haben etwas mit Ruhe zu tun. Ein Spaßvogel könnte einräumen, dass jeder Stoßvorgang durch einen Ruhezustand gleitet, wenn man nur die Momentaufnahmen hinreichend kurz gestaltet, doch auch eine nur für den Augenblick registrierte Ruhe setzt offenbar eine Parität der Impulse voraus. Beim Schwerpunktstoß herrscht zwischen beiden Partnern definitiv Impulsgleichheit, genauer gesagt eine Impulsbalance der gegeneinander gerichteten Impulse. Die im folgenden Beispiel genannten Körper stoßen im Schwerpunkt zusammen, vergleichbar mit einer Bilanz an einer ungleichseitigen Hebelwaage, d.h. $m \cdot v = 3 \cdot 7/2 = 7 \cdot 3/2$. Die Durchdringung (siehe 1.1.2) findet hier in idealer Weise statt, wenn auch der äußere Anschein dies nicht sofort erkennen läßt. Im elastischen Fall kommt es zu einer Reflexion, im unelastischen Fall zu einer Impulsauslöschung. In der Analogie der Jungs und Mädels findet eine totale Kompensation statt, wobei im Beispiel 21/2 Paare gebildet werden. Wer sich an dem krummen Wert stört, der muß in Abb. 135 die Relativgeschwindigkeit verdoppeln. Damit würde sich auch die Restgeschwindigkeit $u_{\text{rest}}=1,5$ ganzzahlig werden, siehe Tabelle von Abb. 192, unterste Zeile, Spalte X. Beim unelastischen Fall bleiben die Stoßpartner aneinander haften. Im Gegensatz zur landläufigen Vorstellung, dass man beliebige Teile zusammenkleben kann, findet eine Bindung auf atomarer oder makromolekularer Ebene nur in einer ausgewogenen Weise statt. Die Bindungspartner halten sich in der Waage oder drehen sich kräftefrei umeinander, wie bei einer Pirouette.

Warum tritt beim Ruhestoß der gleiche Impuls wie beim Schwerpunktstoß auf? Wenn beim geraden Aufeinandertreffen zweier ungleicher Massen mit ungleichen Impulsen der größere den Wert $2 \cdot m_{\text{red}} \cdot v_{\text{rel}}$ besitzt, dann kommt die zugehörige (größere) Masse elastisch zur Ruhe. Dies wirft ein bezeichnendes Licht auf den Bewegungsvorgang, denn der Ruhezustand des Systems erfordert offenbar stets paritätische Impulse, also eine gleiche Anzahl an Jungs und Mädels in der Stoßgeraden.

Rolle der Energie

Normalerweise treten Impuls und Energie gemeinsam auf. Früher war dies anders, man operierte nur mit dem Impulsbegriff, der infolge dessen einen mehr gegenständlichen Charakter erhielt. Dass es sich hier um eine Rückbesinnung auf den Impetus, der die Mechanik bis ins späte Mittelalter geprägt hatte, handelt, war bereits erörtert worden. Viele Gelehrte hatten sich gewundert und gefragt, warum zur Beschreibung mechanischer Bewegung zwei Parameter gebraucht werden, wo doch zur Charakterisierung von Temperatur, Druck oder Kraft jeweils ein einziger Parameter genügt. Zur Mechanik gehören immer zwei Größen wie E und P oder wie Masse und Geschwindigkeit. In den Thesen war behauptet worden: *Der Energiebegriff kann vermieden und durch spezielle Impulsbegriffe ersetzt werden.* Doch halt, das Impulsquadrat führt doch direkt zur Energie! Hängt die Energiegröße mit dem Vektorcharakter des Impulses zusammen, wie besonders beim schiefen Stoß und beim unelastischen Stoß deutlich wird? Der Energiebegriff ist mit seinen gliedweise gebildeten Quadraten der Geschwindigkeiten eine ziemlich unpraktische Größe. Als Alternative zur Energie wird eine Größe vorgeschlagen, die dem Impuls nahe kommt. Verwendet man männliche, weibliche und paarige Impulse, dann kann man zunächst beim geraden Stoß auf Quadrate verzichten. In These 60 wird als Ersatz die Summe und Differenz von Impulsen vorgeschlagen, man kann auch stattdessen den algebraischen und den absoluten Impuls benutzen. Ebenso wie beim Thema Impuls die impuls gleichen Partner am Anfang standen, so sollen auch beim Thema Energie die energiegleichen Partner am Anfang stehen. Die Energie ist eine alles beherrschende Größe, wie ein Blick in die Thermodynamik der Gase zeigt, wo alle Freiheitsgrade (Translation, Rotation, Schwingung) denselben Energieanteil erhalten. Warum erteilt die Natur nicht gleiche Impulsanteile oder z.B. gleiche Relativgeschwindigkeiten auf jeden Freiheitsgrad? Der geschichtliche Exkurs (These 63) zum Energiebegriff läßt vermuten, dass Energie wohl kaum durch Impulspaare ersetzt werden kann. Robert Mayer, der Vorkämpfer für den Gedanken der Erhaltung der Energie, wies um 1865 die Wesensgleichheit von Arbeit und Wärme nach. Er hat sich als Arzt mit praktischen Fragen der Energieäquivalenz, und nicht mit dem geraden Stoß auseinandergesetzt. Denn trotz aller Statistik der Millionen von Teilchen muß eine Reduktion auf den atomaren Einzelprozess möglich sein. Der gerade Stoß energiegleicher Partner ist nichts Besonderes, Fälle energiegleicher Stöße gibt es wie Sand am Meer. Eine exakte Energiegleichheit $e_1=e_2$ für die Massen m_1 und m_2 tritt ein, wenn die Relativgeschwindigkeit v_{rel} in einem definierten, nachfolgend berechneten Verhältnis in u_1 und u_2 aufgeteilt wird. $E = e_1+e_2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot u_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot u_2^2$

Die Gleichsetzung $e_1=e_2$ ergibt $(u_1/u_2)^2=m_2/m_1$. Um daraus ohne Widerspruch zum Verhältnis $-u_1/u_2=-V_{12}$ zu gelangen, bedenke man, dass bei gegebenem $v_{rel}=u_2-u_1$ ein u_2 erhalten wird, dessen Vorzeichen laut unserer Anordnung positiv ist, im Gegensatz zu u_1 . Deshalb wird V_{12} nachfolgend negativ verwendet: $v_{rel}/u_2=1-u_1/u_2=1-(-V_{12})$. Das Ergebnis lautet $u_2=v_{rel}/(1+\sqrt{(m_2/m_1)})$.

Beispiel: $m_1=2$ und $m_2=2000$ sowie $v_{rel}=1000$. Die Beziehung ergibt ein $u_1=-969,35$ und $u_2=30,65$. Errechnet man daraus die Startbedingungen, dann erhält man $v_1=1028,65$ und $v_2=28,65$; und zwar, wie ersichtlich, mit gleicher Startrichtung. Die Erhaltungsgröße e_1+e_2 erweist sich als Quadrat von $1370,863$ gewissermaßen als $u_1 \cdot \sqrt{2}$. Ein Zehntel dieser Zahl erinnert an α^{-1} d.h. sie ähnelt der Relativgeschwindigkeit von Sommerfeld, siehe These 88, wo auf die Konsequenzen des Zehnersystem in Form von 10 ± 1 hingewiesen wurde. Noch eine Zahlenspielerei mit $x^2=13,70387151$, die für x^2-x den Wert $10,0020$ ergibt.

Bei dieser Gelegenheit kann beispielhaft eine Umformung in die Normalform des Ruhestoßes demonstriert werden, welches mit $V=-30,653$ und $F=1001/1000$ gelingt. Diese Reduktion auf die Normalform ist bei jedem geraden elastischen Stoß möglich und führt hier zu den Werten $n=999$ und $k=1001$. Das Zahlenbeispiel entspricht den Ausgangswerten $m_1=2$ und $m_2=2000$ sowie der Relativgeschwindigkeit v_{rel} von 1001 , aufgeteilt in $v_1=v_{rel}$ und $v_2=0$. Die Anzahl der erforderlichen Impulspaare hat den Wert 1998 . Die Energieerhaltungsgröße E_{ruhe} für den Ruhestoß berechnet sich aus dem stoßenden Körper zu $\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot u_1^2 = \frac{1}{2} \cdot (k-n) \cdot k^2$; die Energien der beiden bewegten Körper sind alles andere als gleich und verhalten sich wie $250/1$.

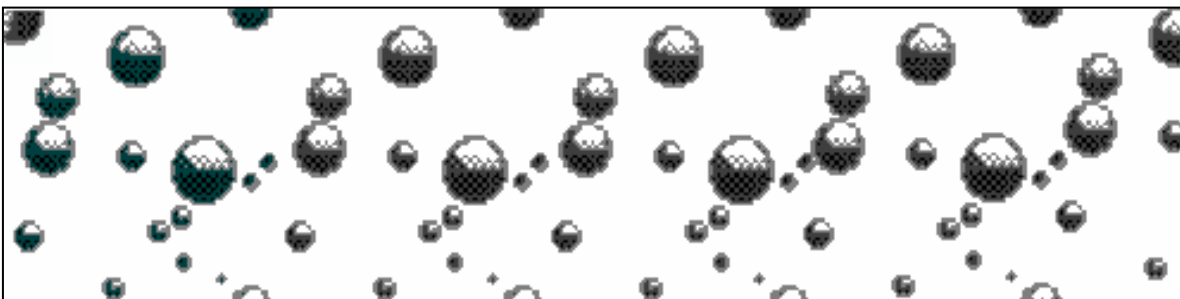


Abb. 190: Symbolischer Schnappschuß eines Gasgemisches mit naturgemäß elastischen Stößen.

Ein letzter, nicht unwichtiger Sonderfall zum Thema Energiegleichheit ist die Konstruktion eines Ruhestoßes, der das Kunststück zweier energiegleich bewegter Partner fertig bringt. Es soll also gelten $e_1+e_2=2 \cdot e_1=E_{ruhe}$, woraus zu schlussfolgern ist, dass die stoßende Kugel vor und nach dem Stoß ein bestimmtes Energieverhältnis, nämlich bei gekürzter Masse $k^2/n^2=2$ aufweisen muß. Unter der Bedingung $n/k=\sqrt{2}$ funktioniert der Sonderfall.

Man kann viele Fälle mit $n=j$ und $k=j\cdot\sqrt{2}$ erproben, die stets nach dem Anstoß der ruhenden Masse ($k+n$) einen energiegleichen Stoßausgang liefern, leider allerdings nur unter Verzicht auf ganze Stoßquantenzahlen. Die Werte wie $\sqrt{2}$ erinnern an die Diagonale im Quadrat und an das animierte Viereck (These 33), wo einerseits der Ruhestoß und andererseits der energiegleiche Stoß eine Rolle spielen.

Elastische und unelastische Stöße und physikalisch chemische Bindung

Die folgende Aufstellung listet Stöße der Massen 3 und 7 bei einem konstanten Wert $v_{rel} = 5$ auf und lehnt sich an die Tabelle von Abb. 148 mit geänderten Zahlen (Abb. 135) an. Die Anfangswerte in den Spalten I bis IV sowie der Gesamtimpuls in Spalte V sind für elastische und unelastische Stöße gleich, aber in den folgenden Spalten gibt es Unterschiede. Die elastische Stoßdurchführung beschreiben VI bis VIII. In den Spalten IX bzw. X wird der unelastische Verlauf klassisch berechnet, der zur Verbindung der Massen mit einer gemeinsamen restlichen Bewegungsenergie $E_{rest} = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot u_{rest}^2$ führt. Die Restgeschwindigkeit u_{rest} der verbundenen Gesamtmasse ergibt sich aus dem Gesamtimpuls P , geteilt durch die Gesamtmasse zu $k \cdot (k-n) / (2 \cdot k)$. Um den Faktor $\frac{1}{2}$ bei den Energiewerten einzusparen, wird der doppelte Wert $2 \cdot E$ verwendet. Zuerst richten wir unser Augenmerk auf den Schwerpunktsstoß (dritte Zeile). Gleichgültig, ob elastisch oder unelastisch ergibt sich hier ein Gesamtimpuls P von null, und stets wird eine Energie $2 \cdot E_S = 2 \cdot E$ von 52,5 Einheiten umgesetzt. In dem unelastischen Fall spricht man von der Verlustenergie, die den gleichen Wert wie E_S besitzt. In Bindungspaaren



ausgedrückt ist dies $P_1 = |P_2| = 10,5$. Es zeigt sich in Abb. 192 und besonders in Abb. 194, dass die beiden Größen Schwerpunktsenergie und restliche Energie wichtig sind und folgendes ausdrücken: E_S bezeichnet kompensierte Paare und somit Bindung, während mit E_{rest} die nichtkompensierbaren Paare, d.h. die zunächst unauslöschliche Bewegung gekennzeichnet wird. Jeder Stoßvorgang, ob elastisch oder unelastisch geführt, weist Anteile beider Größen auf.

Abb. 191: Ist Gähnen unvermeidlich? Die Geburt des Energiebegriffs war schwer, der Begriff schwere Masse ist noch schwerer. Die träge Masse und sein Energieäquivalent machen träge und müde. Doch der Gedanke an eine impulsartige Ersatzgröße macht wieder munter.

Der gerade Stoß 1.3 Gemeinsames von Kugelstoß, Atomanregung, SRT

v_1 I	v_2 II	P_1 III	P_2 IV	P V	u_1 VI	u_2 VII	$2E$ VIII	$2E_{rest}$ IX	u_{rest} X
5	0	15	0	15	-2	+3	75	22,5	1,5
4	-1	12	-7	5	-3	+2	55	2,5	0,5
3,5	-1,5	10,5	-10,5	0	-3,5	+1,5	52,5	0	0
3	-2	9	-14	5	-4	+1	55	2,5	0,5
2,5	-2,5	7,5	-17,5	10	-4,5	+0,5	62,5	10	1,0
2	-3	6	-21	15	-5	0	75	22,5	1,5

Abb. 192: Einheitliche gleiche Anfangsbedingungen sowohl für elastische als auch unelastische Stoßdurchführung mit den Stoßquantenzahlen $k=5$ $n=2$. Erste u. letzte Zeile zeigen den Ruhestoß. Eine relativistische Behandlung wird auf Seite 243 vorgenommen.

Wie man aus der Spalte VIII ersieht, gibt es keinen tieferen Energiewert als E_S . Bezieht man in Spalte IX die restliche kinetische Energie in Zeile drei auf einen anderen Basiswert (nämlich $2 \cdot E_S = 52,5$), so erhält man die Spalte VIII, also den jeweils elastischen Energiewert. Anders gesagt, die Energien $2 \cdot E$ und $2 \cdot E_{rest}$ ergeben sich bei jeder Zeile additiv auf der Basis des Schwerpunktfalles in Zeile 3. Diese Basis ist entweder 52,5 oder 0, und bemerkenswert sind die für die jeweilige Zeile gleichen Zuwächse, welches eine auffallende Gemeinsamkeit von elastischem oder unelastischem Verhalten ausdrückt. Obwohl keine relativistischen Korrekturen in dieser Tabelle vorgenommen wurden, merkt man dem Energiebegriff an, dass er so etwas wie eine relativistische Ruhmasse beinhaltet, wie folgende anhand Abb. 192 geführte Überlegung beweist: Der unelastische Ruhestoß von Zeile 5 ist hinsichtlich des Impulses unbedeutend klein (10 Einheiten) und auch hinsichtlich der restlichen Bewegungsenergie nur klein (10 Einheiten), aber hinsichtlich der Verlustenergie ist ein beachtlicher Wert (52,5 Einheiten, genau wie beim elastischen Schwerpunktsstoß) zu verzeichnen. Schon in der klassischen Mechanik äußert sich beim Energiebegriff die Mitwirkung einer Ruhmasse. Die z-Werte (Seite 243) bringen das Kunststück fertig, die Verlustenergie noch erheblich zu übertreffen.

Bei dem in Abb. 153 beschriebenen Algorithmus wurde die mögliche Paarbildung $moegPv$ für vorher und $MoegPn$ für nachher unterschieden. Der nachfolgend in Abb. 193 tabellierte Fall betrifft den unelastischen Stoß, hier ist die Größe $MoegPn$ stets null.

	elastisch $2E = \text{Basis} + \text{Zuwachs}$	unelastisch $2 E_{\text{rest}} = \text{Basis} + \text{Zuwachs} + E_v$
Zeile 3	$52,5 = 52,0 + 0$	$0 = 0 + 0$ +52,5
Zeile 5	$62,5 = 52,5 + 10$	$10 = 0 + 10$ +52,5
Zeile 6	$75 = 52,5 + 22,5$	$22,5 = 0 + 22,5$ +52,5

Abb. 193: Ausschnitt aus der Tabelle Abb. 192 zum Thema: gleicher Zuwachs bei ungleicher Basis

Es liegt im Wesen des total unelastischen Stoßes, alle realisierbaren Paare zu bilden. Angemerkt sei allerdings, dass jede Bindung bzw. Paarbildung umkehrbar, also nicht total, sondern eher „radikal“ im Sinne von Radikalbildung, Ionisierung etc. ist, weil alle Gebilde auch wieder zerfallen können, wenngleich der Prozentsatz z.B. beim Wasser nur bei 10^{-7} liegt.

Beim Schwerpunktsstoß ist die reduzierte Masse m_{red} bedeutsam, sie ist die Zusammenfassung bzw. die Ersatzmasse für zwei relativ bewegte Massen. Im Gegensatz zur Gesamtmasse, die symbolisch im Schwerpunkt vereint ist, charakterisiert m_{red} die Anordnung relativ zum Schwerpunkt. Die reduzierte Masse ohne Mitwirkung einer Länge ist ein ebenso sinnloses Gebilde wie eine ungleicharmige Hebelwaage ohne Waagearme. Die reduzierte Masse m_{red} ist auch für den Impuls nützlich; beim elastischen Ruhestoß bekommt das schwere Ruheteilchen den Impuls $m_2 \cdot u_2 = 2 \cdot m_{\text{red}} \cdot v_{\text{rel}}$ mit v_1 als Relativgeschwindigkeit. Zur Ableitung dieser Beziehung schreiben wir im Einklang mit der $k \pm n$ Schreibweise den Impuls des in Bewegung gesetzten Ruhekörpers als $m_2 \cdot u_2 = (k+n) \cdot (k-n)$. Erweitert man mit $2 \cdot k$, dann ergibt sich $2 \cdot k \cdot (k+n) \cdot (k-n) / (2 \cdot k) = 2 \cdot v_{\text{rel}} \cdot (m_1 \cdot m_2) / (m_1 + m_2)$, was zu beweisen war. Daraus erahnt man, dass die beginnende Bewegung des Ruhekörpers immer auf eine „Ausgewogenheit“, d.h. auf die Waage hinweist. Die tieferen Vorgänge beim Inbewegungsetzen eines Körpers sind offenbar so zu deuten, dass im Ruhekörper zunächst so etwas wie ein Schwerpunktsstoß $m_{\text{red}} \cdot v_{\text{rel}}$ stattfindet, wie die Formel $m_2 \cdot u_2 = 2 \cdot m_{\text{red}} \cdot v_{\text{rel}}$ vermuten läßt. Im unelastischen Fall geht die Schwerpunktsenergie E_S als Verlustenergie $2 \cdot E_S = m_{\text{red}} \cdot v_{\text{rel}}^2$ in Form von Bindungsenergie in die zusammenklebende Masse ein. Außerdem tritt, wohlgemerkt beim Ruhestoß, eine restliche gemeinsame Bewegung mit der Energie E_{rest} auf. Man wird eingestehen, dass die Darstellung der Energieverhältnisse unter Einbeziehung der reduzierten Masse für Schulkinder etwas zu schwierig ist.

Noch einmal Impuls, Energie sowie $k \pm n$

Im Gegensatz zum Impulsbegriff hat der Energiebegriff eine schwere Geburt hinter sich und es scheint, sie ist trotz Einstein noch nicht zu Ende. Die Impulsbilanz und die Energiebilanz zeigen eine, jedenfalls für den Anfang, interessante Analogie zu den Bilanzen, die für Photonen in Abb. 104 und 105 aufgestellt worden waren. Unter Benutzung der Technik mit $k \pm n$ gilt für den regulären Gesamtimpuls beim Ruhestoß: $P = 2 \cdot E_S / n - 2 \cdot E_{\text{rest}} / n$, wie noch zu beweisen ist. Dies trifft für den unelastischen und auch für den elastischen Ruhestoß zu, obwohl im *elastischen Fall überhaupt keine* „restliche“ Energie vorkommt. Doch in der vorstehenden Tabelle, Abb. 192 war gezeigt worden, dass E_{rest} auch beim elastischem Vorgang implizit enthalten ist, da bei elastischer Durchführung des Ruhestoßes $E_S + E_{\text{rest}} = E_R$ geschrieben werden kann. Diese Beziehung führt nach Division mit $k = v_{\text{rel}}$ und nach Ersetzen von $m_2 \cdot v_{\text{rel}}^2$ durch $k \cdot P$ zu der Gleichung $P = 2 \cdot E_S / k + 2 \cdot E_{\text{rest}} / k$. Wir gelangen nun in Abb. 194 zu einer Kombination der Ausdrücke $E_S \pm E_{\text{rest}}$ und $k \cdot P \pm n \cdot P$. Wenn eine Umformung vorgenommen und die Stoßquantenzahlen vollständig eingesetzt werden, dann erhält man eine etwas verklärte Aussage. Wir erinnern uns, dass P aus der kleinen Masse $m_1 = k \cdot n$ und dem Startwert $v_1 = k$ gebildet wird, womit man zur Schlussfolgerung kommt:

$n \cdot P = 2 \cdot E_S - 2 \cdot E_{\text{rest}}$	$k \cdot P + n \cdot P = 2(2 \cdot E_S)$
$k \cdot P = 2 \cdot E_S + 2 \cdot E_{\text{rest}}$	$k \cdot P - n \cdot P = 2(2 \cdot E_{\text{rest}})$
$4 \cdot E_S = k \cdot (k^2 - n^2)$	$4 \cdot E_{\text{rest}} = k \cdot (k - n)^2$

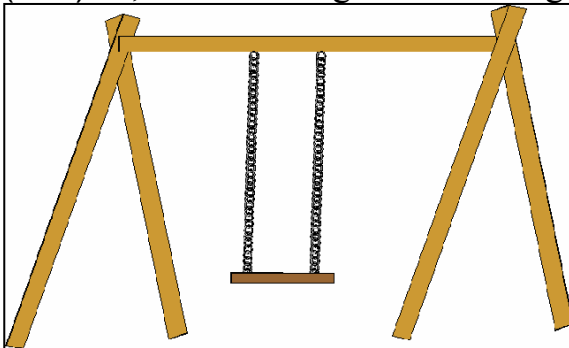
Abb. 194: Schwerpunktsenergie E_S und restliche Energie E_{rest} als markante Größen. Teilt man die unteren Beziehungen durch k , dann erhält man Impulsgleichungen, die für den einen interessant, für den anderen uninteressant sein mögen.

Ein Vergleich mit den Formeln von S. 107 läßt Ähnlichkeit erkennen, statt der Massen m und m_0 stehen hier die Energien, ausgedrückt durch k und n . Der linke Ausdruck offeriert eine vektorielle Zusammensetzung von k *senkrecht* n , der rechte Ausdruck ist die *lineare* Differenz $k - n$. Die Vorstellung kann weitergesponnen werden, indem man die lineare Differenz der geraden restlichen Bewegung zuordnet und die Senkrechtbeziehung ($\mu \perp m_0$) der frei drehbaren Schwerpunktsenergie, welche auf Impulspaare basiert, zuordnet. Der arithmetische Mittelwert aus $\frac{1}{2} \cdot (E_S + E_{\text{rest}})$ drückt die Gesamtenergie beim Ruhestoß aus.

Es wird noch einmal das Beispiel von Abb. 135 betrachtet. Anstelle der Berechnung erfolgt eine Simulation, also ein Rollenspiel mit Kindern, siehe Abb. 151. Wenn 15 anfängliche Impulse so verteilt werden sollen, dass eine zunächst unbekannte Anzahl Spalten mit je 7 Plätzen (entsprechend der ruhenden Masse $m_2=7$) vollständig gefüllt werden, dann ist das nicht ohne weiteres möglich; denn es lassen sich nur zwei Spalten mit insgesamt 14 Impulsen vollständig füllen. Um den letzten fünfzehnten Impuls noch unterzubringen, muß im Beispiel eine zusätzliche dritte Spalte eröffnet werden, bei der zunächst 6 Plätze frei bleiben, die nach Zweistein mit Impulsen aus der Paartrennung aufgefüllt werden, und zwar solange, bis die eingangs genannte Gleichheit $m_1=u_2$ erreicht ist. Bei der Paartrennung entstehen außerdem sechs Impulse mit negativem Vorzeichen (Mädchen), die den Rückimpuls der Masse m_1 bewirken. Der Stoßvorgang wird hier nachgespielt, und offenbar benutzt die Natur einen ähnlichen Mechanismus der Gleichverteilung aller Impuls über alle Masseneinheiten.

Wie behandeln die Physiker diese Aufgabe? Routinemäßig werden Energiesatz und Impulssatz angewandt, und man wird sich solcher praktischen Größen wie der reduzierten Masse m_{red} und v_{rel} bedienen. Der Impuls der vorher ruhenden Masse lautet dann als Ergebnis $m_2 \cdot u_2 = 2 \cdot m_{\text{red}} \cdot v_{\text{rel}}$, das sind für das Beispiel 21 Impulseinheiten. Dieser Weg läßt sich nicht so leicht nachspielen, wie die Kinder dies mit ihrer Gleichverteilung aller Impulse über alle Masseneinheiten vorgeführt haben. Wie bereits ausgeführt, verbirgt sich dahinter das Problem einer ganzzahligen Teilung. Dass die SRT eine weitere Umverteilung erforderlich macht, zeigt die S. 243, wie hier nur am Rande angemerkt sei.

Will man die Anzahl der Eingangsimpulse (Jungs) auf die Masse m_2 (ohne Rest, jedoch nicht ohne Paare) verteilen, so lautet die Aufgabe $m_1 \cdot v_1 / m_2 = i$ mit i als Integer. Die Aufgabe mittels Umschreibung mit $k \pm n$ lautet $(k-n) \cdot k / (k+n) = i$, welches aufgelöst zum Ergebnis $k/n = (k+i)/(k-i)$ führt. Ganze Werte wie z.B. $i=2$ liefert also mit $k/n=2=i$ das Wertepaar $k=6$, $n=3$ oder auch ganzzahlige Vielfache davon. Trotzdem werden hierzu 9 Paare bzw.



allgemein $k+n=(k-n) \cdot n$ Paare für diese Sonderfälle gebraucht.

Abb. 195: Zum Spiel der Kinder

Ein ordentlicher gemeiner Professor und seine vermutete Rezension

Physikprofessor Dr. Dr. Stoßnik: Die Auslassungen des Machwerks über Kinderpaare und vorgetäuschte Bewegungen sind geradezu strafbar. Es fehlt jede Axiomatik, Systematik und mathematische Integrität. Außerdem vermisst man physikalische Strenge und Ernsthaftigkeit.

Diplomphysiker Dr. Spaarmann: Ich kann Ihre abwertende Haltung nicht teilen. Sie verurteilen etwas, was sie vielleicht gar nicht zu verstehen versucht haben. Es ist das Los der Professoren, über alles informiert sein zu müssen und der Überflutung mit Neuem kaum Herr werden zu können. Die *Berufung* zum Lehramt führt zur Abwehrreaktion gegen alles, was aus *unberufenem* Munde kommt. Außerdem verteidigen Sie Ihre Lehrbücher wie Gesetzbücher und verurteilen Andersdenkende wie Straffällige. Als Argumentation dient ein Arsenal an dürftigen Wendungen wie z.B. „haben Sie überhaupt mein Buch gelesen“, „das kann nicht stimmen“, „überprüfen Sie alles noch einmal“, „das ist längst bekannt“, „ich verschwende nicht meine kostbare Zeit mit Ihnen“.

Physikprofessor Dr. Dr. Stoßnik: Ich muß Ihnen nicht Rede und Antwort stehen, aber das Schritthalten mit den neuen etablierten Ganzheitstheorien fordert in der Tat den ganzen Mann, da bleibt keine Zeit für die unausgegorenen Gedanken anderer, selbst wenn die Betroffenen viel Zeit und Geld aufgewandt haben. Denken Sie doch an die vielen gescheiterten Versuche, ein Perpetuum mobile zu bauen. Wer derartiges in Angriff nimmt, sollte vorher wenigstens die Hauptsätze der Wärmelehre lesen. Auch die Dreiteilung des Winkels und die Quadratur des Kreises mit Lineal und Zirkel ist bekanntlich nicht zu bewerkstelligen. Schade um jede Mühe, es zu tun.

Diplomphysiker Dr. Spaarmann: Die Skepsis gegenüber SRT und QT hat aber nichts mit dem Regelwerk der Mathematik zu tun, es geht um die Simulation der Natur, über die noch nicht das letzte Wort gesprochen wurde. Bereits in den sechziger Jahren gab es Arbeiten zur Computersimulation von Molekülverbänden, wo allerdings nicht im entferntesten von der QT abgerückt wurde. Zweistein versuchte tiefergehende Ansätze und landete beim Impuls und beim Kugelstoß, dessen Simulation kinderleicht erscheint. Nehmen Sie die empirische Formel von Abb. 184, die für Helium angepasst lautet: $1/l_2 = 1/2^2 + 1/3,29723$. Bilanzgleichungen dieser Art lassen sich durch Kugelstoßexperimente modellieren, selbst wenn es sich um die Ionisierungsenergie l_2 des Dreikörpersystems Helium handelt. Hier ein Beispiel, eine Publikation von 1994, dafür.

„Zwei Kugeln mit den Massen $m_1=4$ und $m_3=4$ sollen durch einen geraden unelastischen Stoß aufeinandertreffen. Bei gleichen Geschwindigkeitsbeträgen $v_1=1$ und $v_3=-1$ kommt es schlagartig zum Stillstand, weil sich die Impulse kompensieren. Wenn vor dem Stoß noch zusätzlich eine ruhende Masse m_2 mit $v_2=0$ am Stoßort angeordnet wird, dann ändert sich an dem insgesamt unelastischen Stoß nichts. Wenn allerdings der Stoß zwischen m_1 und m_2 zeitlich etwas früher stattfindet, dann bildet sich zunächst eine Zwischenmasse. Unter der Annahme $m_1+m_2= 7,29735 =1/s$ ergibt sich eine Zwischengeschwindigkeit von $0,548=4 \cdot s$, die schließlich durch Folgestoß mit dem Körper 3 ausgelöscht wird, indem es zum Gesamtstillstand kommt. Die reduzierte Masse der Zwischenmasse beträgt $1,80742= I_2$ und entspricht der Ablösungsenergie eines Elektrons für Helium, dessen Gesamtbindungsenergie I_2+4 Rydbergeinheiten beträgt. Führt man das Analogieexperiment für Helium elastisch aus, dann gelangt man über drei gerade Folgestöße zu einer Aufteilung der Gesamtenergie 8 in die Teilbeträge $4 \pm 4/5$.“

Physikprofessor Dr. Dr. Stoßnik: Analogexperimente gibt es viele, sie bleiben Stückwerk. Die Quantentheorie vereinigt alle bisher beobachteten Fakten, und Ihr zitierter Heliumwert I_2 mit umgerechnet 78,97 eV folgt zwanglos daraus. Kein geringerer als Herr Ritz, der in Abb. 163 zusammen mit Rydberg erwähnt wird, hat den bisher genauesten Wert berechnet:

Ritzsche Variationsmethode	77,38 eV
Ritz-Pekeris, mit 1075 Gliedern	78,97 eV
experimenteller Wert	78,975 eV

Was wollen Sie also noch mehr?

Diplomphysiker Dr. Spaarmann: Ein Kinderspiel sind diese Berechnungen nicht, selbst wenn man alle denkbaren Computer zur Verfügung stellt. Eine



algebraische Lösung gibt es bei den weit über 1000 Basisfunktionen auch nicht, deshalb wird es doch wohl noch erlaubt sein, nach simulationsfähigen Wegen zu suchen. Auf der Suche nach Ganzheit steigt man zu immer höheren Dimensionen, warum nicht umgekehrt, zu weniger Dimensionen, zu einzelnen Linien?

Abb. 197: Schatten-Projektion von Zweibein auf Einbein. Einstein projiziert sich nicht auf Keinstein.

Der Impuls ist einfacher als der Drehimpuls, deshalb gefällt mir die Stoßanalogie beim H-Atom. Damit ist nicht gesagt, dass der Impuls gequantelt ist, tatsächlich geht es stets um die ganzzahlige *Unterteilung* eines Impulses oder einer Bindungsenergie, aber ich sehe, Sie winken ab.

Anscheinend geht Ihre Besessenheit von der Quantentheorie soweit, dass Sie aus ihr das Rechnen mit natürlichen Zahlen ableiten. Es wundert mich, dass die Banken und Sparkassen noch nicht mit der QT rechnen.

Physikprofessor Dr. Dr. Stoßnik: Noch ist es nicht soweit, aber mit den banalen Bilanzgleichungen ist es nicht anders; denn $3\text{€} - 3\text{€}$ ergibt nach Zweistein nicht null Euro, sondern drei Paare, bestehend aus einem Schuldschein über drei Euro und einem Gutschein über drei Euro.

Diplomphysiker Dr. Spaarmann: Das ist nur die halbe Wahrheit, es gehören zwei Gleichungen dazu. Es möge ähnlich wie bei Beispiel Comptoneffekt (Abb. 104 und 105) gelten:

$$2 = 2,4 - 0,4 \quad \text{für den Impuls mit } (k-n) \cdot k = 2 \quad (k-n) \cdot n = -0,4$$

$$2 = 1,6 + 0,4 \quad \text{für die Energie, geteilt durch Geschwindigkeit,}$$

$$2 = 2,5 - 0,5 \quad \text{zusätzlich reziprok gemäß Verschiebungsformel}$$

Ähnliches läßt sich auch für das Helium formulieren.

Physikprofessor Dr. Dr. Stoßnik: Das müssen Sie mir in aller Allgemeinheit erst beweisen. Natürlich habe ich, und darin ist die ganze Welt mit mir einig, längst begriffen, dass man Summen $p_1 + p_2$ von Impulsen algebraisch oder absolut schreiben kann. Aber die absolute Form hat mit Energie nichts zu tun. Mich können auch die aus Abb. 194 hergeleiteten Impulse $4 \cdot E_S / k = (k^2 - n^2)$ und $4 \cdot E_{\text{rest}} / k = (k-n)^2$ samt der konstruierten Rechtwinkligkeit nicht überzeugen.

Diplomphysiker Dr. Spaarmann: Wenn ich Ihre Gedanken richtig lese, werden Sie sich hüten kleinbeizugeben. Das hatte ich ohnehin nicht erwartet.



Abb. 198: „Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflügt sich nicht in der Weise durchzusetzen, dass ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, dass die Gegner allmählich aussterben und dass die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist.“
Max Planck (1858-1947)