

## Einige neuere Ergebnisse der Atomphysik und Atomchemie.

Von Priv.-Doz. Dr.-Ing. E. BRÜCHE, Berlin-Reinickendorf-Ost.

Forschungs-Institut der AEG.

(Eingeg. 11. Oktober 1929.)

Die Aufforderung der Redaktion, einen Abriß meines am 23. September im Bezirksverein Groß-Berlin und Mark gehaltenen Vortrages zu geben, erfülle ich gern. Es scheint mir, daß die Fragen nach der Natur des Atoms und nach der Natur des Elektrons, die der Physiker zur Zeit mit besonderem Eifer verfolgt, wegen der grundlegenden Bedeutung auch für die angewandte Chemie von Wichtigkeit sind. Im besonderen werden für sie jene Untersuchungen von Interesse sein, die die molekularen Felder experimentell zu erforschen trachten und so Material zu den Fragen physikalischer Systematik chemischer Verbindungen, d. h. zu Fragen der Atomchemie bringen.

Wir wollen uns im folgenden mit diesem zuletzt genannten Gebiet der Atomphysik beschäftigen, das in der Physik als Lehre vom Wirkungsquerschnitt bekannt ist<sup>1)</sup>.

### 1. Begriffliche und experimentelle Grundlage von Wirkungsquerschnitts-Untersuchungen.

Den Begriff des Wirkungsquerschnittes kann man sich an dem Beispiel unseres Sonnensystems klarmachen. Ein im Weltraum vagabundierender relativ kleiner Körper möge in die Nähe unseres Sonnensystems gelangen. Fliegt der Eindringling gerade zentral auf die Sonne zu, so wird es zu einem Zusammenstoß kommen, der damit endet, daß der Vagabund seine Selbständigkeit einbüßt. Fliegt er nicht zentral gegen die Sonne, so kommt es zwar nicht zu einem direkten Zusammenstoß, doch wird er durch die Anziehungswirkungen der Sonne aus seiner ursprünglichen Bahn abgelenkt werden. Er verläßt die Gravitationsfelder unseres Sonnensystems in einer neuen

Richtung, wie es Abb. 1 andeutet. Falls dabei seine ursprüngliche Richtung in geringer Entfernung von der Sonne vorbeiführt, ist die Ablenkung groß. Mit wachsender Vergrößerung dieses Abstandes wird die Ablenkung geringer, und wir können uns wohl denken, daß schließlich bei genügend entferntem Vorbeifliegen die Beeinflussung so gering ist, daß wir sie praktisch Null setzen können. Von

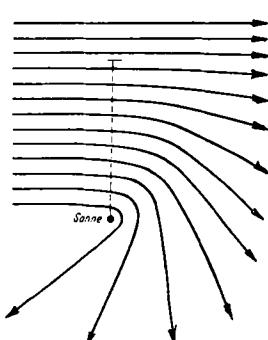


Abb. 1.

Einfluß der Sonne auf einen Weltraum-Vagabund.

am Sonnensystem vorbei. Denken wir uns mit diesem Abstand eine Kugel um die Sonne gelegt, so erhalten wir damit den „Wirkungsbereich“ unseres Sonnensystems gegenüber dem speziellen, von uns verfolgten Eindringling. Der Querschnitt dieser gedachten Kugel ist der

<sup>1)</sup> Die Zitate der Originalliteratur sind unterblieben. Man vgl. in dieser Hinsicht z. B. die Zusammenfassung des Verfassers im Band 1929 der Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften.

„Wirkungsquerschnitt“ unseres Systems, ihr Radius der „Wirkungsradius“.

Wir haben bisher stillschweigend eine bestimmte und konstante Anfangsgeschwindigkeit des Eindringlings angenommen. Fassen wir nun einen schneller fliegenden Körper ins Auge, so ist ohne weiteres klar, daß er infolge seiner höheren „Stoßkraft“ schon in geringerer Entfernung von der Sonne praktisch unbeeinflußt bleiben wird. Der Wirkungsbereich oder der Wirkungsquerschnitt des Kraftfeldes dem schnellen Eindringling gegenüber ist kleiner. Umgekehrt wird ein langsamerer Körper noch in Gebieten sehr fern von der Sonne durch ihre Gravitationswirkungen beeinflußt werden. Wir können unsere Betrachtung in den Satz zusammenfassen: Der Wirkungsquerschnitt des Sonnensystems wächst mit abnehmender Geschwindigkeit des Eindringlings.

Wir hatten uns den Begriff „Wirkungsquerschnitt“ an der Wechselwirkung zwischen Sonnensystem und Komet zu veranschaulichen versucht, wobei wir uns auf die Wirkung der Sonne beschränkten, also die Mitwirkung der Planeten außer acht ließen. Doch auch sie sind ja für das Kraftfeld unseres Sonnensystems mitbestimmend, werden demnach auch auf die Bahn unseres Eindringlings von Einfluß, eventuell sogar, wenn der Körper einem der Planeten besonders nahekommt, von bestimmendem Einfluß sein. Der Begriff „Wirkungsquerschnitt“ und seine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Eindringlings wird durch diese Komplikation natürlich nicht geändert. — Mit der Berücksichtigung der Planeteneinflüsse nähern wir uns dem uns eigentlich interessierenden Fall des Atoms mit seinen Elektronen. Durch dieses kleine „Sonnensystem“ wollen wir ebenfalls einen Eindringling, diesmal ein Elektron, fliegen lassen und ebenfalls nach dem Wirkungsquerschnitt fragen. Der Begriff hat hier sogar noch realeren Sinn, da die Kraftfelder des Atoms — diesmal sind es nicht Gravitations- sondern elektrische Felder — von einem gewissen Kernabstand ab außerordentlich schnell abklingen. Die uns des weiteren interessierende Frage ist die nach der Größe und Geschwindigkeitsabhängigkeit des atomaren Wirkungsquerschnitts gegenüber Elektronen.

Wie werden wir Aufschlüsse über den Wirkungsquerschnitt von Gasatomen erlangen können? Wollten wir nach der eingangs am Sonnensystem durchgeföhrten Überlegung vorgehen, so hätten wir an einem herausgegriffenen Atom Elektronen in verschiedener Entfernung vorbeizuschließen und dann zu ermitteln, von welcher Entfernung ab keine Beeinflussung mehr feststellbar ist. Die Durchführung dieses Versuches ist natürlich nicht möglich. Wir führen daher die Wirkungsquerschnittsmessung nicht als Einzelversuch, sondern als Mengenversuch durch. Das Prinzip des Meßvorganges veranschaulicht Abb. 2. Ein Bündel von Elektronen tritt von links in einem Stoßraum, in dem sich relativ wenige der zu untersuchenden Atome be-

finden. Von den hineingesandten Elektronen gelangt nur ein Teil unbeeinflußt durch den Stoßraum hindurch. Die Gasmoleküle decken gleichsam einen Bruchteil des Stoßraumquerschnittes zu, sie werfen einen Schatten in das mit Lichtstrahlen vergleichbare Elektronenbündel. Aus der Verringerung der Elektronenzahl, die an der

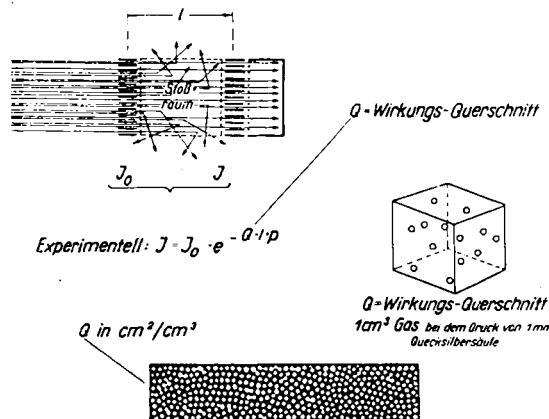


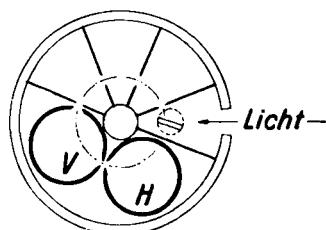
Abb. 2.

Messung und Bedeutung des Wirkungsquerschnittes.

Anfangsintensität  $J_0$  und der Endintensität  $J$  elektrometrisch verfolgt wird, ergibt sich die Summe der Querschnittsflächen aller im Strahlweg hindernd stehenden Atome. Schreibt man die Auswertungsgleichung, in der  $l$  den Strahlweg und  $p$  den Druck bedeutet, wie es in Abb. 2 geschehen ist, so bedeutet  $Q$  den Wirkungsquerschnitt aller Gasatome oder Gasmolekülen, die in  $1 \text{ cm}^3$  Gas bei  $1 \text{ mm}$  Quecksilbersäule Gasdruck enthalten sind. Diese Größe, aus der sich durch Division mit der Molekulanzahl eines Kubikzentimeters bei  $1 \text{ mm}$  Druck der mittlere Wirkungsquerschnitt einer Molekel errechnen läßt, wollen wir künftig als Wirkungsquerschnitt schlechthin bezeichnen.

Die wirkliche Anordnung, mit der derartige Messungen ausgeführt werden, ist in ihrer neuesten Ausführungsform in Abb. 3 wiedergegeben. Den Ausgangspunkt der Elektronen bildet eine Zinkplatte, aus der sie durch das Auftreffen ultravioletten Lichtes ausgelöst werden. Die Elektronen verlassen die Zinkplatte mit relativ kleiner Geschwindigkeit. Ihre Geschwindigkeit erhöht man dadurch auf die gewünschte Größe, daß man die Zinkplatte entsprechend negativ aufladet. So erzeugt man ein elektrisches Feld zwischen ihr und der darüberliegenden Blendenfläche, und die Elektronen werden nun in diesem Feld beschleunigt, so daß sie bei Erreichung des in der Blendenfläche angebrachten Schlitzes mit der gewünschten Geschwindigkeit in die Untersuchungskammern eintreten.

0 1 2 3 4 5 cm



$$J_H = J_{V+H} \cdot e^{-Q_{wirk} \cdot l / p}$$

Abb. 3.

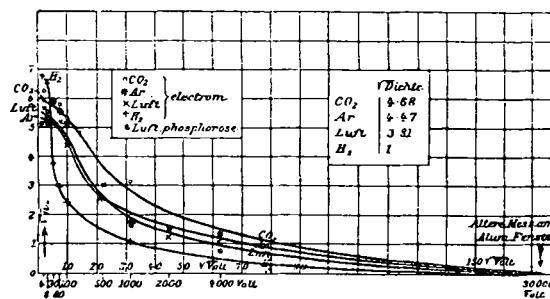
Ramsauer-Kästchen neuerer Bauart.

Durch ein geeignet gewähltes magnetisches Feld, das senkrecht zur Zeichenebene steht, werden die Elektronen nun zu dem gestrichelten Kreis gebogen und gelangen in die Käfige V und H. Das ganze Versuchskästchen befindet sich in einem Glaskolben, der mit dem zu untersuchenden Gas von etwa  $1/100 \text{ mm}$  Quecksilbersäule Druck gefüllt ist. Verbinden wir die beiden Käfige V und H leitend mit dem Elektrometer, so können wir den in die beiden Käfige eintretenden Elektronenstrom, d. h. die Anfangsintensität  $J_0$  messen. Verbinden wir nur den hinteren Käfig H mit dem Elektrometer, so messen wir die Endintensität  $J$ , die hinter dem durch den Käfig V

repräsentierten Stoßraum noch vorhanden ist. Da wir das Kreisstück in V, den Elektronenweg l, geometrisch bestimmen und den Druck  $p$  des Gases leicht messen können, haben wir alle Stücke, um uns den Wirkungsquerschnitt  $Q$  auszurechnen. Er gehört der durch das Beschleunigungspotential der Zinkplatte gewählten Geschwindigkeit zu. Durch Änderung dieses Potentials und nochmalige Durchführung des Meßganges gelangen wir zu einem anderen Wirkungsquerschnitt, der einer zweiten Geschwindigkeit zugehört. So erhalten wir schließlich die ganze Wirkungsquerschnittskurve.

## 2. Entwicklung der experimentellen Kenntnis.

Die ältesten Messungen der Elektrondurchlässigkeit der Materie und speziell der Gase stammen von Lenard, der 1894 dieses Gebiet mit seiner „Fensteröhre“ quantitativer Forschung erschloß. Er maß zunächst nur Querschnittswerte mit Strahlen von einem Drittel Lichtgeschwindigkeit =  $100\,000 \text{ km/s}$ , wobei er sein bekanntes Massenproportionalitätsgesetz fand, das aussagt, daß die einzelnen Gase die Elektronen proportional dem Molekulargewicht festhalten bzw. ablenken. Im Jahre 1903 erweiterte Lenard seine Untersuchungen und drang mit einer Anordnung, aus der sich die oben beschriebene Apparatur entwickelte, bis zu  $1/100$  Lichtgeschwindigkeit vor. Die Resultate seiner Messungen zeigt Abb. 4. An Stelle von Bruchteilen der Licht-



Absorptionsquerschnittskurven bei mittleren Geschwindigkeiten nach Lenard.

geschwindigkeit oder  $\text{km/s}$  sind, wie es bei diesen Messungen üblich ist, die Geschwindigkeiten in  $V/\text{Volt}$  bzw. Volt ausgedrückt, wobei die Umrechnungsbezeichnung gilt:  $5 \text{ V/Volt} = 3 \cdot 10^8 \text{ cm/s} = \text{rund } 1/100 \text{ Lichtgeschwindigkeit}$ . Wir erkennen aus dem Diagramm, daß der Querschnitt der Moleküle aller untersuchten Gase bei Benutzung immer langsamerer und langsamerer Elektronen wächst, wie wir es nach der Veranschaulichung am Sonnensystem erwarteten. Ein neues wichtiges Resultat dieser Untersuchungen ist es, daß die Kurven in diesem Geschwindigkeitsgebiete nicht mehr entsprechend dem Massenproportionalitätsgesetz in ihrer Höhenlage gestaffelt sind, sondern daß die einzelnen Gase sich bei kleineren Geschwindigkeiten individuell verhalten. Besonders bemerkenswert ist ferner, daß die Kurven nicht bis zu kleinsten Geschwindigkeiten eine gleichmäßig steigende Tendenz aufweisen, sondern daß der Querschnitt der Moleküle eine obere Grenze nicht zu überschreiten scheint.

Die nächste große Erkenntnis gewann 1921 Ramsauer bei der genauen Untersuchung des Gebietes kleinster Geschwindigkeiten. Ramsauer untersuchte mit jener besonders empfindlichen Meßanordnung, die wir in Abb. 3 bereits kennenlernten, die Wirkungsquerschnitte der Edelgase mit Elektronen von  $1-7 \text{ V/Volt}$  Geschwindigkeit. Seine 1923 vervollständigten Ergebnisse in Argon, Krypton und Xenon sind in Abb. 5 wiedergegeben. Er erhält das überraschende Resultat, daß der Wirkungsquerschnitt dieser

Gase wieder kleiner wird, wenn man nur geeignet langsam fliegende Elektronen als Sonden benutzt. Diese Erscheinung, die unter dem Namen R a m s a u e r - Effekt bekannt ist, widerspricht aller Erwartung. In unserem Sonnensystem gibt es diese Erscheinung nicht. Hier wird vielmehr ein langsamer fliegender Eindring-

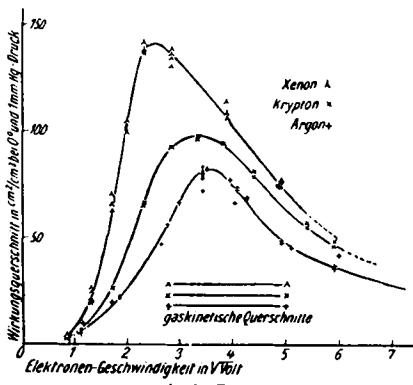


Abb. 5.  
Wirkungsquerschnittskurven der schweren Edelgase nach  
Ramsauer.

ling stets stärker beeinflußt werden als ein schneller, d. h. der Wirkungsquerschnitt des Sonnensystems wächst dauernd bei Übergang zu kleineren Geschwindigkeiten. Die Erscheinungen, die beim Atom gefunden wurden, sind gänzlich anderer Natur, und man kann zunächst allein feststellen, daß die Analogie zwischen dem Sonnensystem, d. h. Sonne mit ihren Planeten und dem Atom, d. h. Kern mit Elektronen, nur sehr oberflächlich sein kann. Die so gern verwandte Vorstellung, daß unser Sonnensystem ein Atom und das Atom ein Sonnensystem sei, ist zwar schön aber falsch. — Erst kürzlich ist es gelungen, den R a m s a u e r - Effekt verständlich zu machen, worauf wir noch zurückkommen werden. Hier wollen wir ihn als Tatsache hinnehmen.

Nach der Entdeckung der Anomalien des Wirkungsquerschnitts der Edelgase sind im Laufe der letzten Jahre von verschiedenen Autoren auch andere Gase der Untersuchung unterzogen worden, so daß heute bereits die Wirkungsquerschnittskurven von 25 Gasen zwischen 1 und 7 V Volt festgelegt sind. Die Kurven sind, wie es Abb. 6 zeigt, sehr verschiedenartig und auch dann noch

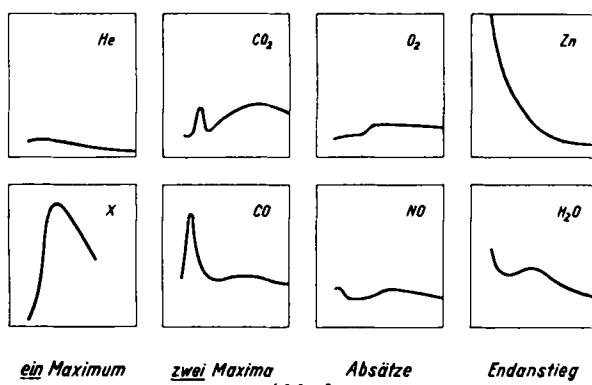


Abb. 6.  
Verschiedene charakteristische Formen der Wirkungsquerschnittskurven.

sehr unterschiedlich, wenn sie durch die gleiche Aussage beschrieben werden können. — Die Betrachtung des gesamten Materials zeigt, daß die Wirkungsquerschnittskurve für das untersuchte Gas charakteristisch ist. Auf dieser wichtigen Feststellung basiert alles, was wir im folgenden Abschnitt kennenlernen werden.

Zum Schluß dieses Abschnitts wollen wir, da die Benutzung verschiedener Diagramme entsprechend ver-

schiedenen Geschwindigkeitsbereichen der Untersuchung leicht verwirrend wirkt, nochmals eine Kurve in dem ganzen Geschwindigkeitsbereich von der unteren Untersuchungsgrenze 1 V Volt bis zum Lichtgeschwindigkeitsbereich betrachten. Abb. 7 zeigt uns die Stick-

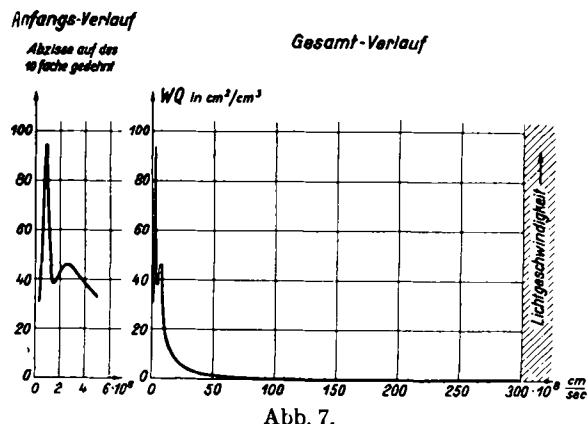


Abb. 7.  
Wirkungsquerschnittskurve des Stickstoffs im gesamten Unter-  
suchungsbereich.

stoffkurve des Verfassers zwischen 1 und 7 V Volt nach großen Geschwindigkeiten hin fortgeführt. Der uns im folgenden allein interessierende Geschwindigkeitsbereich von 1 bis 7 V Volt entsprechend  $0,6 \cdot 10^8$  und  $4,2 \cdot 10^8 \text{ cm/s}$ , in dem sich die charakteristische Struktur der Wirkungsquerschnittskurve zeigt, liegt demnach sehr nahe der Ordinatenachse bei kleinsten Geschwindigkeiten.

### 3. Beiträge zu einigen atomchemischen Problemen.

Wenden wir uns nun drei Fragen aus der Atomchemie und den Beiträgen zu, die uns die direkten Sondierungen der molekularen Felder liefern.

**Frage 1.** Haben Gase, die nach dem periodischen System ähnlich gebaut sind, auch ähnliche Feldwirkungen, d. h. ähnliche Wirkungsquerschnittskurven?

Aus der Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften und den Vorstellungen über den Aufbau der Atome weiß man, daß die im periodischen System (vgl. Abb. 8)

1	2	3	*	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	3															
I	H																He
II	Li	B													C	N	O
III	Na	Mg	Al												P	S	F
IV	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Ne
V	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ma	Ru					Cd			Br	Kr
VI	Cs												Hg		J	X	

Abb. 8.  
Periodisches System.

untereinanderstehenden Stoffe ähnlich aufgebaut sind, im besonderen ähnlichen Aufbau in den Außenbezirken des Atoms besitzen. So werden die schweren Edelgase Ne, Ar, Kr, X sämtlich von einer Elektronen-Achterschale abgeschlossen, während die Metallatome Zn, Cd, Hg noch zwei Elektronen außerhalb der Edelgasschale besitzen. Man wird vermuten, daß solche im periodischen System untereinanderstehenden Stoffe auch ähnliche molekulare Feldwirkung haben. Ist aber die Feldwirkung ähnlich, so werden es auch die Wirkungsquerschnittskurven sein, die ja ein unmittelbares Bild der Feldwirkung geben. Daß diese Vermutung ganz richtig ist, zeigen die Abb. 5 und 9, in denen die Wirkungsquerschnittskurven für die schweren Edelgase nach R a m s a u e r , für die Metallatome nach Brode zusammengestellt sind. Untereinander weitgehend

ähnlich, zeigen die beiden Gruppen gänzlich andersartigen Verlauf. — Aber auch bei komplizierten Fällen zeigt sich ähnliches. Stickstoff und Kohlenoxyd haben Moleküle mit gleichartigem Aufbau, wie es sich aus der

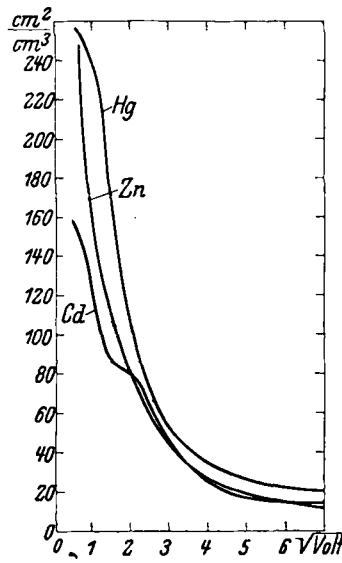


Abb. 9.

Wirkungsquerschnittskurven von Zn, Cd, Hg nach Brode.

Kerne zu sehen. Dem ähnlichen Aufbau entspricht nach Langmuir weitgehende Ähnlichkeit der physikalischen Eigenschaften, dagegen entspricht der Asymmetrie, d. h. der Verschiedenartigkeit in den Dipolmomenten, nach Hückel der Unterschied im chemischen Verhalten. Die in Abb. 10 dargestellten Wirkungsquerschnittskurven des Verfassers zeigen deutlich, daß tatsächlich ähnliche Feldwirkung vorhanden ist. Ein Schluß für die Strukturformeln aus dieser Feststellung: Es ist nicht mehr berechtigt, bei N<sub>2</sub> und CO verschiedene „Bindung“ anzunehmen, also auch nicht berechtigt,

zu schreiben N=N und C≡O; vielmehr muß es unter Berücksichtigung der Elektronenzahlen heißen: N≡N und C≡O. — Unsere eingangs aufgestellte Frage wird durch das erste einfache und durch das zweite kompliziertere Beispiel durchaus bejaht.

**Frage 2.** Welche Bedeutung hat der Einbau von Wasserstoffkernen in den Molekelverband für die Wirkungsquerschnittskurven, d. h. für die Feldwirkung?

Der Grimmischen Systematik der chemischen Verbindungen liegt folgender Gedanke zugrunde, der an einem Beispiel erläutert werde. Will ich aus einem F-Atom ein Ne-Atom machen (vgl. Abb. 11), so muß ich die F-Außenschale mit sieben Elektronen zur Ne-Achterschale ergänzen und gleichzeitig dem Kern eine den Elektronenzuwachs ausgleichende positive Zusatzladung geben. Vielleicht kann man diese Manipulation angenähert dadurch verwirklichen, daß man in das F-Atom ein H-Atom, also 1 Elektron + 1 Proton einbaut. Ist diese Vermutung richtig, so wäre also FH als Pseudo-Edelgas, genauer als Pseudo-Neon aufzufassen. Durch konsequente Durchführung dieses Gedankens kommt Grimm dazu, die Reihe Ne—FH—OH<sub>2</sub>

—NH<sub>3</sub>—CH<sub>4</sub> als zusammengehörige Stoffe ähnlicher Feldwirkung zu betrachten, ebenso wie in komplizierteren Fällen, z. B. N≡N und HC≡CH. So ist auch die in Abb. 12 dargestellte Grimm'sche Tabelle entstanden

4	5	6	7	8
C	N	O	F	Ne
CH	NH	OH	FH	
CH <sub>2</sub>	NH <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	
CH <sub>3</sub>				CH <sub>4</sub>

4	5	6	7	8
—	N≡N	O=O	F=F	—
	HC≡CH	HO-OH	NH-NH	
	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub>	
				CH <sub>3</sub>

Abb. 11.

Verschiebungstabelle der Hydride.

zu denken. — Zunächst scheint die Annahme, daß sich die obenbeschriebene Manipulation durch die Zuführung eines H-Atoms in gewissem Maße verwirklichen ließe,

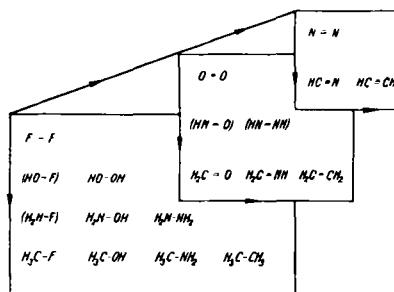
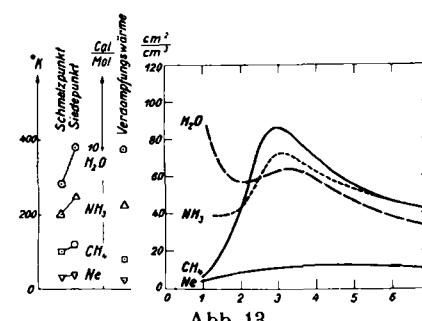


Abb. 12.

Tabelle aus Grimm's neuer Systematik der chemischen Verbindungen.

sehr hypothetisch. Doch weisen, darauf kann hier im einzelnen nicht eingegangen werden, verschiedene Eigenschaftsvergleiche darauf hin, daß tatsächlich ein Einbau der H-Kerne ins Innere des Atoms stattfindet, die Wirkung der H-Kerne demnach nach außen abgeschirmt wird. Daß bei dem Eingehen einer solchen Verbindung, also z. B. bei der Bildung des HF, die Achterschale gebildet wird, entspricht ja schon der bekannten Kosselschen Theorie.

Fragen wir nun für die beiden Fälle Ne—FH—OH<sub>2</sub> —NH<sub>3</sub>—CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>—C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> danach, welche Aussagen die direkten Feldsondierungen machen. Die Abb. 13 und 14



Wirkungsquerschnittskurven der Pseudoedelgase nach Brüche.

enthalten die Resultate des Verfassers. Bei den Pseudo-Edelgasen ist oberhalb 2,5 V Volt ganz derjenige Verlauf vorhanden, den man bei Richtigkeit der angedeuteten Vorstellungen erwarten sollte. Alle Kurven haben ein Maximum an gleicher Stelle und sind in ihrer Höhe in erwarteter Reihenfolge gruppiert. Unterhalb 2,5 V Volt zeigt sich dagegen ein vollständig abweichender Verlauf mit einer Endgruppierung: Ne—CH<sub>4</sub>—NH<sub>3</sub>—H<sub>2</sub>O. Also hier ist der Hydridverschiebungssatz scheinbar nicht erfüllt. Aber auch eine Reihe anderer Kon-

stanten, nämlich Schmelzpunkt, Siedepunkt, Verdampfungswärme usw., ordnet sich dem „Hydridverschiebungssatz“ nicht ein und gibt in ihren Absolutwerten die gleiche Gruppierung wie die Wirkungsquerschnittskurven. Es sind das diejenigen Konstanten, die durch den Dipolcharakter der Gase bestimmt werden.

Der Dipolcharakter der Gase, der eine Folge des H-Kern-Einbaus ist, zeigt sich also auch für den Wirkungsquerschnitt bei kleinsten Geschwindigkeiten bestimend.

— Eine unverkennbare Ähnlichkeit weisen auch die Kurven von  $N_2$  und  $C_2H_2$  auf, wobei der „aufgeblasenen“ Acetylenmoleköl durchgehend ein größerer Querschnitt als der Stickstoffmoleköl zukommt. — Beide Beispiele ergeben deutlich, daß diejenigen Moleküle, deren Feldwirkungen nach dem Hydridverschiebungssatz als ähnlich ver-

Wirkungsquerschnittskurven von Stickstoff und Acetylen nach Brüche.

mutet werden, auch ähnliche Wirkungsquerschnittskurven haben, soweit nicht durch den H-Kern-Einbau Dipolwirkungen bedingt sind. Diese Resultate können als positiver Beitrag zu den Vorstellungen angesehen werden, die man sich vom H-Kern-Einbau gemacht hat.

*Frage 3. Wie zeigt sich die Vorstellung von dem kettenförmigen Aufbau der gesättigten Kohlenwasserstoffe in der Feldwirkung, d. h. in den Wirkungsquerschnittskurven?*

Methan, Äthan, Propan, Butan usw. sind, wie es auch die Struktionsformeln der Abb. 15 erkennen

	$CH_4$ Methan	$C_2H_6$ Äthan	$C_3H_8$ Propan	$C_4H_{10}$ Butan
1. Strukturformel	H H-C-H H	H H H-C-C-H H H	H H H H-C-C-C-H H H H	H H H H H-C-C-C-C-H H H H H
Molekulargew.	16	30	44	58
Siedepunkt	- 164°C	- 88	- 44	- 0
Schmelzpunkt	- 184°C	- 172	- 190	- 135
Krit. Druck	48 at	48	45	37
2. Eigenschaften				
v.d. Waals a	0.004	0.011	0.017	0.029
v.d. Waals b	0.019	0.028	0.038	0.055

Abb. 15.

Formel und Eigenschaften der gesättigten Kohlenwasserstoffe.

lassen, „kettenförmig“ oder „stäbchenförmig“ aufgebaut. Ihre Verwandtschaft und die fortschreitende Entwicklung der Ketten zeigt sich wohl am deutlichsten in den Eigenschaftsdaten, für die die Abb. 15 ebenfalls Beispiele gibt. Auch die Wirkungsquerschnittskurven dieser Moleküle, die kürzlich vom Verfasser gewonnen wurden, weisen wie erwartet große Ähnlichkeit untereinander auf, wozu man Abb. 16 vergleiche. Die Kurven liegen, entsprechend der Länge der Kette, gestaffelt und geben die Möglichkeit, den Abstand der C-Kerne in den Ketten zu errechnen. Es folgt aus elementaren Überlegungen  $2,3 \cdot 10^{-8}$  cm. Also auch hier

finden wir die Wirkungsquerschnittskurven als ein brauchbares Hilfsmittel der Atomphysik und Atomchemie.

#### 4. Neueste theoretische und experimentelle Fortschritte.

Wenden wir uns nach diesem Streifzug durch chemisches Gebiet wieder rein physikalischen Fragen zu. Wir sahen, daß der Ramsauer-Effekt, d. h. das Absinken des Wirkungsquerschnitts bei Übergang zu kleinsten Elektronengeschwindigkeiten, eine im Makrokosmos vollständig unverständliche Erscheinung ist, daß unser Sonnensystem einem Eindringling gegenüber bei langsamer werdender Geschwindigkeit einen immerfort wachsenden Wirkungsquerschnitt entgegengesetzt. Während es zur Zeit der Entdeckung dieses Effektes nicht gelang, den prinzipiellen Unterschied zwischen Sonnensystem und Atom zu verstehen, ist es heute möglich, ihn sich plausibel zu machen. Begründet ist der Unterschied darin, daß wir uns stillschweigend das siedierende Elektron als ein kleines, negativ geladenes

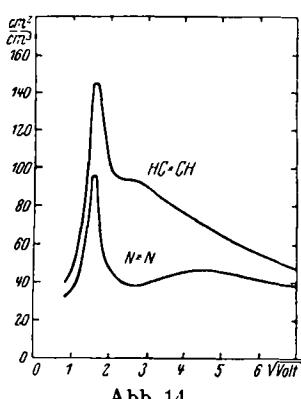


Abb. 14.

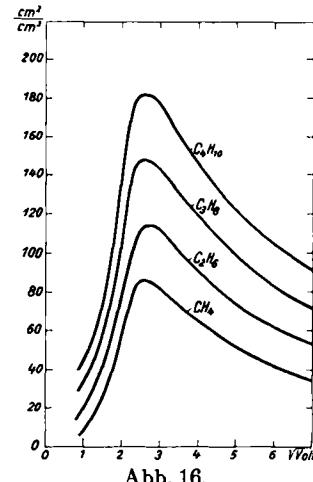


Abb. 16.  
Wirkungsquerschnittskurven der gesättigten Kohlenwasserstoffe.

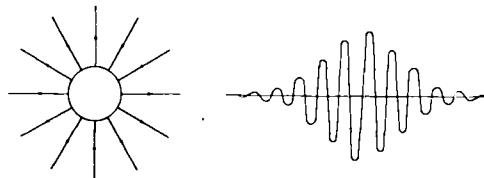


Abb. 17.

Das Elektron als Korpuskel und Welle.

und kugelartiges Gebilde vorstellten, während diese Anschauung nach der modernen Atomphysik falsch ist. Das Elektron hat neben seiner Korpuskelnatur auch Wellennatur. Lassen wir nämlich, wie es im besonderen Rupp in vielen Versuchen gezeigt hat, einen Elektronenstrahl eine sehr dünne Metallfolie durchdringen, so erhalten wir, ähnlich wie bei Röntgenstrahlen, Beugungsbilder. Eine derartige Beugungs-

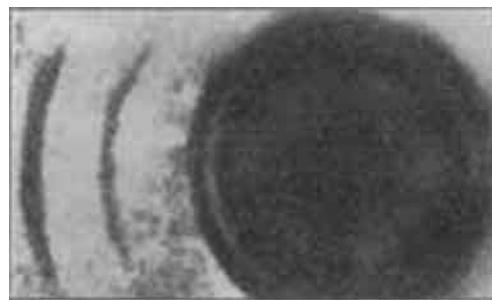


Abb. 18.  
Elektronen-Beugungsbild nach Rupp.

aufnahme von Rupp am Silbergitter, die den direkt durchgehenden Strahl und Beugungsringe an der Schwärzung einer dahintergestellten photographischen Platte erkennen läßt, gibt Abb. 18 wieder.

Hat das Elektron aber Wellencharakter und läßt es sich am Metallgitter beugen, so werden wir auch eine Beugung am einzelnen Atom zu erwarten haben. Diese

Beugungsscheinung am einzelnen Atom wird dann deutlich werden, wenn, ähnlich wie bei der Beugung von Sonnenlicht an Staubteilchen, die Wellenlänge von gleicher Größenordnung wie das abbeugende Partikel ist. Sollten die charakteristischen Erscheinungen der

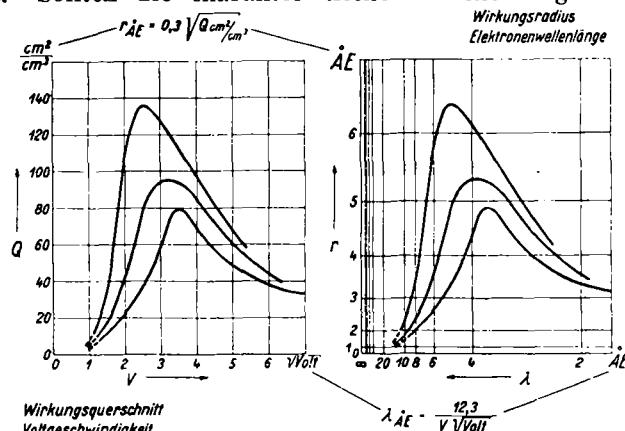


Abb. 19.

Wirkungsquerschnittskurven der Edelgase in verschiedener Auftragung.

Wirkungsquerschnittskurven etwa gerade in dem Gebiet liegen, in dem diese Bedingung von gleicher Größenordnung zwischen Molekeldurchmesser und Wellenlänge der Elektronenwelle erfüllt ist? Das ist nun tatsächlich der Fall, wie es Abb. 19 verdeutlicht. Hier sind links die Wirkungsquerschnittskurven der schweren Edelgase in üblicher Weise aufgetragen, während bei der rechtsstehenden Figur an die Ordinate die Wirkungsradien des einzelnen Atoms in  $\text{ÅE}$ , d. h.  $10^{-8} \text{ cm}$ , an der Abszisse die Broglischen Elektronenwellenlängen in gleicher Einheit aufgetragen sind.

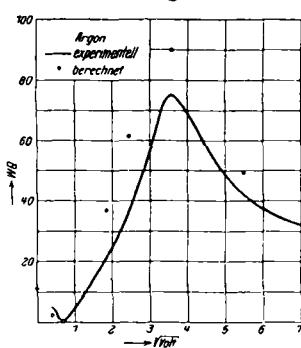


Abb. 20.

Wirkungsquerschnittskurve von Argon, experimentell und nach der Theorie von Holtsmark.

Man erkennt, daß der Ramsauer-Effekt deutlich ist, wo der Atomradius etwa gleich der Elektronenwellenlänge wird. Unsere Überlegung konnte uns nur plausibel machen, daß der eigenartige Effekt wohl mit der Wellennatur des Elektrons in Zusammenhang stehen wird, zu einer genauen Verfolgung

der Erscheinung gehört erheblicher mathematischer Aufwand. Holtsmark ist es ganz kürzlich gelungen, hier vorzudringen. Er hat die Wirkungsquerschnittskurve des Argons auf dem Hartreeschen Atomfeld quantitativ abgeleitet. Die Resultate seiner Rechnungen und ihre Übereinstimmung mit den Experimenten läßt Abb. 20 erkennen. Unter 1 Volt Elektronengeschwindigkeit ergibt die Theorie als Charakteristikum, daß nach Durchlaufung eines Minimums ein Wiederanstieg des Wirkungsquerschnitts auftritt. Gerade dieses Gebiet aber, das für das Verständnis des Vorganges von größter Wichtigkeit ist, ist experimentell nur außerordentlich schwer zugänglich. Elektronen von 1 Volt und darunter sind so langsam, daß auf sie die sonst vernachlässigbaren Einwirkungen kleiner magnetischer (Erdfeld) und elektrostatischer (Kontaktpotentiale) Felder von starkem Einfluß werden. Trotzdem erscheint ihre Geschwindigkeit von 600 km/sec — 600 km ist rund der Weg von Berlin bis Köln — gegenüber sonstigen Geschwindigkeiten noch recht groß. Aber auch die Überwindung der sehr großen experimentellen Schwierigkeiten ist jetzt gelungen. Nachdem bereits Rusch aus seinen Messungen entnehmen konnte, daß die Wirkungsquerschnittskurve des Argons wieder ansteigt, ist es ganz kürzlich Ramsauer und Kollath gelungen, die Kurven von Ar, Kr und X bis 0,16 Volt quantitativ festzulegen. Ihre Ergebnisse, die in Abb. 21 dargestellt sind, stellen der Theorie neue Aufgaben.

Man hat mich gefragt, welchen Zweck diese Untersuchungen haben und worin die praktische Anwendbarkeit zu sehen ist. Wer die Bedeutung der Frage „Welcher Natur ist Atom und Elektron“ nicht erkennt, und wer nicht weiß, wie oft wichtige praktische Fortschritte von „nur theoretisch interessanten“ Untersuchungen ausgegangen sind, den werden auch längere Erklärungen kaum befriedigen. Es ist in diesem Falle am einfachsten und besten, die feine und bescheidene Antwort zu wiederholen, die ein bekannter Theoretiker einem, der nach dem Zweck und Sinn der Atomtheorie fragte, gegeben haben soll: „Es ist halt was fürs Herz.“ [A. 161.]

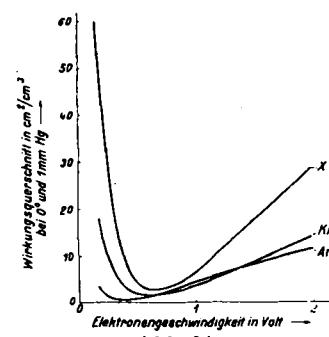


Abb. 21.  
Wirkungsquerschnittskurven der Edelgase unter 2 Volt nach Ramsauer und Kollath.

## Die Fortschritte der organischen Chemie 1924—1928. II.\*)

Von Dr. ERICH LEHMANN, Berlin.  
Chemisches Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule.

(Eingeg. 4. November 1929.)

### B. Spezieller Teil.

#### I. Aliphatische Reihe.

1. Kohlenwasserstoffe: a) Gesättigte Kohlenwasserstoffe. b) Ungesättigte Kohlenwasserstoffe. c) Allgemeines.  
d) Einfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe. e) Mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe. f) Kautschuk. 2. Oxyverbindungen: a) Monoxyverbindungen. b) Dioxyverbindungen. c) Trioxyverbindungen. d) Tetra- und Polyoxyverbindungen. e) Oxyde. f) Äther. 3. Oxoverbindungen: a) Aldehyde. b) Ketone. c) Ketene. d) Oxime.

#### 1. Kohlenwasserstoffe.

##### a) Gesättigte Kohlenwasserstoffe.

K. Yardley<sup>1)</sup> teilt die Resultate röntgenographischer Untersuchungen an Hexahalogen- und Dimethyltetrahalogenderivaten des Äthans mit. Von den einzelnen

<sup>1)</sup> Vgl. Ztschr. angew. Chem. 42, 869 [1929]. <sup>2)</sup> Proceed. Roy. Soc., London, Serie A 118, 449—97; Chem. Ztrbl. 28, II, 2699.

Verbindungen werden die Ausmaße der Elementarkörper bestimmt. Die Zuordnung zu einer bestimmten Raumgruppe gelingt nicht in allen Fällen. Unter der Voraussetzung, daß der Wasserstoff als negatives Ion angesehen wird, berechnen J. H. de Boer und A. E. van Arkel<sup>2)</sup> das Methan- und das Silanmodell. Für den Abstand

<sup>2)</sup> Ztschr. Physik 41, 27; Chem. Ztrbl. 27, I, 2389.