

ocher unter 10^{-9} Torr zu halten. Nach dieser s
er Druck ziemlich schnell auf einige 10^{-8} Torr
es T
UHV - KUPFERFALLEN +)

v o n

E r i c h W . B l a u t h

I P P 2 / 4

7.7.1967

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK G.M.B.H.
MÜNCHEN-GARCHING

UHV - KUPFERFALLEN ^{+))}

v o n

E r i c h W . B l a u t h

LPP 2/4

7.7.1961

Abb. 1. Kupferfalle nach [1]

Die Eigenschaften dieser nicht durch einen Kupferfalle wurden in
einer Arbeit [1] - Mit 10 Textabbildungen - berichtet. Dabei wurde im
allgemeinen festgestellt, dass freimittig die Diffusionskammer ver-
wendet.

II. Bekannte Eigenschaften der Kupferfalle

Aufgrund dieser Experimente können die einzelnen Aufgaben folgende
Angaben über die Kupferfalle:

- a) Die Kupferfalle ist unwirksam in Kupferfalle, die mit Hg-Diffu-
sionskammer arbeiten [1].
 - b) Die Kupferfalle kann man durch Rollen aus jedem anderen gut aus-
- +) Im Auszug vorgetragen beim Jahrestreffen 1962 des Deutschen
Arbeitskreises Vakuum (DAV) in Frankfurt am Main am 2. und
3. April 1962. Daneben erscheint wenig H_2 , etwas CO_2 und H_2O

I. Einleitung

Im Jahre 1953 gab Alpert [1] eine Kupferfolienfalle für Öldiffusionspumpsysteme an (Abb. 1), mit der es möglich ist, das Endvakuum für einige Wochen unter 10^{-9} Torr zu halten. Nach dieser stay-down-Zeit steigt der Druck ziemlich schnell auf einige 10^{-8} Torr, den "Dampfdruck" des Treibmittels, an.



Abb. 1. Kupferfalle nach Alpert [1]

Die Eigenschaften dieser nicht ausgefrorenen Kupferfalle wurden in einer Reihe von experimentellen Arbeiten untersucht. Dabei wurde im allgemeinen Octoil S als Treibmittel für die Diffusionspumpen verwendet.

II. Bekannte Eigenschaften der Kupferfalle

Aufgrund ihrer Experimente machen die einzelnen Autoren folgende Angaben über die Kupferfalle:

- a) Die Kupferfalle ist unwirksam in Pumpsystemen, die mit Hg-Diffusionspumpen arbeiten [2].
- b) Die Kupferfolien kann man durch Folien aus jedem anderen gut ausheizbaren Metall ersetzen [3].
- c) Am Ende der stay-down-Zeit taucht als wesentliches Restgas CO (Masse 28) auf. Daneben erscheint wenig H_2 , etwas CO_2 und H_2O [4], [5].

- d) Schaltet man mehrere Kupferfallen verschiedener stay-down-Zeit mit jeweils eigenem Manometer parallel an eine Diffusionspumpe, so bedeutet das Ende der kürzesten stay-down-Zeit den Durchbruch aller restlichen Fallen [6].
- e) Die stay-down-Zeit hängt von der Art und dem Alterungs-(Zersetzungs-)zustand des Treibmittelöles ab [4].
- f) Die stay-down-Zeit hängt von der Pumpenkonstruktion ab. Pumpen ohne Fraktionierung haben eine viel kleinere stay-down-Zeit als Pumpen mit guter Fraktionierung des Öles [4], [7].
- g) Die Raum- und Flächenverhältnisse vor dem pumpseitigen Eingang der Kupferfalle spielen für die stay-down-Zeit eine Rolle [8], S. 2.
- h) Reine Oberflächen aus Stahl und Glas wirken auch als Fallen für eine Zeit, die groß ist gegenüber der Zeit, die zur Bildung einer Ölmehrfachschicht aus der Gasphase benötigt würde [8].
- i) Das Manometer hinter der Kupferfalle spielt keine wesentliche Rolle für die Aufrechterhaltung des niedrigen Druckes [8].
- j) Eine Erwärmung der gesättigten Kupferfalle auf 275°C bringt keine Öldämpfe zum Vorschein [5]. Es tritt - ebenso wie im Restgasspektrum des Pumpsystems - praktisch nur die Masse 28 des Kohlenmonoxyds auf. Ohne eine zwischengeschaltete Kupferfalle zeigt das Massenspektrometer Kohlenwasserstoffe an [5].
- k) Selbst bei gesättigter Falle treten keine Treibmittelbruchstücke im Massenspektrum auf, die mehr als 3 C-Atome besitzen ($M < 46$). Wenn das Ionisationsmanometer 24 Std. nicht in Betrieb war, tritt beim Einschalten das gesamte Octoil-S-Spektrum bis Masse 114 auf, einige Stunden später nur noch das Restgasspektrum bis Masse 46 (3 C-Atome) [9], S. 140.
- l) In einigen Fällen finden sich im Restgas auch Kohlenwasserstoffe bis zur Masse 45. Es überwiegt jedoch wieder der Anteil von CO und H_2 um ein bis zwei Größenordnungen. Nach der Sättigung der Falle tauchen mehr und insbesondere höhere Massen über $M = 45$ auf [10].
- m) Im 10^{-10} -Torr-Bereich ist der Druck unempfindlich gegen die Raumtemperatur. Im 10^{-9} -Torr-Bereich ist der Druck stark abhängig von

- der Umgebungstemperatur [8], S. 1 und 10.
- n) Kupferfallen großen Leitwertes für Pumpen mit großer Sauggeschwindigkeit zeigen nur eine sehr kleine stay-down-Zeit [7], S. 4; [5].
- o) Der freie Durchflug der Ölmoleküle durch die Kupferfalle (Raumwinkeleffekt) spielt keine Rolle [4], S. 138, Exp. No. 2 und No. 3.
- p) Für die stay-down-Zeit t_s sollte gelten [5], [4]:
$$t_s \sim nA/PF$$

(1) t_s ern durch $t_s \sim nA/PF$ auf der Wand.
- n = Anzahl der festgehaltenen Moleküle/cm²
A = Fläche des Kupferblechs
P = Dampfdruck des Öles
F = Leitwert zwischen den Quellen des Öles und der Falle.
- t_s müßte sich danach bezüglich F hyperbolisch verhalten. Dies konnte nicht gefunden werden [4], S. 138.
- q) Die stay-down-Zeit wächst mit der Länge der Kupferfalle [4], S. 138, Exp. No. 1 und No. 2.
- r) Ein größerer Leitwert der Fallenkombination für eine Pumpe mit kleiner Sauggeschwindigkeit ergibt keine kleinere, sondern eine größere stay-down-Zeit. Der Leitwert hat keinen vorherrschenden Einfluß [4], S. 138, Exp. No. 2 und No. 4.
- s) Die Kupferfläche scheint für die stay-down-Zeit wesentlich zu sein [4], S. 138, Exp. No. 4 und das Experiment mit der 6-inch-Falle. Die dabei als vergleichbar betrachteten Zeiten sind 15 und 21 Tage (!).
- t) Eine Kupferfalle, deren Länge kleiner ist als etwa 1 inch, zeigt keine stay-down-Zeit mehr [5].

Mit den angegebenen Punkten wurde mitgeteilt, was über Kupferfallen bekannt ist.

III. Ölfilm und Gase in UHV-Systemen

Wir stellen noch einige Punkte zusammen, die nicht aus Arbeiten über Kupferfallen stammen, die jedoch wichtig sind, um im folgenden alle Erscheinungen an Kupferfallen "unter einen Hut" zu bringen:

- A) In einem Experiment Millerons [11], S. 6, wird gezeigt, daß die mit flüssigem Stickstoff gekühlte Falle den Durchgang des Öles vollkommen sperrt, wenn alle Flächen der Falle tief gekühlt sind. Ist eine Durchgangsfläche der Falle warm, so gelangt nach einer entsprechenden stay-down-Zeit, während der die ausgeheizte, warme Wand Ölmoleküle bis zur Sättigung aufnimmt, Öl in den Rezipienten. - Diesen experimentellen Befund wollen wir zu folgender Hypothese erweitern: In hinreichend langen Leitungen eines UHV-Systems bewegen sich die Treibmittel-Ölmoleküle fast nicht durch Volumenströmung, sondern durch Kriechen auf der Wand.
- B) In einem Ionisationsmanometer mit heißer Kathode werden Gase aktiviert [12], [13]. Der Heizfaden emittiert UV-Licht. Ladungsträger können das Manometer verlassen und durch Polarisierung der Wände größere Strecken in einer Apparatur zurücklegen.
- C) Der Leitwert einer Vakuumleitung ist für Treibmittelölmoleküle um einige Größenordnungen kleiner als der Leitwert für Permanentgase [14], S. 73.
- D) Die Sorption des Öles an der Wand kommt zumindest in der Monoschicht einer Chemisorption gleich. Man rechnet für die Monoschicht mit Adsorptionsenergien von 20 kcal/Mol und mehr [15], S. 23.
- E) Von warmen, mit dicken Ölfilmen belegten Flächen gelangen Ölmoleküle durch die Gasphase in den Rezipienten. Die Lochkammermethode gestattet den Nachweis der Öldämpfe ab 70°C Wandtemperatur [16], S. 215.

IV. Funktionsmodell der Kupferfalle [20]

Im folgenden wollen wir nun die Kupferfalle einheitlich beschreiben. Unsere Hypothesen erhärten wir soweit wie möglich an bereits vorliegenden Beobachtungen und Messungen.

Die gut ausgeheizte Kupferfalle stellt für die von der Pumpe aus gegen das Manometer vordringenden Ölmoleküle eine sehr große Sorptionsfläche dar [11], S. 6. Da die Ölmoleküle in reinen UHV-Systemen/^{nur} auf der Wand kriechen können (III. A; [11], S. 6), müssen sie die Kupferblechrolle von der Pumpe aus beginnend langsam durchlaufen, wobei sie die ganze, zu einer bestimmten Höhe der Falle kleinen Querschnittes gehörige Kupferfläche etwa gleichmäßig bedecken.

Die stay-down-Zeit ergibt sich hieraus in erster Näherung als die Zeit, die von den Ölmolekülen benötigt wird, um auf dem Kriechweg die Oberfläche der Kupferfalle zu bedecken.

Kupferfallen halten Quecksilber nicht merklich zurück, weil Hg einen relativ hohen Dampfdruck und eine relativ kleine Verdampfungswärme und damit verbunden eine hohe Kriechgeschwindigkeit besitzt (II.a; [2], [15], S. 26).

Vom Manometer kommend, gelangen aktivierte Gase, ultraviolette Strahlung und Ladungsträger zur Kupferfalle (III.B; [12], [13]). Das aktivierte Gas wird innerhalb einer kurzen Strecke $- l_D -$ in der Kupferfalle durch Wandstöße deaktiviert. - Die Rekombinationswahrscheinlichkeit für den Stoß des atomaren Wasserstoffs gegen ein reines Metall ist nahezu gleich eins. - Auf der genannten Strecke $- l_D -$ werden auch die Ladungsträger rekombinieren. Praktisch wird jedes ausheizbare Metall die Funktion des Kupfers übernehmen können (II.b; [3]). Wir haben, vom Manometer herkommend, in der Kupferfalle eine zeitlich konstante Grenze für das aktivierte Gas, die Ladungsträger usw. Von der Pumpe her haben wir eine zeitlich veränderliche, vorwärts wandernde Grenze der kriechenden Ölmoleküle. Am Ende der stay-down-Zeit treffen die beiden Grenzen zusammen. Die Ölmoleküle werden nun durch das aktivierte Restgas, die UV-Strahlung und die Ladungsträger gespalten. Die Spaltprodukte werden im Manometer weiter zerlegt und aktiviert. Sie helfen dann, die Reaktion voranzutreiben. Die entstehenden Gase bewirken den Druckanstieg und damit das Ende der stay-down-Zeit. Als Reaktionsprodukte entstehen in der Hauptsache Kohlenmonoxyd, Wasserstoff und Wasser. Der Sauerstoff wird durch den atomaren Wasserstoff [17] aus dem Glas oder den Metalloxyden über den sogenannten "Wasserkreislauf" [18] entnommen. Wasserstoff und Wasser werden am Heizfaden zersetzt. Die dabei aktivierten Reaktionsprodukte wirken bei der Zerlegung des Öles mit. Wasser erscheint im Restgasspektrum nur geringfügig, weil es stark sorbiert wird. Außerdem wird der durch den Wasserkreislauf beschaffte Sauerstoff weitgehend zur Oxydation des Kohlenstoffes zu Kohlenmonoxyd verbraucht. Das Restgas der gesättigten Falle besteht somit überwiegend aus Kohlenmonoxyd (II.c; [4], [5]).

Die Grenzen der kriechenden Ölmoleküle und der aktivierten Gase usw. sind nicht ganz scharf; daraus folgt, daß der Druckanstieg besonders zu Anfang etwas schleichend ist, wie es Abb. 2 zeigt.

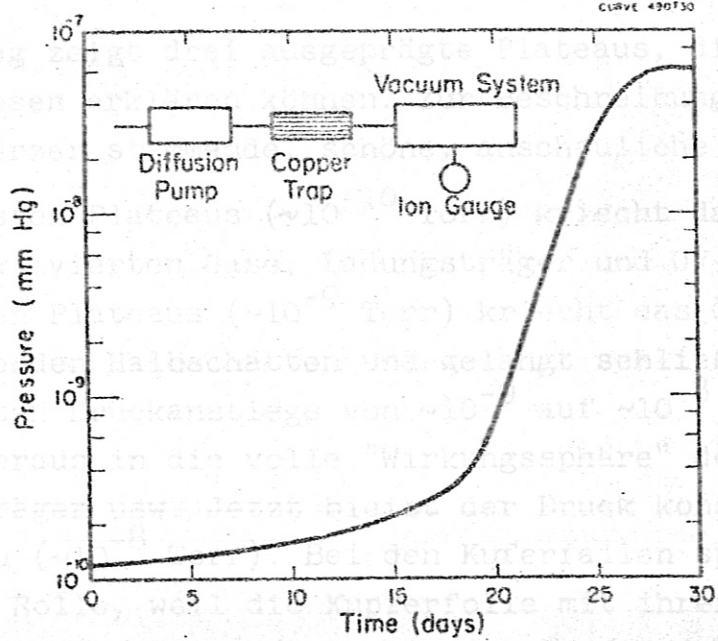


Abb. 2. Druckanstieg in einer UHV-Apparatur mit Kupferfalle nach Carmichael und Lange [4]

In einer Glas- oder Metallapparatur ohne Kupferfalle, an die ein Ionisationsmanometer über einen Glastubus angeschlossen ist, verläuft der Druckanstieg bei konstanten Betriebsbedingungen und insbesondere konstanter Raumtemperatur stets etwa so, wie es die Abb. 3 zeigt.

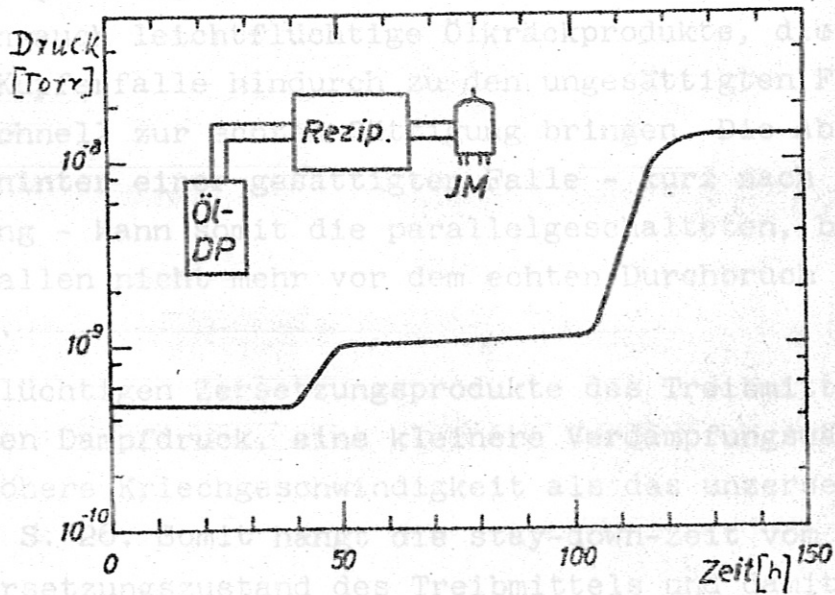


Abb. 3. Druckanstieg in einer UHV-Apparatur ohne Kupferfalle

Der Druckanstieg zeigt drei ausgeprägte Plateaus, die wir auch mit unseren Hypothesen erklären können. Zur Beschreibung benutzen wir die von B. Scherzer stammende, schöne, anschauliche Darstellung:

Während des ersten Plateaus ($\sim 10^{-10}$ Torr) kriecht das Öl im Kernschatten der aktivierten Gase, Ladungsträger und UV-Strahlung. Während des zweiten Plateaus ($\sim 10^{-9}$ Torr) kriecht das Öl in dem immer "lichter" werdenden Halbschatten und gelangt schließlich zum Zeitpunkt des zweiten Druckanstiegs von $\sim 10^{-9}$ auf $\sim 10^{-8}$ Torr aus dem Halbschatten heraus in die volle "Wirkungssphäre" der aktivierten Gase, Ladungsträger usw. Jetzt bleibt der Druck konstant auf dem dritten Plateau ($\sim 10^{-8}$ Torr). Bei den Kupferfallen spielt der Halbschatten keine Rolle, weil die Kupferfolie mit ihren ziemlich flachen Riefen eng gewickelt ist. Daraus folgt, daß das zweite Plateau ($\sim 10^{-9}$ Torr) beim Druckanstieg nicht deutlich ausgeprägt ist.

Für Ölmoleküle hat die Kupferfalle einen sehr kleinen Leitwert, für CO dagegen einen großen (III.c; [14], S. 73). Daraus folgt, daß der durch die Zersetzung des Öles bedingte steigende Druck in einem zweiten Manometer, das über eine weitere, noch nicht gesättigte Kupferfalle parallelgeschaltet ist, ebenfalls angezeigt werden muß. Diese zweite Falle scheint sich damit der Sättigung zu nähern (II.d; [6]).

Bei der Wechselwirkung zwischen aktiviertem Gas usw. und den Ölmolekülen in der gesättigten Kupferfalle entstehen nicht nur CO, H₂ und H₂O, sondern auch leichtflüchtige Ölkräckprodukte, die durch die gesättigte Kupferfalle hindurch zu den ungesättigten Fallen gelangen und diese schnell zur echten Sättigung bringen. Die Abschaltung des Manometers hinter einer gesättigten Falle - kurz nach dem Eintritt der Sättigung - kann somit die parallelgeschalteten, bisher ungesättigten Fallen nicht mehr vor dem echten Durchbruch retten (II.d; [6]).

Die leichtflüchtigen Zersetzungsprodukte des Treibmittels haben einen höheren Dampfdruck, eine kleinere Verdampfungswärme und damit auch eine höhere Kriechgeschwindigkeit als das unzersetzte Treibmittel [15], S. 26. Somit hängt die stay-down-Zeit vom Alterungs-, d.h. dem Zersetzungsstand des Treibmittels und damit auch vom Pumpentyp mit seiner speziellen Fraktionierung ab (II.e; [4]. II.f; [4], [7], [15], S. 26).

Jede reine Oberfläche kann selbstverständlich im genannten Sinne als

Falle wirken. Damit sind auch die Punkte g) und h) geklärt (II.g; II.h; [8], S. 2). Die stay-down-Zeit für diese Flächen ist größer als die Zeit, die rechnerisch nötig wäre, um aus der Gasphase eine Ölmonoschicht zu bilden, weil

1. in einer UHV-Apparatur die Gasphase über einer Ölmonoschicht praktisch keine Ölmoleküle enthält. (Der gemessene und als "Sättigungsdampfdruck des Treibmittels" bezeichnete Enddruck baut sich in komplizierter Weise durch die Zersetzung der Ölschicht an der Wand auf. Er wird von vielen Faktoren beherrscht, z.B. vom Blears-Effekt.);
2. die Ölmonoschicht durch kriechendes Öl ziemlich langsam gebildet wird (II.h; [8]).

In dem beschriebenen Funktionsmodell der Kupferfalle spielt das Manometer hinter der Kupferfalle keine Rolle für die Aufrechterhaltung des niedrigen Druckes (II.i; [8]), sondern nur für seine Begrenzung und die Bildung der Restgase im Sättigungszustand und die daraus folgenden Eigenschaften, z.B. II.d).

D. Alpert [19] hat ein Experiment durchgeführt, das für unsere Hypothesen sehr aufschlußreich ist. Abb. 4 zeigt die Apparatur und die Meßkurven.

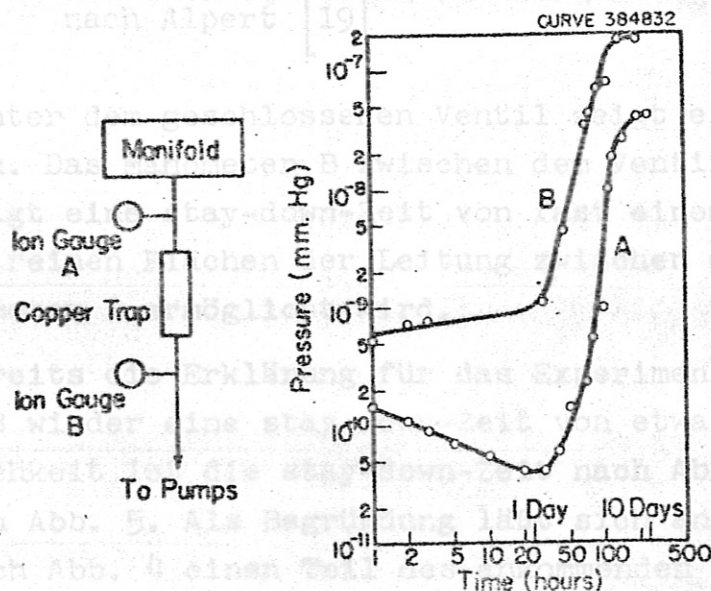


Abb. 4. Druckanstieg in einer UHV-Apparatur mit Kupferfalle nach Alpert [19]

Während der Messungen wurde ein Ionisationsmanometer vor der Kupferfalle und eines dahinter betrieben. Wir erwarten, daß das Manometer B vor der Falle sofort alles ankommende Öl zerlegt, so daß das Manometer A hinter der Kupferfalle keine stay-down-Zeit anzeigt. Dies

steht im Widerspruch zu den Messungen. Beide Manometer zeigen eine stay-down-Zeit.

Zur Erklärung dieser Tatsache müssen wir das in Abb. 5 dargestellte Experiment Alpererts heranziehen. Bei diesem Experiment wurde die gleiche Apparatur verwendet wie bei dem Experiment nach Abb. 4, mit dem einzigen Unterschied, daß statt der Kupferfalle ein Ventil eingesetzt wurde.

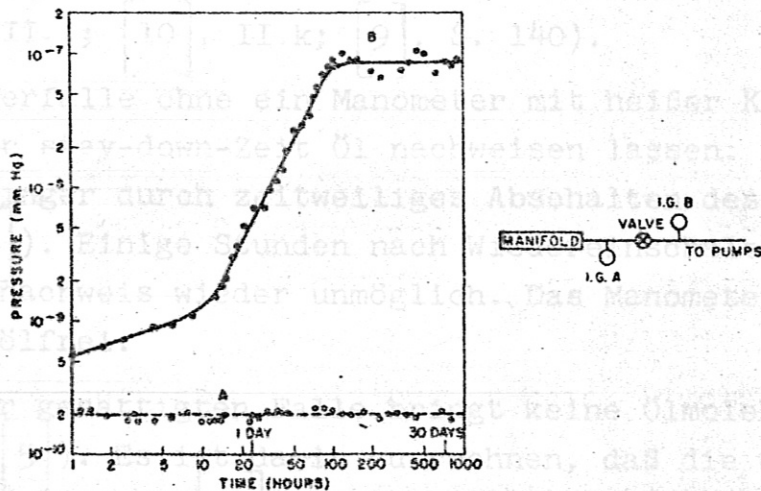


Abb. 5. Druckanstieg in einer UHV-Apparatur nach Alpert [19]

Das Manometer A hinter dem geschlossenen Ventil zeigt einen stets konstanten Druck an. Das Manometer B zwischen dem Ventil und der Diffusionspumpe zeigt eine stay-down-Zeit von fast einem Tag, die offenbar durch die reinen Flächen der Leitung zwischen der Diffusionspumpe und dem Manometer B ermöglicht wird.

Damit haben wir bereits die Erklärung für das Experiment nach Abb. 4: Das Manometer B muß wieder eine stay-down-Zeit von etwa einem Tag zeigen. (In Wirklichkeit ist die stay-down-Zeit nach Abb. 4 etwas größer als die nach Abb. 5. Als Begründung läßt sich anführen, daß die Kupferfalle nach Abb. 4 einen Teil des ankommenden Öles aufnimmt, so daß der Druckanstieg gegenüber Abb. 5 etwas später einsetzt. Die gleiche Beobachtung wurde auch von D. J. Grove [8], S. 2, gemacht.) Am Ende der stay-down-Zeit des Manometers B (Abb. 4) muß nach unseren Vorstellungen auch der Druck im Manometer A hinter der Kupferfalle ansteigen. Diese Forderung ist erfüllt. Die noch nicht belegte Kupferfalle kann den Druckanstieg im Manometer A infolge ihrer Sorptionsfähigkeit etwas verzögern. Der Blears-Effekt [14] und

die Sorptionsfähigkeit der Kupferfalle führen dazu, daß in Abb. 4 die Kurve A bei tieferen Drücken liegt als die Kurve B.

Ölmoleküle werden hinter der gesättigten Kupferfalle nicht gefunden, solange das aktivierte Gas usw. alle ankommenden Ölmoleküle zerlegt (II.j; [5]). Kommen infolge eines großen Kriechleitwertes der Falle für die Ölmoleküle oder infolge der Benutzung stark zersetzten Öles viele Ölmoleküle am Manometer an, so kann die Zerlegung nicht vollständig sein. Im Massenspektrum tauchen dann Kohlenwasserstoffe auf (II.j; [5], [7]. II.l; [10]. II.k; [9], S. 140).

Hinter einer Kupferfalle ohne ein Manometer mit heißer Kathode muß sich also nach der stay-down-Zeit Öl nachweisen lassen. Das wurde von Jahn und Zähringer durch zeitweiliges Abschalten des Manometers gezeigt (II.k; [9]). Einige Stunden nach Wiedereinschalten des Manometers ist der Ölnachweis wieder unmöglich. Das Manometer macht seine "Wirkungssphäre" ölfrei.

Eine Erhitzung der gesättigten Falle bringt keine Ölmoleküle zum Vorschein (II.j; [5]). Es ist damit zu rechnen, daß die mit nahezu chemischer Bindung (III.D; [15], S. 23) sorbierten Ölmoleküle nur durch eine Zersetzung von der Kupferoberfläche entfernt werden können. Dabei können die auch im Sättigungszustand auftretenden Restgase (vor allem CO) entstehen (II.j).

Im 10^{-10} -Torr-Bereich ist die "Wirkungssphäre" des Manometers noch frei von Ölmolekülen. Die Raumtemperatur kann nur geringfügig, über die Gasabgabe der Wand, die Druckmessung beeinflussen. Im 10^{-9} -Torr-Bereich hat das Öl die "Wirkungssphäre" des Manometers erreicht. Die Raumtemperatur wirkt sich nun über die stark temperaturabhängigen Dampfdrücke und Sorptionseigenschaften der entstehenden Ölzeretzungsprodukte empfindlich auf die Druckanzeige aus (II.m; [8], S. 1 und 10).

Kupferfallen mit großem Leitwert, kombiniert mit großen Metall-Öldiffusionspumpen, haben eine sehr kleine stay-down-Zeit (II.n; [5], [7]). Die Erklärung dieser Erscheinung ist nicht leicht, weil praktisch keine experimentellen Angaben vorliegen. Wir sind gezwungen, mehrere Einflüsse zur Erklärung heranzuziehen. Eine experimentelle Bestätigung muß noch erfolgen.

Erklärung:

- α) Bei Systemen mit großen Metall-Öldiffusionspumpen und Kupferfallen ist der Abstand zwischen dem nicht ausgeheizten Wasser-

baffle und der Kupferfalle klein, um die hohe Sauggeschwindigkeit der Pumpe zu erhalten. Das bedeutet gleichzeitig, daß der Leitwert zwischen Baffle und Falle für kriechende Ölmoleküle groß ist.

- β) Zwischen Kupferfalle und Wasserbaffle besteht oft eine optische Verbindung (Erhaltung der Sauggeschwindigkeit). Das bedeutet, daß Ölmoleküle direkt durch den Gasraum, vom dicken Ölfilm auf dem Wasserbaffle zur Kupferfalle gelangen können (III.E; [16], S.215).
- γ) Die Fraktionierung des Öls ist bei Metall-Öldiffusionspumpen schlechter als bei der Hickman-Öldiffusionspumpe aus Glas. Das führt wegen des höheren Gehaltes an schnellkriechenden oder merklich verdampfenden Kräckprodukten zu einer kleineren stay-down-Zeit.

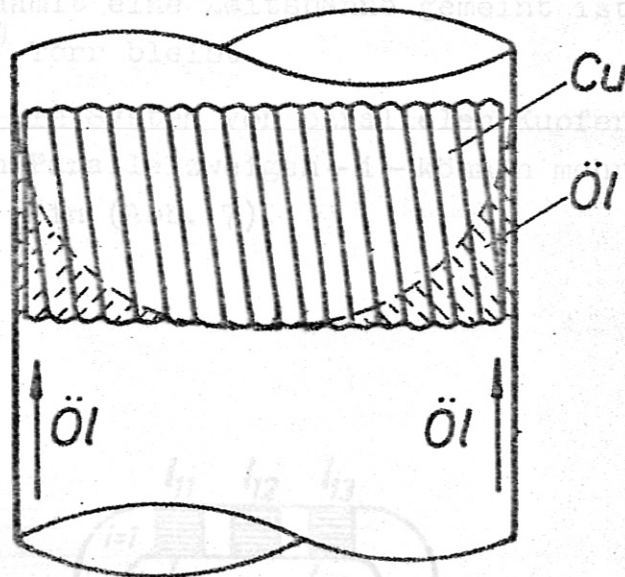


Abb. 6. Kupferfalle mit größerem Leitwert

- δ) Um die hohe Sauggeschwindigkeit der Pumpe zu erhalten, muß der Leitwert der Kupferfalle groß sein. Dies hat zur Folge, daß das Verhältnis Länge zu Durchmesser der Falle wesentlich kleiner wird, wenn man von kleinen Systemen für Glas-Öldiffusionspumpen zu großen Systemen für Metall-Öldiffusionspumpen hoher Sauggeschwindigkeiten übergeht. In Abb. 6 sind die Verhältnisse einer Falle großen Leitwertes, wie sie für Pumpen hoher Sauggeschwindigkeit verwendet werden, etwas übertrieben dargestellt. Da das Öl nur auf der Wand kriecht, muß man, wie Abb. 6 zeigt, annehmen, daß im Augenblick der

Sättigung nur ein Teil der Kupferfalle mit Ölmolekülen belegt ist. Da die stay-down-Zeit durch das Verhältnis der sorbierenden Kupferfläche zu der einströmenden Ölmenge bestimmt wird, ergibt sich aus dieser Betrachtung und den Punkten α) und γ) eine unter Umständen beträchtlich verkleinerte stay-down-Zeit.

e) Unregelmäßigkeiten in der Wicklung des Kupferblechs treten bei großen Fallen leicht auf. Sie ergeben ebenfalls eine Verkürzung der stay-down-Zeit, besonders unter Beachtung von β).

Mit unseren Vorstellungen über den Mechanismus der Kupferfallen wollen wir eine einfache Formel für die stay-down-Zeit aufstellen. Diese Formel gestattet uns, einige Experimente zu beschreiben und die bereits genannte Deaktivierungslänge zu bestimmen. Die stay-down-Zeit nennen wir $t_{s10^{-9}}$, weil damit eine Zeitspanne gemeint ist, während der das Endvakuum unter 10^{-9} Torr bleibt.

Die Formel gilt für ein System von parallelen Kupferfallen gleichen Querschnitts. In den Parallelzweigen - i - können mehrere Kupferfallen in Serie geschaltet sein (Abb. 7).

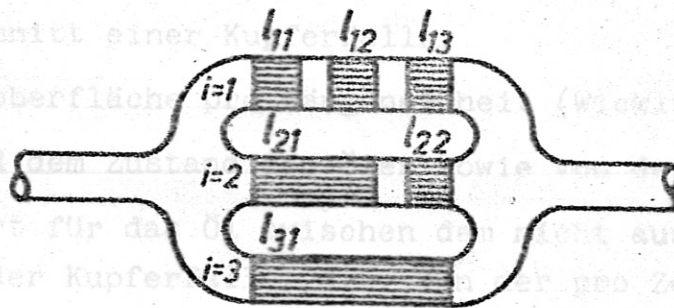


Abb. 7. Kupferfalle

Der Aufstellung der folgenden Gleichung (2) liegt die Vorstellung zugrunde, daß das Öl mit konstanter Rate in das System der Kupferfallen einströmt.

Die Quelle des Öles ist die Pumpe, bzw. der nicht ausgeheizte Teil der Apparatur nach der Diffusionspumpe. Die Verbindungswege zwischen der Quelle des Öles und der Kupferfalle haben einen bestimmten Leitwert für die Ölmoleküle. Die Kupferfalle ist während der stay-down-Zeit nicht vollständig mit Öl belegt. Am Ende der stay-down-Zeit werden alle über die Deaktivierungsgrenze kommenden Ölmoleküle restlos zerlegt. So ergibt sich die Vorstellung der konstanten Einströmrates der Ölmoleküle in die Kupferfalle.

$$(2) \quad t_{s10^{-9}} = c(l_i \min - l_D) \cdot \Pi$$

$t_{s10^{-9}}$ = stay-down-Zeit, während der das Endvakuum unter 10^{-9} Torr bleibt

l_{ij} = Länge der Kupferfalle j im Zweig i

$l_i = \sum_j l_{ij}$ = Summe der Längen aller Kupferfallen im Parallelzweig i

$l_i \min$ = kleinste Gesamtlänge der parallelen Zweige

l_D = Deaktivierungslänge

Π = Anzahl der parallelen Zweige

c = Konstante

Die Konstante c hängt von folgenden Faktoren ab:

- a) dem Querschnitt einer Kupferfalle,
- b) der Kupferoberfläche pro Längeneinheit (Wicklungsart),
- γ) der Art und dem Zustand des Öles sowie von der Pumpentype,
- δ) dem Leitwert für das Öl zwischen dem nicht ausgeheizten Teil der Pumpe und der Kupferfalle, d.h. von der pro Zeiteinheit zur Kupferfalle strömenden Ölmenge.

Das zuströmende Öl breitet sich über jede zur Verfügung stehende Fläche aus, so daß sich eine Verteilung auf die verschiedenen Parallelzweige einer Kupferfalle ergibt.

Diese Aufteilung kann durch nicht leicht kontrollierbare Faktoren ungleichmäßig sein. Erhält bei gleich langen Zweigen irgendein Zweig oder bei ungleich langen Zweigen der kürzeste Zweig ($l_i \min$) zufällig mehr Öl, als seinem Anteil entspricht, so wird die stay-down-Zeit unter den Wert der Gleichung (2) gesenkt. Das nachfolgende Experiment No. 4 ist dafür ein Beispiel. Eine Verlängerung der stay-

down-Zeit kann bei verschiedenen langen Parallelzweigen ebenfalls eintreten, wie leicht einzusehen ist. (Der kürzeste Zweigerhält zu wenig Öl.)

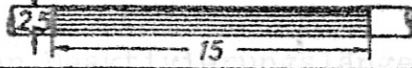
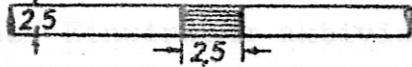

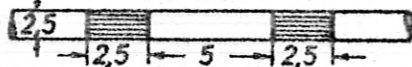
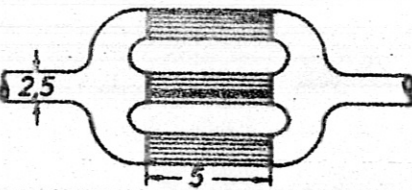
Experiment Nr.	Form der Fallen (Maße in cm)	t_{s10^9} (Tage)	
		gemessen	berechnet
0		-21	22
1		-2	2
2		-6	6
3		-6	6
4		-15	18

Abb. 8. Kupferfallen mit gemessenen [4] und berechneten stay-down-Zeiten

Zur Prüfung der Formel benutzten wir die von Carmichael und Lange [4] ausgeführten und in Abb. 8 zusammengestellten Experimente mit Kupferfallen von 2,5 cm Durchmesser. Die in der letzten Spalte in Abb. 8 eingetragenen stay-down-Zeiten wurden aus Formel (2) berechnet, wobei die aus Abb. 9 entnommenen Werte für c und l_D zugrundegelegt wurden. Aus Abb. 9 folgt:

$$c = 1,6 \text{ Tage/cm}; l_D = 1 \text{ cm}$$

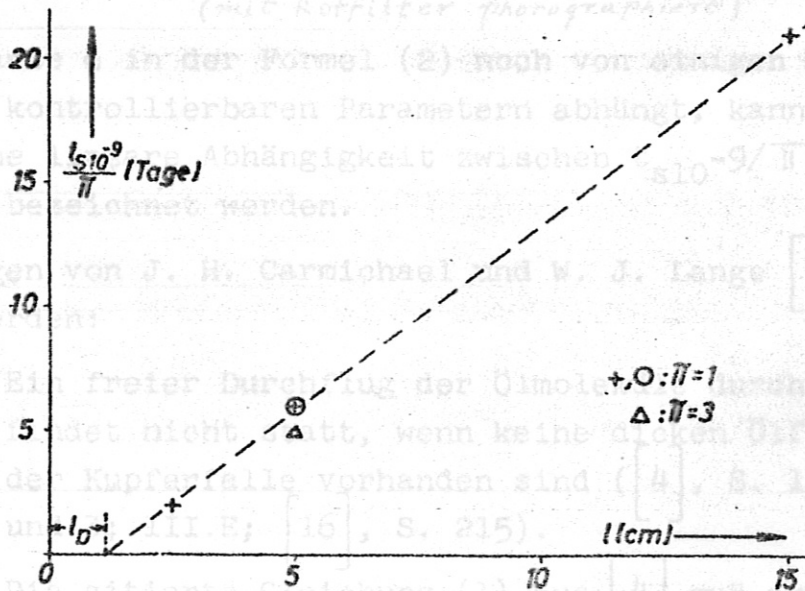


Abb. 9. Stay-down-Zeiten aus [4], aufgetragen nach Formel (2)

Eine Deaktivierungslänge - l_D - von 1 cm erscheint vernünftig. (Sie hängt u.a. von der Form und der Wicklungsart des Kupferblechs ab.) Die Längen der Rohre zwischen den in Serie geschalteten Fallen werden nicht mitgerechnet, weil ihre Oberflächen klein sind gegen die Oberflächen der Fallen.

Zur Demonstration der Deaktivierungslänge haben wir eine schwach oxydierte Kupferfalle der Einwirkung aktivierter Gase (Wasserstoff) über eine längere Zeit ausgesetzt. Abb. 10 zeigt die aufgerollte, geriefelte Kupferfolie. Über eine Deaktivierungslänge von etwa 1 cm ist die Kupferfläche blank geworden.

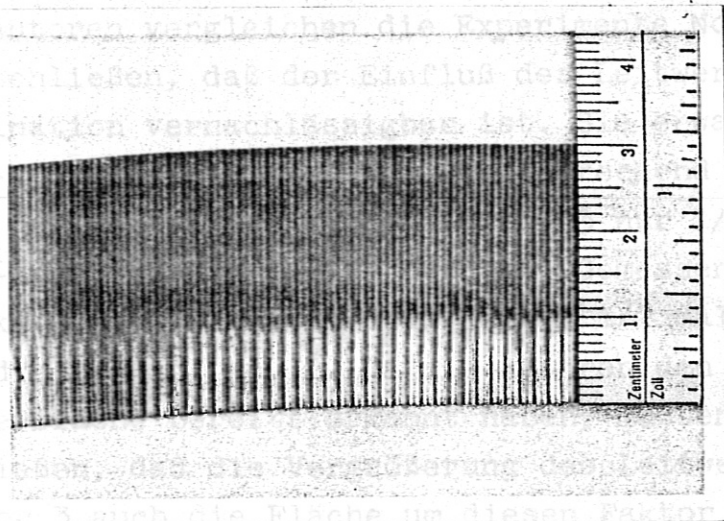


Abb. 10. Demonstration der Deaktivierungslänge an einer schwach oxydierten Kupferfalle (mit Rotfilter photographiert)

Da die Konstante c in der Formel (2) noch von einigen im Experiment nicht scharf kontrollierbaren Parametern abhängt, kann die in Abb. 9 wiedergegebene lineare Abhängigkeit zwischen $t_{s10}^{-9/\pi}$ und l als überraschend gut bezeichnet werden.

Einige Aussagen von J. H. Carmichael und W. J. Lange [4] sollen noch besprochen werden:

Punkt II.o): Ein freier Durchflug der Ölmoleküle durch die Kupferfalle findet nicht statt, wenn keine dicken Ölfilme nahe bei der Kupferfalle vorhanden sind ([4], S. 138, Exp. No. 2 und 3; III.E; [16], S. 215).

Punkt II.p): Die zitierte Gleichung (1) aus [4] muß aufgegeben werden. Die Gleichung (2) gibt die Experimente besser wieder.

Die Punkte II.q), II.r) und II.s) erklären sich fast notwendig aus unseren Vorstellungen über die Kupferfalle, besonders unter Beachtung der Formel (2). Wir können in einigen Punkten allerdings zutreffendere Erklärungen geben als Carmichael und Lange:

Punkt II.s): Die genannten Autoren [4] stellen fest, daß die Kupferfläche der bedeutende Faktor für die stay-down-Zeit ist. Ohne Kenntnis der Deaktivierungslänge - l_D - müssen sie allerdings 15 und 21 Tage für vergleichbare Zeiten halten, weil sie $(6-0,5) = 5,5$ inch effektive Länge der Kupferfalle im Exp. No. 0 für gleich halten mit $3 \cdot (2-0,5) = 4,5$ inch effektiver Länge der Kupferfalle im Exp. No. 4.

Punkt II.r): Die Autoren vergleichen die Experimente No. 2 und No. 4 und schließen, daß der Einfluß des Leitwertes der Fallenkombination vernachlässigbar ist. Sie erwarten, daß die stay-down-Zeit im Exp. No. 4 entsprechend der Vergrößerung des Leitwertes um den Faktor 3 nur $1/3$ der stay-down-Zeit des Exp. No. 2 beträgt. Gemessen wurde, daß im Exp. No. 4 die stay-down-Zeit $2 \frac{1}{2}$ mal so groß ist wie die im Exp. No. 2. Da die Autoren den Einfluß der Kupferfläche bereits erkannt haben, müßten sie hier schließen, daß die Vergrößerung des Leitwertes um den Faktor 3 auch die Fläche um diesen Faktor vergrößert. Damit würde sich für die Änderung der stay-down-Zeit zwischen Falle 2 und 4 ebenfalls der Faktor 3 ergeben, der noch gut mit dem gemessenen Faktor 2,5 übereinstimmt.

Punkt II.t): Eine Kupferfalle, deren Länge etwa so groß oder kleiner ist als die Deaktivierungslänge - l_D -, zeigt selbstverständlich keine stay-down-Zeit mehr [5]. Es wird noch einmal darauf hingewiesen, daß die Deaktivierungslänge - l_D - von der Bauart der Falle, z.B. von der Tiefe der Riefen im Kupferblech abhängt.

V. Zusammenfassung

Es werden die in der Literatur vorliegenden experimentellen Angaben über die Alperzsche Kupferfalle zusammengestellt. Unter Zuhilfenahme anderweitiger Ergebnisse der Höchstvakuumphysik gelingt es ein hypothetisches Funktionsmodell der Kupferfalle aufzustellen. Dieses Funktionsmodell gestattet die einheitliche Beschreibung aller

vorliegenden Kupferfallen-Experimente.

Folgende Gesichtspunkte sind für das Funktionsmodell der Kupferfalle wesentlich:

1. Das Treibmittelöl (Octoil S) einer Diffusionspumpe kann frische Flächen im UHV praktisch nur durch Kriechen belegen.
2. In einem UHV-System bildet das Treibmittelöl über einer frisch belegten Fläche bei Raumtemperatur nur eine kaum merkliche Dampfphase, solange keine Fremdeinwirkungen vorhanden sind.
3. In einem Ionisationsmanometer mit heißer Kathode werden geeignete Gase aktiviert, Ladungsträger gebildet und UV-Strahlung erzeugt. Damit wird die Zerlegung der erreichbaren Ölbelegung in Gang gesetzt.
4. Für die vorgenannten aktivierten Gase etc. gibt es in der Kupferfalle eine Deaktivierungsgrenze.

Die aufgestellten Hypothesen und das beschriebene Funktionsmodell für die Kupferfalle gelten annähernd; besonders deswegen, weil das Öl infolge der Zersetzung keine einheitliche Substanz bleibt.

Ein ähnliches Funktionsmodell läßt sich angeben, wenn man nur voraussetzt, daß die Vakuumleitungen einen kleinen Leitwert für die Ölmoleküle haben. Dieses Modell liefert weitgehend die oben beschriebenen Ergebnisse. Schwierigkeiten entstehen jedoch beim "Halbschattensexperiment" nach Abb. 3 und im Zusammenhang mit der Gleichung (1).

Herrn Dr. G. v. Gierke danke ich für sein Interesse an der Arbeit, Fräulein H. Schulze, Herrn B. Scherzer und Herrn E. Meyer danke ich für Diskussionen.

[1] W. Miller, *Vac. Symp. Trans.* 5, 146 (1959).

[2] J. Langmuir, *J. Am. Chem. Soc.* 34, 1310 (1912).

[3] E. V. Blaich, *Vakuum-Laborbericht Nr. 23*, Max-Planck-Inst. für Physik und Astrophysik, München, 1961, unveröffentlicht.

L i t e r a t u r

- [1] D. Alpert Rev.Sci.Instr. 24, 1004 (1953):
Copper Isolation Trap for Vacuum Systems.
- [2] R.F. Mc Farland, D. G. Mc Donald,
Rev.Sci.Instr. 29, 530 (1958):
Study of the Effectiveness of a Copper
Foil Trap for Mercury Vapor in Vacuum.
- [3] J. Burns,
Rev.Sci.Instr. 28, 469 (1957):
Copper Foil Trap of Improved Form.
- [4] J. H. Carmichael, W. J. Lange,
Vac.Symp.Trans. 5, 137 (1958):
The Use of Copper Foil Isolation Traps with
Ultra-high Vacuum Systems.
- [5] W. J. Lange,
Westinghouse Research Report
Nr. 403-FF-220-RI:
Ultra-high Vacuum Techniques.
- [6] J. H. Carmichael, W. J. Lange,
Westinghouse Research Report
Nr. 403-FF-312-R3:
Quarterly Progress Report, Ultra-high
Vacuum Techniques, Aug. 1 - Oct. 31, 1958.
- [7] E. A. Trendelenburg,
Le Vide 14, 74 (1959):
The Production of Ultra-high Vacua with
Oil Diffusion Pumps.
- [8] D. J. Grove,
Project Matterhorn, Technical Memo No 40
(1957):
Some Observations on the Behavior of
Copper Traps and UHV Systems of Moderate Size.
- [9] P. Jahn, J. Zähringer,
Vak.Techn. 10, 138 (1961):
Massenspektrometrische Untersuchungen im
Ultrahochvakuumbereich.
- [10] W. K. Huber, E.A. Trendelenburg,
Vac.Symp.Trans. 6, 146 (1959):
Recent Developments of Ultra-high Vacuum
Systems Using Oil Diffusion Pumps.
- [11] N. Milleron,
UCRL-5259 (1958):
Some Component Designs Permitting Ultra-
high Vacuum with Large Oil Diffusion Pumps.
- [12] J. Langmuir,
J Am. Chem.Soc. 34, 1310 (1912):
A Chemically Active Modification of
Hydrogen.
- [13] E. W. Blauth,
Vakuum-Laborbericht Nr. 22, Max-Planck-
Inst. für Physik und Astrophysik, München,
1961, unveröffentlicht.

- [14] R. A. Haefer, J. Hengevoss,
Vac.Symp.Trans. 7, 67 (1960):
Studies on the Blears Effect at Pressure
Measurements in the Ultra-high Vacuum
Range.
- [15] Chikara Hayashi, Vac.Symp.Trans. 4, 13 (1957):
Role of Adsorption in Production and
Measurement of High Vacuum.
- [16] M. Auwärter, Ergebnisse der Hochvakuumtechnik und der
Physik dünner Schichten, Stuttgart, 1957:
J. Ruf, O. Winkler, Untersuchung der Rückströmung von Öldif-
fusionspumpen mit Hilfe der Lochkamera.
- [17] E. Blauth, E. Meyer, F. Schwirzke,
Proc. of Fifth Int. Conf. on Ioniz. Phenomena
in Gases, Vol. I, 545 (1962):
Über die Pumpwirkung einer Hochfrequenz-
entladung in Deuterium.
- [18] T. W. Hickmott, J.App.Phys. 31, 128 (1960):
Interaction of Atomic Hydrogen with Glass.
- [19] D. Alpert, Vac.Symp.Trans. 1, 69 (1954):
Ultra-high Vacuum Technology.
- [20] E. W. Blauth Vakuu-Laborbericht Nr. 23, Max-Planck-
Inst. für Physik und Astrophysik, München
1961, unveröffentlicht.