

Über die Radioaktivität der Gasteiner Thermen

von

Dr. **Heinrich Mache.**

Aus dem II. physikalischen Institute der k. k. Universität in Wien.

(Mit 2 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 17. November 1904.)

J. J. Thomson und F. Himstedt haben gezeigt, daß Quellwässer eine radioaktive Emanation enthalten, die durch Auskochen oder Durchperlen von Luft aus ihnen entfernt werden kann. Es ist zu vermuten, daß die durch J. Elster und H. Geitel in der freien Atmosphäre, in besonderem Maße aber in den Erdkapillaren aufgefundene Emanation mit dieser im Quellwasser enthaltenen identisch ist. Ihre gemeinsame Ursache ist darin zu suchen, daß nach Elster und Geitel manche Erdarten und gewisse tonhältige Gesteine eine radioaktive Substanz enthalten, welche die Fähigkeit besitzt, Emanation zu entwickeln, die sich dann eben in Luft und Wasser vorfindet. Die Tatsache, daß nicht meteorische Quellwässer (Thermen) in besonders reichem Maße Emanation aufweisen, führt weiters zur Vermutung, daß diese radioaktiven Substanzen in den tieferen Schichten der Erdrinde in reicherm Maße vorhanden sind als an der Oberfläche. Hiemit findet sich in Übereinstimmung, daß die Sedimente dieser Wässer direkt radioaktive Substanz zu enthalten scheinen, wie dies bereits wiederholt, am erfolgreichsten von Elster und Geitel, an Sedimenten und am Schlamme der Thermalquellen in Baden-Baden dargetan worden ist.¹

¹ Phys. Z., p. 5 und 321 (1904).

Die nächste Frage wird die nach den Eigenschaften dieser neuen aktiven Materialien sein, da die Kenntnis dieser Eigenschaften die Entscheidung ermöglicht, ob hier neue radioaktive Körper vorliegen oder bereits bekannte.

Es behalten nun nach den Versuchen von Elster und Geitel die aus dem Fangschlamm auf chemischem Wege gewonnenen radioaktiven Produkte ihre Wirksamkeit durch zumindest längere Zeit bei, es ist weiter festgestellt, daß die entwickelte Emanation bei derselben Temperatur kondensiert wie die des Radiums (-150°C).¹ und daß auch das Gesetz des zeitlichen Abklingens ihrer Wirkung ungefähr dasselbe ist wie für Radiumemanation, daß also die Wirkung in 3 bis 4 Tagen auf die Hälfte sinkt.² Bezüglich der induzierten Aktivität hat Adams gezeigt, daß sie in ungefähr 35 Minuten zum halben Wert abfällt, was Burton für die aus Rohpetroleum gewonnene Emanation bestätigte.³ Auch diese Zahl nähert sich dem für Radium gültigen Wert.

Einen weiteren Beleg für die große Ähnlichkeit, ich glaube sogar für die Identität der in Frage kommenden Substanz mit Radium bilden die im folgenden mitgeteilten Versuche, die mit den an Emanation ungemein reichhaltigen Produkten der Gasteiner Thermen teils in Bad-Gastein selbst, teils in Wien vorgenommen wurden. Man vermutet schon seit langer Zeit in diesem indifferenten, an Mineralbestandteilen ungewöhnlich armen und doch bekannt heilkräftigem Wasser ein physikalisches Agens und in der Tat haben vor kurzem P. Curie und A. Laborde⁴ gelegentlich einer Untersuchung des Emanationsgehaltes von Quellgasen auch das Gas der Gasteiner Therme (Grabenbäckerquelle) untersucht und gefunden, daß es von allen untersuchten den weitaus größten Betrag von Emanation enthält. Die hier mitgeteilten Versuche erstrecken sich jedoch nicht auf die Quellgase allein, sondern vor allem

¹ F. Himstedt, Phys. Z., p. 5 und 212 (1904).

² Adams, Phil. Mag. (6), 6, p. 563 (1903); Himstedt, Ber. d. Naturf.-Ges. v. Freiburg i. B., 12, p. 101 (1903); Burton, Phys. Z., p. 5 und 511 (1904).

³ L. c.

⁴ C. R., 138, p. 1150 (1904).

auf die im Wasser selbst absorbierte Emanation und auf das in den Quellstollen vorhandene aktive Material. Allen denen, welche mich in freundlicher Weise durch Zusendungen von Wasser und Gesteinsproben unterstützt haben¹ oder die mir in Bad-Gastein selbst förderlich zur Seite standen, bitte ich, auch hier nochmals meinen wärmsten Dank aussprechen zu dürfen. Besonders bin ich auch Herrn Prof. E. Ludwig für die meiner Arbeit erwiesene Förderung und das ihr entgegengebrachte Interesse zu Dank verpflichtet.

I. Methode der Untersuchung.

Die Untersuchung des Wassers und des Gases auf Emanationsgehalt geschah mit der bekannten, zuerst von Elster und Geitel eingeführten Anordnung, die nur einiger geringfügiger Modifikationen bedurfte.

Ein zylindrischer, innen mit dicht anschließendem Messingdrahtnetz ausgekleideter Glassturz von 13·7 l Inhalt wurde mit seinem abgeschliffenen Rande auf einen massiven Kupferteller aufgesetzt und mit Vaselinfett vollkommen gedichtet. Unter dem Sturze stand ein Exner'sches Elektroskop mit Bernsteinisolation und Spiegelablesung nach Elster und Geitel, auf das der zylindrische Zerstreungskörper aufgesetzt war. Das Ablesen des Elektroskopes geschah durch ein Fenster aus Spiegelglas, das Laden vermittelt einer Magnethöhle, die von außen durch einen kleinen Stabmagnet zum Kontakt mit dem den Zerstreungskörper tragenden Stifte gebracht und durch eine den Kupferteller isoliert durchsetzende Zuleitung geladen werden konnte. Zwei Hähne, der eine im Teller, der andere in einer Öffnung des Glassturzes angebracht, ermöglichten die Ausführung der folgenden Operation: Es wurde vermittelt eines durch einen Motor oder die Hand betriebenen Gummigebläses die unter dem Glassturz enthaltene Luft durch den einen Hahn aspiriert, weiter in heftigem Blasenstrom

¹ Ich erwähne hier namentlich das Mitglied der Gasteiner Kurkommission, Herrn L. Schurk, der allen meinen diesbezüglichen Wünschen in der liebenswertesten Weise nachkam.

durch das untersuchte Wasser gepreßt und hierauf über eine Chlorcalciumvorlage und durch den zweiten Hahn in den Apparat zurückgebracht. Bei einer Förderungs menge von zirka $3\frac{1}{3}$ l Luft pro Minute und bei der gewöhnlich verwendeten Wassermenge von 400 cm^3 war dann der Gleichgewichtszustand in längstens einer halben Stunde erreicht. Sollte statt des Wassers Gas untersucht werden, so wurde ganz analog verfahren. Man ersetzte dann die das Wasser enthaltende Flasche durch die das Gas enthaltende und trieb die Luft so lange durch, bis das emanationshältige Gas im ganzen Kreise gleichmäßig verteilt war.

Da diese Operation, wie erwähnt, im allgemeinen eine halbe Stunde in Anspruch nahm und die in den Apparat getriebene Emanation sofort auf dessen Wände induzierend einwirkt, so war der nach dem Aufhören des Durchpumpens im Apparat gemessene Wert des Sättigungsstromes bereits zu hoch und mußte um diesen auf die Aktivierung durch Induktion entfallenden Teilbetrag korrigiert werden. Das geschah in der Weise, daß man den Apparat durch Abheben des Sturzes und kräftiges Ausblasen lüftete und hierauf, nachdem der Sturz wieder aufgesetzt worden war, durch zumindest eine halbe Stunde das Abklingen der induzierten Aktivität beobachtete. Der aus der hiefür erhaltenen Kurve für den Zeitpunkt Null extrapolierte Wert wurde dann in Abzug gebracht.

Eine zweite Korrektur bezog sich auf denjenigen Betrag der Emanation, der in der Trockenvorlage, dem Gebläse, den Schlauchverbindungen und endlich auch noch im Wasser nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes zurückbleibt und sich bei der Messung des Sättigungsstromes im Apparat selbst nicht bemerkbar macht. Diese letztere Korrektur erhöhte unter den gegebenen Verhältnissen die Werte um zirka 10%. Bei dieser Berechnung wurde auf Grund der Versuche von v. Traubenberg¹ sowie auf Grund der weiter unten beschriebenen eigenen Versuche angenommen, daß nach erreichtem Gleichgewichtszustande im Wasser drei Zehntel der in gleichem Volumen Luft vorhandenen Emanationsmenge enthalten ist.

¹ Phys. Z., p. 5, 130 und 210 (1904).

II. Vergleich der verschiedenen Thermalquellen bezüglich ihres Emanationsgehaltes.

Da es nicht ausgeschlossen ist, daß dieser Gehalt mit der Zeit schwankt und es demnach wünschenswert erscheinen könnte, die Versuche nach längerer Zeit zu wiederholen, so soll hier zunächst kurz die Aufzählung der Quellen erfolgen, deren Wasser untersucht wurde, und ihre Lage sowie die Stellen, wo die Proben entnommen wurden, soweit beschrieben werden, daß ein späteres Auffinden ermöglicht ist:

a) Franz Josefs-Stollen.

Der höchstgelegene, am rechten Ufer der Ache oberhalb der Straße mündende Stollen. Er enthält zwei spärliche Quellen von stark verschiedener Temperatur. Am Hauptort rinnt über eine schräge Felsplatte der kältere Thermenstrahl; etwas weiter gegen den Tag gelegen entspringt aus einer gegen Norden gelegenen Spalte die wärmere Quelle.

b) Rudolf-Stollen, auch Fürstenstollen genannt.

Die Mündung liegt an der Straße beim Postgebäude. Er enthält die heißeste Therme Gasteins. Das untersuchte Wasser wurde wegen der Unmöglichkeit, es bei den Ausläufen blasenfrei einzufüllen, aus dem Bassin entnommen, das sich am Ende des Stollens befindet und in welches das Wasser aus einer seitlichen und zum Teile vom First her aus einer höheren, in einer Art Schacht austretenden Quelle abfließt.

c) Wasserfallquelle.

Entspringt beim Hotel Straubinger mitten im Wasserfall. Sie ist dort gut gefaßt, so daß kein Bachwasser zudringen kann und wird in einem Rohre in das Badehaus des Hotels geleitet. Da die Quelle im Sommer völlig unzugänglich ist, wurde die Probe an der Mündung der Leitung entnommen.

d) Chirurgenstollen.

Liegt unmittelbar unter der Straße. In dem kurzen Stollen entspringt am Orte die Therme, die in einem kleinen Becken gefangen wird.

e) Doktorquelle.

Etwas tiefer, in der Nähe des Elisabeth-Stollens gelegen. Das Wasser läuft aus einer Spalte des anstehenden Felsens in ein kleines Bassin.

f) Elisabeth-Stollen, auch Hauptstollen genannt.

Der Stolleneingang liegt unterhalb der Straße beim Wasser-
versendungspavillon Mattoni's. In diesem Stollen brechen drei
Quellen aus. Die mächtigste, am Hauptort aus einer seitlichen
Gesteinsspalte hervorströmend, ergießt sich in ein weites Bassin,
von dem auch die nach Hof-Gastein führende Röhrenleitung
ausgeht. Weiter gegen Tag findet sich an der nördlichen
Wand des Stollens eine zweite Quelle, die in ein kleines, zur
Zeit dicht mit Schlamm gefülltes Becken strömt und endlich
nahe am Eingang auf der Südseite in einem Flügelort eine
dritte, reiche Quelle, die von der Sohle her aus einer mit Sand
gefüllten Spalte in ein tiefes Bassin quillt.

g) Elisabeth-Nebenquelle.

Liegt unterhalb des Einganges zum Elisabeth-Stollen.
(Nicht zu verwechseln mit dem unmittelbar darüber gelegenen
Sammelbecken für die beiden seitlichen Quellen des Elisabeth-
Stollens!)

h) Chorinsky-Quelle.

Wenige Schritte über dem Pumphaus. Die Therme bricht
in zwei Strahlen hervor, die sich, gut gefaßt, in einem kleinen
tiefen Bassin vereinigen. Eine gesonderte Untersuchung der
beiden Zuflüsse wurde nicht vorgenommen.

i) Fledermausstollen.

Liegt über dem Pumphaus nahe dem Wasserfall. Am Ort
rieselt die Quelle spärlich über die schräge Seitenwand. Diese
Therme wird gegenwärtig nicht benützt. Der Stollen stand zur
Zeit voll schlammigen Wassers. Die Probe wurde diesem
Wasser möglichst beim Einfluß entnommen, das aber gewiß

auch hier längere Zeit gestanden hatte. Da zudem das Eindringen von Tagwasser nicht ausgeschlossen war, so ist der gefundene Wert als untere Grenze zu betrachten.

k) Grabenbäckerquelle.

Die tiefstgelegene und die einzige unter den gefaßten Thermen Gasteins, die sich am linken Ufer der Ache vorfindet. Sie entspringt, leicht zugänglich, auf der Wiese des Grabenbäckers, wo sie von unten aus einer mit Sand gefüllten Gesteinsspalte quillt.

Hier steigt auch freies Gas auf. Desgleichen und zwar reichlicher in der südlichen Quelle des Elisabeth-Stollens. Vermutlich führen auch alle anderen Quellen freies Gas mit sich; doch sind die beiden genannten die einzigen, bei welchen gegenwärtig der Zufluß unter dem Wasserspiegel erfolgt und das Gas gefangen werden kann, ehe es sich mit Luft mischt.

Von kalten Quellen wurden zwei untersucht, nämlich

a) die Schachenquelle, ein Tagwasser, das von der Höhe des Graukogels behufs Trinkwasserversorgung in Röhren nach Bad-Gastein geleitet wird;

b) die Quelle im Gruberhaus, die Sommer und Winter gleiche Temperatur und Fördermenge aufweist und den kälteren Thermen zugezählt werden kann.

Endlich wurde auch das Thermalwasser in Hof-Gastein untersucht, das aus der Hauptquelle des Elisabeth-Stollens in einer $7\frac{1}{2}$ km langen Holzröhrenleitung dorthin geführt wird. Die Laufzeit des Wassers wurde mir zu $2^h 9^m$ angegeben. Die am Ende der Leitung entnommene Probe enthielt nur mehr $3\frac{1}{3}\%$ der am Quellursprung vorhandenen Emanation. Es ist somit anzunehmen, daß an einer oder mehreren Stellen der Leitung eine Durchmischung des Wassers mit Luft stattfindet. Sollte man geneigt sein, die Heilkraft der indifferenten Thermen mit ihrem Emanationsgehalt in Zusammenhang zu bringen, dann stünde diese Beobachtung mit der oft gehörten Behauptung im Einklang, daß das Heilwasser in Hof-Gastein, bei gleicher Temperatur angewendet, auf den Organismus weit schwächere Wirkungen ausübt als in Bad-Gastein selbst.

Was die chemische Beschaffenheit des Gasteiner Thermalwassers und Quellgases anbelangt, sei auf die diesbezüglichen Untersuchungen von E. Ludwig und Th. Panzer verwiesen.¹ Dort gibt auch Fr. Berwerth eine kurze Darlegung der eigenartigen geologischen Verhältnisse von Gastein. Ich lasse nun in der folgenden Tabelle die Messungsergebnisse folgen, die Mitte August erhalten wurden und die sich auf Proben beziehen, die wenige Minuten vorher den Quellen entnommen worden waren.

Die Zahlen der ersten Kolumne geben die beobachteten Werte der Spannungsabnahme des Elektroskopes in Volt bezogen auf 15 Minuten und den Liter Wasser oder Gas.

Die Zahlen der zweiten Kolumne bedeuten den Sättigungsstrom in E. S. E., bezogen auf den Liter Wasser oder Gas. Sie geben an, welche Stromstärke durch die ionisierende Wirkung der im Liter enthaltenen Emanation im Maximum erreichbar ist und bilden daher ein absolutes, mit den gleichgehaltenen Angaben anderer Beobachter vergleichbares Maß des Emanationsgehaltes.² Die Kapazität des Apparates wurde bei dieser Berechnung zu 11.7 *cm* angesetzt und war mittels eines Harmischen Kondensators³ bestimmt worden.

An den Zahlen beider Kolumnen ist bereits in der oben angegebenen Weise die Aktivierung durch Induktion korrigiert wie auch der bei der Messung nicht einbezogene Betrag an Emanation, welcher in den Vorlagen und im Wasser selbst nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes zurückbleibt.

Die letzte Kolumne enthält die Temperaturen der betreffenden Quellen, die Herr Dr. A. Kalmann für mich mit einem Normalthermometer zu bestimmen die Freundlichkeit hatte. Diese Temperaturen beziehen sich auf die Stellen, an denen die Wasserproben entnommen wurden.

¹ Wiener klinische Wochenschrift Nr. 27 (1900).

² Vergl. Curie und Laborde, l. c.

³ Phys. Zeitschr. 5, p. 47, 1904.

Tabelle I.

Nr.		Volt in 15 Mi- nuten	$i \cdot 10^3$	Tem- peratur in Grad Celsius
<i>A. Quellgas.</i>				
1	Grabenbäckerquelle	13000	564 ¹	—
2	Elisabeth-Stollen (Quelle Nr. 7)	9500	412	—
<i>B. Wasser.</i>				
3	Grabenbäckerquelle, S—N	3550	155	36·3
4	Elisabeth-Stollen, Hauptort	3060	133	46·8
5	Wasserfallquelle, S—N	2450	106	36·9
6	Chorinsky-Quelle	1920	83·4	41·9
7	Elisabeth-Stollen, Südquelle	1700	73·7	46·1
8	Franz Josephs-Stollen, hintere Quelle, E—W	1480	64·5	39·0
9	Franz Josephs-Stollen, vordere Quelle, E—W	1420	61·7	44·7
10	Chirurgenquelle, E—W	1260	54·5	47·1
11	Fledermausstollen	> 760	> 32·8	30·0
12	Doktorquelle, E—W	730	31·5	44·2
13	Elisabeth-Stollen, Nordquelle	620	26·8	42·5
14	Rudolf-Stollen, E—W	570	24·7	46·9 ²
15	Elisabeth-Nebenquelle	85·0	3·69	45·7
16	Quelle im Gruberhaus	60·2	2·61	15·6
17	Schachenquelle	7·1	0·31	—
	Wiener Leitungswasser	1·9	0·08	—

¹ Der von Curie und Laborde am Gase der Grabenbäckerquelle 12 Tage nach der Entnahme gemessene und auf die Zeit der Entnahme extrapolierte Wert ist wesentlich größer wie der oben gegebene. Doch ist hierbei der auf Aktivierung durch Induktion entfallende Betrag mit einbezogen.

² Die Temperatur der beiden Zuflüsse beträgt am Ursprung 47·2 und 47·4 ° C.

Bei Betrachtung dieser Tabelle fällt zunächst der große Unterschied auf, der zwischen den einzelnen Thermalquellen Gasteins besteht. Selbst die im gleichen Stollen austretenden Quellen können außerordentliche Differenzen aufweisen (vergl. Nr. 4, 7, 13). Hält man an der Hypothese fest, daß »der Wasserzufluß der Gasteiner Thermen auf eine einzige Urquelle zurückzuführen ist, die auf einem Risse in der Tiefe des Gneises aufsteigt und sich erst in der Nähe der Gneisoberfläche nach den Kluftflächen des Gneises verzweigt«,¹ so würde die erwähnte Verschiedenheit entweder dadurch zu erklären sein, daß das emanierende Gestein in verschiedener Menge erst in diesen hochgelegenen Spalten lagert oder, und zwar mit größerer Wahrscheinlichkeit in der Weise, daß die Spalten sich in verschiedener Art und mit verschiedenen Weiten verzweigen, so daß das Wasser nach sehr verschiedener Laufzeit die Oberfläche erreicht.

Ein Zusammenhang des Emanationsgehaltes mit der Richtung der Quellspalten ist nicht ausgeschlossen. Der Gneis des Gasteiner Quellgebietes zeichnet sich durch eine auffallend regelmäßige Zerklüftung längs der Flächen von Kuboiden aus, so zwar, daß alle Spalten ins Kreuz gehen und sich einerseits um die Nord-Süd-, andererseits um die Ost-Westlinie zusammenscharen. Zieht man die hierüber vorhandenen Aufzeichnungen heran, so bemerkt man, daß die an Emanation reichen Quellen (Nr. 3 und 5) aus Spalten entspringen, die dem Nord-Südsystem angehören, während die weniger reichen Quellen (Nr. 8, 9, 10, 12, 14) aus ost-westlichen Spalten ausbrechen.

Ein einfacher Zusammenhang des Emanationsgehaltes mit der Temperatur besteht nicht und ist in Anbetracht der vielen, für diesen Gehalt mitbestimmenden Faktoren wohl auch nicht zu erwarten. Jedenfalls ist es eher noch wahrscheinlich, daß die kälteren Thermen vor den heißen begünstigt sind, da die Absorptionsfähigkeit des Wassers für radioaktive Emanation sowie für jedes andere Gas mit steigender Temperatur abnimmt. In der Tat ist die kälteste unter den benützten Quellen Gasteins,

¹ F. Berwerth, l. c.

die Grabenbäckerquelle, die an Emanation reichste, während die heißeste, die Quelle im Rudolf-Stollen, unter den Thermen an vorletzter Stelle steht.

Mit dieser Vorstellung befindet sich im Einklange, daß das Quellgas in gleichem Volumen viel mehr an Emanation enthält als das Wasser, aus dem es aufsteigt, und daß dieser Unterschied um so größer ist, je höher die Temperatur der Thermalquelle liegt. Nennt man mit v. Traubenberg das Verhältnis zwischen der nach erreichtem Gleichgewicht in der Volumeneinheit Wasser enthaltenen Emanationsmenge zu der in der Volumeneinheit Gas enthaltenen den Absorptionskoeffizienten des Wassers für diese Emanation und nimmt man an, daß für das aus den Quellen aufsteigende Gas der Gleichgewichtszustand erreicht ist, so erhält dieser Koeffizient nach der Beobachtung an der Grabenbäckerquelle (Nr. 1 und 3), also bei der Temperatur $36\cdot3^\circ$ den Wert $0\cdot27$ und nach der Beobachtung an der Südquelle im Elisabeth-Stollen (Nr. 2 und 7), also bei der Temperatur $46\cdot1^\circ$ den Wert $0\cdot18$.

Wurde auf Zimmertemperatur abgekühltes Thermalwasser (Grabenbäckerquelle) in einer nach Art einer Spritzflasche konstruierten, halb leeren und hermetisch geschlossenen Flasche durch 20 bis 30 Minuten heftig durchgebeutelt und dann Wasser und Luft in der oben beschriebenen Weise gesondert auf Emanationsgehalt geprüft, so erhielt man für den Absorptionskoeffizienten den Wert $0\cdot32$, in genügender Übereinstimmung mit den durch v. Traubenberg für Freiburger Leitungswasseremanation bei Zimmertemperatur gefundenen Zahlen, die zwischen $0\cdot33$ und $0\cdot36$ liegen.

Es erschien des Vergleiches halber von Wert, diese Größe auch für Radiumemanation zu ermitteln. Zu diesem Zwecke wurde mit Hilfe eines kleinen Gummigebläses Luft durch eine schwache wässerige Radiumchloridlösung gepreßt und, nachdem sie einen 50 cm langen Wattefilter passiert hatte, durch destilliertes Wasser geleitet, von wo sie zum Gebläse zurückkehrte. Auf diese Weise war es möglich, das destillierte Wasser bis zum gewünschten Maße mit Radiumemanation zu versehen. Wurde dann ein abgemessenes Quantum dieses Wassers in kubizierter Flasche mit Luft gebeutelt, so erhielt man durch

gesonderte Untersuchung von Wasser und Luft den gesuchten Absorptionskoeffizienten zu 0·33.

Die Unabhängigkeit dieser Größe von der Art des Gases, mit dem die Mischung geschieht, ist bei der chemischen Indifferenz aller Emanationen im voraus zu erwarten und erscheint durch die Beobachtung bestätigt. Wurde nämlich der Versuch, statt mit Luft, mit Leuchtgas, Kohlensäure oder Stickstoff wiederholt, so ergab sich beziehungsweise 0·30, 0·32, 0·32, Werte, die bei der geringen Genauigkeit, deren die Methode in dieser Form fähig ist, als identisch zu betrachten sind.

Es mag vielleicht noch interessieren, das Volumen kennen zu lernen, welches die in Gas und Wasser absorbierte Emanation bei normalem Drucke für sich allein einnehmen würde. Nach Ramsay und Soddy erzeugen 60 *mg* Radiumbromid in 5·3 Tagen 0·035 *mm*³ Emanation.¹ Andererseits erhält nach der Messung von Curie und Laborde die aus 1 *mg* Radiumbromid in 19·7 Minuten entwickelte Emanation einen Sättigungsstrom von 720 · 10⁻³ E. S. E. Da nun ein Liter Gas aus der Grabenbäckerquelle einen Sättigungsstrom von 564 · 10⁻³ E. S. E. liefert, so nimmt das in ihm enthaltene Emanationsgas bei 0° C. und Atmosphärendruck ein Volumen von 12 · 10⁻⁷ *mm*³ ein. Es ist somit etwa ein Billionstel des Volumens des Quellgases aktive Emanation.

III. Zerfallsgeschwindigkeit der Emanation.

Wurde aus Thermalwasser extrahierte Emanation in den Apparat gebracht, so stieg zunächst, wie bereits erwähnt, infolge der an den Wänden und am Elektroskop sich ausbildenden induzierten Aktivität der Sättigungsstrom regelmäßig an. War der Maximalwert nach 4 Stunden erreicht, so wurde dann ein Absinken dieses Wertes beobachtet, das in ausgezeichneter Weise durch die Formel $I_t = I_0 e^{-t/\lambda}$ darstellbar war. Hierin ist I_0 die Wirksamkeit der Emanation zur Zeit Null, I_t die nach t Tagen und $\lambda = 5·60$. Bezieht man die Zeit auf

¹ F. Soddy, Radio-Aktivität, p. 161, London (1904).

Sekunden, so ist $\lambda = 4 \cdot 83 \cdot 10^5$. Die Übereinstimmung der beobachteten und berechneten Werte erhellt aus der Fig. 1, wo die Logarithmen von I eingetragen sind und sich die beobachteten Punkte in ersichtlicher Weise an die der Formel ent-

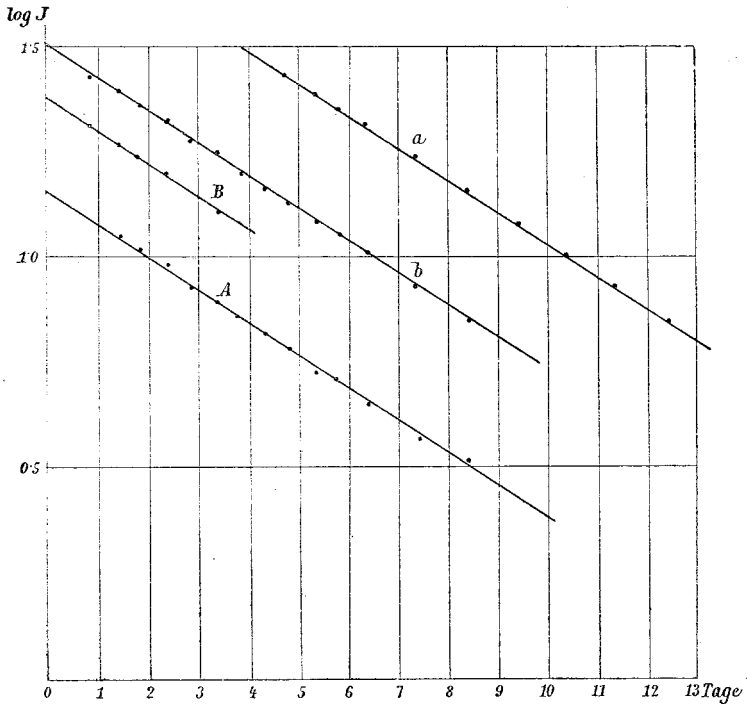


Fig. 1.

sprechenden Geraden a und b anschließen. Man erhält für die beiden dort dargestellten Versuchsreihen, von denen sich a auf Wasser aus dem Elisabeth-Stollen (Quelle Nr. 4), b auf Wasser aus der Grabenbäckerquelle bezieht, die folgende kleine Tabelle beobachteter und berechneter Werte:

Tabelle II.

a) Elisabeth-Stollen.			b) Grabenbäckerquelle.		
Zeit in Tagen	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ beobachtet	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ berechnet	Zeit in Tagen	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ beobachtet	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ berechnet
0	—	32·2	0	—	32·6
0·802	27·6	27·9	0·833	27·6	28·1
1·375	24·8	25·2	1·417	24·9	25·3
1·854	23·0	23·1	1·833	23·3	23·5
2·417	21·0	20·9	2·417	21·4	21·1
2·854	19·1	19·3	2·833	19·4	19·6
3·385	17·5	17·6	3·417	17·9	17·7
4·438	14·6	14·6	4·583	14·8	14·4
5·417	12·2	12·3	5·417	12·2	12·4
6·427	10·2	10·2	6·427	10·3	10·3
7·396	8·65	8·59	7·396	8·66	8·69
8·427	7·13	7·14	8·417	7·17	7·24

Berechnet man die Zeit, innerhalb welcher die Emanation zur halben Wirkung absinkt, so erhält man 3·88 Tage. P. Curie findet für Radiumemanation $\lambda = 4·97 \cdot 10^5$ und E. Rutherford $\lambda = 4·63 \cdot 10^5$. Der für Gasteiner Emanation erhaltene Wert $\lambda = 4·83 \cdot 10^5$ fällt somit zwischen diese beiden Zahlen.

Himstedt¹ und Adams² haben gezeigt, daß in Wasser absorbierte, in geschlossenem Gefäße aufbewahrte Emanation, die aus Freiburger beziehungsweise Cambridger Leitungswasser stammte, nach demselben Gesetze abklingt wie die in einem Gas enthaltene Emanation. Madame Curie hat nachgewiesen, daß das Gleiche für mit Radiumemanation versehene Flüssigkeiten gilt.³ Es schien mir der Mühe wert, auch das

¹ Phys. Z., p. 5 und 511 (1904).

² L. c.

³ Diss., p. 112, Paris 1903.

Gasteiner Thermalwasser daraufhin zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden aus vier zu gleicher Zeit vollgefüllten Flaschen an verschiedenen Tagen Proben von je $\frac{1}{4}$ l mittels einer Pipette entnommen und ihr Emanationsgehalt ermittelt. In der folgenden Tabelle sind die erhaltenen Werte mit den nach der Exponentialformel unter Zugrundelegung des für λ erhaltenen Wertes berechneten zusammengestellt.

Tabelle III.

Zeit nach der Füllung	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ beobachtet	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ berechnet
0	—	30
1 Tag	26·0	25·1
3 Tage	19·6	17·6
6 >	10·1	10·3
9 >	6·2	6·0

Die Übereinstimmung ist genügend, um aus ihr schließen zu können, daß im Gasteiner Thermalwasser nur sehr geringe Mengen der emanierenden Substanz selbst vorhanden sein können, da sonst das Abklingungsgesetz hier ein anderes sein müßte. Auch ist es evident, daß, wofern man die Wirkungen der Gasteiner Bäder auf den Emanationsgehalt der Thermen zurückführt, dieses Verhalten ein Versenden des Heilwassers auf größere Entfernungen illusorisch macht.

IV. Induzierte Radioaktivität.

Wartet man nach dem Einführen der emanationshältigen Luft in den Apparat, bis die Leitfähigkeit nach 4 Stunden zu ihrem Maximalwert angestiegen ist, so beteiligt sich die induzierte Aktivität mit 40 bis 50% an dem erzielten Wert. Nach Lüften und Wiederaussetzen des Apparates kann dann ihr Abklingen beobachtet werden. Derartige Abklingungskurven wurden in sehr großer Zahl ermittelt, und zwar für aus ver-

schiedenen Quellen stammende Emanation, für stark verschiedene Emanationskonzentration und für Expositionszeiten, die zwischen 30 Minuten und 53 Stunden schwankten. Der Gang dieser Kurven ist qualitativ und quantitativ vollkommen der gleiche, wie er durch P. Curie und Danne¹ und noch weiter im Detail durch Rutherford² an durch Radium induzierten Körpern gemessen wurde. Die ersten drei der dort auftretenden Phasen lassen sich auch hier genau beobachten. Im Anfang der Entaktivierung zeigt sich innerhalb der ersten zehn Minuten ein rascher Abfall (I. Stadium); von da in den nächsten 30 Minuten eine genäherte Konstanz, ja bisweilen ein Ansteigen zu einem Maximum (II. Stadium) und hierauf in dem durch $3\frac{1}{2}$ Stunden andauernden III. Stadium ein Abfall, der in ausgezeichneter Weise durch die von Curie und Danne aufgestellte Formel ohne irgend welche Änderung der Konstanten darstellbar ist. Für diesen dritten Teil der Kurve ist es gleichgültig, wie lang man die Expositionszeit wählt; hingegen ist die durch das zweite Stadium bedingte Störung der Kurve um so weniger ausgeprägt, je länger man exponiert, ohne jedoch auch nach zweitägiger Exposition vollständig zu verschwinden. Curie und Danne fanden für durch Radium induzierte Körper das Abfallgesetz

$$I = I_0 \left[4 \cdot 2 e^{-\frac{t}{2420}} - 3 \cdot 2 e^{-\frac{t}{1860}} \right],$$

worin t die Zahl der Sekunden bedeutet, von dem Moment an gerechnet, in welchem der aktivierte Körper dem Einfluß der Emanation entzogen wird. Die folgende Tabelle und die in Fig. 2 enthaltene Kurve a beziehen sich auf einen Versuch, bei dem die Emanation wieder aus dem Thermalwasser des Elisabethstollens (Quelle Nr. 4) entnommen worden war und durch $4\frac{1}{2}$ Stunden eingewirkt hatte. Die erste Kolumne der Tabelle gibt die Zeit vom Lüften des Apparates an gerechnet die zweite die beobachteten Werte in Volt/Minuten, die dritte

¹ C. R., 136, p. 364 (1903).

² E. Rutherford, Radio-Activity, p. 262 und 273, Cambridge (1904).

die aus der Formel von Curie und Danne für $I_0 = 87.7$ berechneten. Im Diagramm entspricht b der theoretischen Kurve.

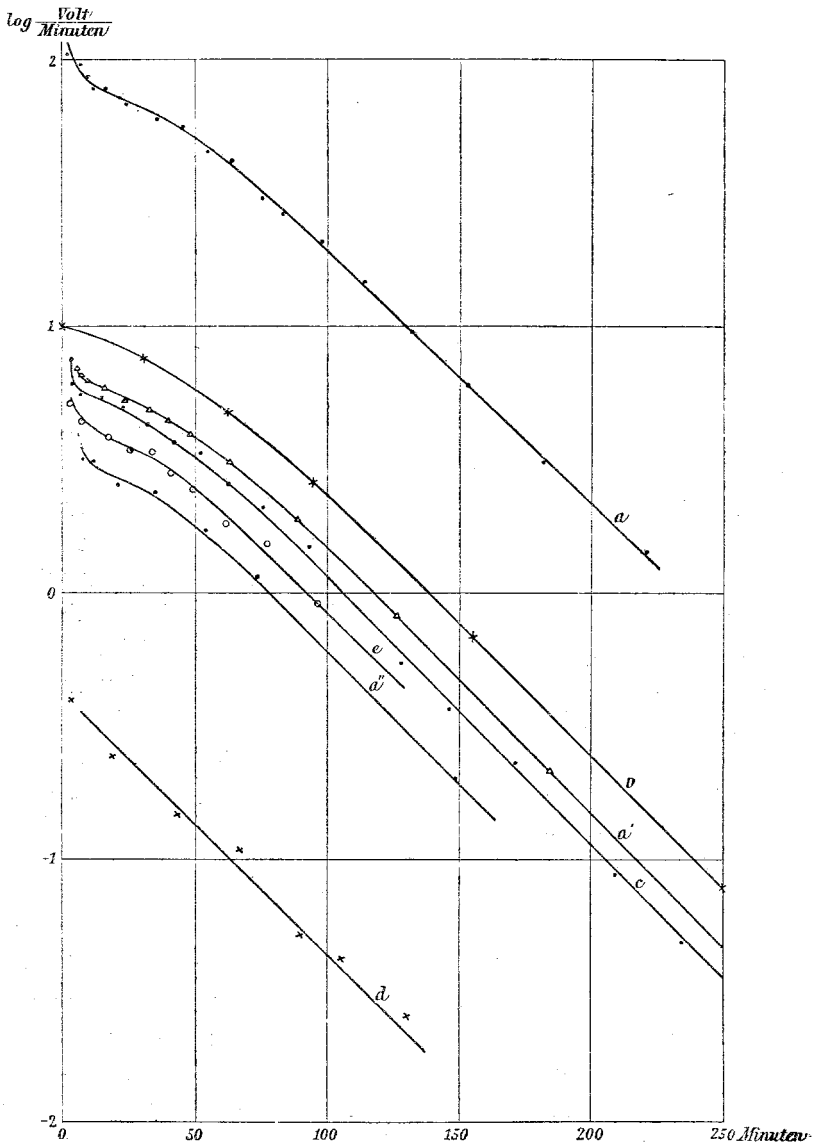


Fig. 2.

Tabelle IV.

Zeit in Minuten	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ beobachtet	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ berechnet	Δ
31	65·0	67·6	+2·6
62	42·3	41·2	-1·1
93	22·9	22·8	-0·1
124	11·5	11·9	+0·4
155	5·8	6·0	+0·2
186	2·89	2·97	+0·08
217	1·49	1·44	-0·05

An den beobachteten Werten ist hiebei der nach 4 Stunden erreichte, etwas über dem Normalen liegende, nahezu konstante Endwert in Abzug gebracht. Diese Erscheinung einer zurückbleibenden induzierten Aktivität mit langsamen Abfall ist durch Curie an gewissen Substanzen wie Zelluloid und Kautschuk beobachtet worden und war wohl auch hier durch die Anwesenheit vermutlich ähnlich wirkender Körper (kleine Stücke von Ebonit, Bernstein, Wachs-Kolophoniumkitt, Spuren von Vaselin fett) bedingt. Ein Parallelversuch mit der, einer schwachen, wässrigen Radiumchloridlösung entnommenen Emanation (Kurve *c*) gab in jeder Richtung völlig gleiche Resultate. Die Kurven *a'* und *a''* der Figur entsprechen Versuchsreihen, die mit Gasteiner Thermalwasseremanation (Quelle Nr. 4) nach 24-stündiger beziehungsweise 53-stündiger Exposition gewonnen worden waren.

Adams findet, daß bei der Cambrider Leitungswasser entnommenen Emanation die durch sie induzierte Aktivität in 35 Minuten auf die Hälfte sinkt und Burton gelangt für aus Rohpetroleum gewonnene Emanation zu dem gleichen Resultat. Diese Angaben dürften aber die Messungsergebnisse wohl nur annähernd darstellen, da sie den Gang der Entaktivierung in den ersten 40 Minuten mit einbeziehen.

Emanation, die dem Wasser der Wiener Hochquelleleitung entzogen worden war, gab, soweit der geringe Effekt eine genauere Beobachtung ermöglichte, eine induzierte Aktivität, die in ihrem Abklingen vollkommen dem am Gasteiner Thermalwasser beobachteten Verhalten entsprach. Auch hier war die Übereinanderlagerung dreier Phasen zu bemerken und entsprach der Abfall im dritten Stadium dem Gesetz von Curie und Danne (Kurve *d*).

V. Radioaktive Substanz im Wasser und in den Quellspalten der Thermen.

Wurde destilliertes Wasser nochmals gut ausgekocht und nach vierzehntägigem Stehen in hermetisch geschlossenen Flaschen durchgepumpt, so zeigte sich keine Änderung der Leitfähigkeit der Luft im Apparate. Hingegen bewirkte die Durchlüftung von 8 l Thermalwasser (aus verschiedenen Quellen stammend), das in gleicher Weise behandelt worden war, eine Steigerung des Spannungsverlustes von 0·50 Volt auf 0·58 Volt pro Minute. Es ist also, wenn auch in außerordentlich geringen Mengen, emanierende Substanz im Wasser gelöst.

Das Gestein, aus welchem die Quellen hervorbrechen — stark quarzhaltiger Gneis — zeigt Spuren von Radioaktivität, doch um nichts mehr als Gneis von anderen Punkten der Goldberggegend, beispielsweise Gneis aus dem Tauerntunnel im Anlaufstal. Hingegen hatten manche Materialien (Gneis, Quarz, Sand, Sinter, Mörtel, Ziegel- und Kohlenstücke), die durch vermutlich sehr lange Zeit im Thermalwasser gelegen waren, eine auffallende Aktivität. Prof. E. Ludwig hatte schon im Frühsommer dieses Jahres an verschiedenen, aus den Stollen stammenden Gesteinsproben radiographische Wirkungen festgestellt. Es galt nun dasjenige Quellsediment aufzufinden, dem die beobachteten Wirkungen zuzuschreiben sind. Das schwarzgrüne, als »Badeschlamm« bezeichnete Produkt, das sich unter dem Einfluß der Luft im Quellschlamm absetzt und das zunächst verdächtig schien, erwies sich als inaktiv.

Unter den außerordentlich zahlreichen, den Quellstollen entnommenen Proben zeigten nun radioaktive Eigenschaften

vor allem lose Quarz- und Gneisstückchen, die dem Rudolf-Stollen entnommen waren und die auf ihrer ganzen Oberfläche eine schwarze bis schwarzbraune Kruste aufwiesen. Diese Proben senden in reichem Maß Emanation aus, sind α - und β -strahlend (die β -Strahlung beteiligt sich mit ungefähr 10% an der Gesamtstrahlung), wirken stark auf photographische Platten und besitzen eine Aktivität, die von Stück zu Stück stark verschieden ist und auf gleiche Oberflächen bezogen, bis zu 3·9 Uranylнитrat beträgt, so daß sie bisweilen die von metallischem Uran übertrifft. Da die Dicke der Kruste sehr gering ist und die Aktivität des Materials sich auf die Kruste beschränkt, andererseits das zum Vergleich benützte Uranylнитrat in einer Schichtdicke von 8 mm zur Verwendung kam, so ist die gegebene Zahl gewiß noch zu klein.

Zerstampfen des Steines und Ausbreiten des Materials auf großer Oberfläche setzte die Aktivität scheinbar auf etwa die Hälfte herab, Abwaschen des Steins mit konzentrierter Salzsäure, in der sich der Bezug mit rubinroter Farbe vollständig löst,¹ vernichtete sie völlig.

Es war also die Aktivität des Materials an das Vorhandensein jener schwarzen Kruste gebunden und es lag nahe, im Vorkommen dieser Substanz auch den Grund für die Aktivität aller anderen, aus den Gasteiner Quellstollenstammenden Proben zu sehen. In der Tat zeigten Sand- und Gesteinsproben, die den Quellen des Elisabeth- und Franz-Josef-Stollens entnommen worden waren und eine Aktivität bis zu 0·12 Uranylнитrat aufwiesen, bei näherer Betrachtung an manchen Stellen den typischen, schwarzbraunen Bezug, dessen Identität mit der fraglichen Substanz durch Ablösen mit Salzsäure leicht erwiesen werden konnte.

War nun in diesem Material das fragliche radioaktive Sediment gefunden, so bot dessen mineralogische Bestimmung einige Zeit Schwierigkeiten, bis ich bei der Lektüre verschiedener, Gastein betreffender Schriften, in dem Buche K. Reißacher's »Der Kurort Wildbad Gastein«, Salzburg 1865

¹ Bei mehrtägigem Stehen geht durch Oxydation die Farbe der Lösung über braunrot und braungelb in ein helles Gelb über.

hiefür einen Anhaltspunkt fand. Reißacher, der einige Jahre früher den Aufschleißbau der Franz Josepchs-Quellen geleitet hatte, stieß hiebei in einer Gneisspalte auf eine Art schwarzbraunen Schlammes. Dieser Schlamm bildete nach dem Trocknen einen zerreiblichen, kastanienbraunen, sehr leichten Körper und wurde von W. Haidinger unter dem Namen »Reißacherit« der Naturforscherversammlung im Jahre 1856 vorgelegt.¹ An zwei Proben dieses Minerals, die ich der Güte des Herrn Prof. F. Becke und des Herrn Dr. E. Sueß verdanke, konnte nun die Identität der fraglichen Substanz mit Reißacherit erwiesen werden. Die spektralanalytische Untersuchung ergab als Hauptbestandteil Mangan (Manganoxyd), ferner geringere Mengen von Eisen (Eisenoxyd), Calcium (kohlen-saurer Kalk), Barium und Strontium. Uran ist nicht nachweisbar, Barium nicht als Sulfat vorhanden.

Auch die beiden mir zur Verfügung gestellten Proben des Minerals, die durch 48 Jahre in Sammlungen gelegen waren, zeigten radioaktive Eigenschaften. Pulver davon in einem Schälchen mit Uranylнитrat verglichen, besaß die Aktivität 0·05. Ich glaube nicht, daß dieser verhältnismäßig niedrige Wert dahin zu deuten ist, daß innerhalb des erwähnten Zeitraumes ein Absinken der Aktivität des Materials stattgefunden hat, vielmehr gelangte ich durch die Untersuchung der aus den verschiedenen Stollen stammenden, Reißacherit führenden Proben zur Überzeugung, daß der Gehalt dieses Minerals an radioaktiver Substanz überhaupt ein sehr verschiedener ist und nur im Rudolf- und Elisabeth-Stollen einen höheren Wert erreicht. Es wäre nicht aussichtslos, durch Verfolgung der Quellspalten dieser Thermen größere Mengen aktiven Reißacherits zu gewinnen, doch verlangt, wegen der den Thermen hiebei drohenden Gefahr, ein derartiges Unternehmen die größte Sachkenntnis und Vorsicht.

Wurden von verschiedenen Gneis- und Sinterstücken, die aus dem Rudolf-Stollen stammten, die Krusten mit Salzsäure gelöst und die Lösung auf einer flachen Platinschale eingedampft, so erhielt man ein schwarzbraunes, stark hygrosko-

¹ Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt, 7, p. 312 (1856).

pisches Präparat, das, auf gleiche Fläche bezogen, scheinbar aktiver war als die Ausgangssubstanz, da nun die Schichtdicke größer geworden war.

Wurde die salzsaure Lösung mit Schwefelsäure versetzt und der Niederschlag getrocknet, so fand sich der radioaktive Körper in diesem Niederschlag. Eine noch größere Konzentration der aktiven Substanz gelang nach dem folgenden Verfahren:

Es wird aus der Lösung durch Ammoniak und Schwefelammon das Mangan und das Eisen gefällt, hierauf filtriert, das Filtrat eingedampft und durch scharfes Trocknen von den Ammonsalzen befreit. Wird dann der Rückstand, um den Kalk zu lösen, mit absolutem Alkohol ausgekocht, so ist im unlöslichen Teile hauptsächlich nur Bariumsalz enthalten. Hier findet sich dann auch der radioaktive Körper.

Auf diese Weise gelang es, aus einigen Reißacheritkrusten, deren Aktivität ungefähr gleich der von Uranylнитrat war, ein Präparat von etwa $2\frac{1}{2}$ cg Gewicht¹ zu gewinnen, das auf 1 cm^2 Fläche ausgebreitet 4 Tage nach der Herstellung $11\frac{1}{2}$ mal, einen Monat später 19 mal so aktiv war, wie Uranylнитrat.

Es galt nun, noch den Nachweis zu liefern, daß die im Reißacherit enthaltene radioaktive Substanz mit derjenigen identisch ist, welche das Gasteiner Thermalwasser mit Emanation versieht. Zu diesem Zweck wurde verschiedenes, mit Reißacherit bedecktes Material durch 24 Stunden in einer gut verschlossenen Flasche belassen und hierauf die Luft aus der Flasche in den Apparat gepumpt (Versuch *A*). Bei einem zweiten Versuch (*B*) wurde das Material in destilliertes Wasser gelegt und die in ihm durch 48 Stunden angereicherte Emanation durch Durchlüftung des Wassers entnommen und in den Apparat überführt. Die Abklingungskonstante erwies sich in beiden Fällen gleich und hatte dieselbe Größe wie für im Thermalwasser enthaltene Emanation. Setzt man wieder $\lambda = 5.60$, so zeigt sich eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Werten, wie aus der folgenden Tabelle erhellt. Man vergleiche hiezu auch Fig. 1, *A* und *B*.

¹ Hiebei ist die Asche des Filters mitgewogen.

Tabelle V.

Reißacherit, Versuch A			Reißacherit, Versuch B		
Zeit in Tagen	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ beobachtet	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ berechnet	Zeit in Tagen	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ beobachtet	I in $\frac{\text{Volt}}{\text{Minuten}}$ berechnet
0	—	12·3	0	—	24·3
0·469	11·3	11·3	0·812	21·0	21·0
0·792	10·7	10·6	1·396	18·9	18·9
1·417	9·62	9·51	1·823	17·4	17·5
1·844	8·79	8·81	2·385	15·8	15·8
2·406	7·93	7·93	3·427	13·1	13·2
3·406	6·62	6·67			
4·406	5·54	5·57			
5·417	4·57	4·66			
6·458	3·77	3·86			
7·417	3·26	3·25			
8·406	2·77	2·73			

Schließlich zeigt auch die durch Reißacherit induzierte Aktivität in ihrem Abfall qualitativ und quantitativ genau das gleiche Verhalten, wie es oben für die Induktion durch Wasseremanation beschrieben wurde. Die hierfür erhaltene Kurve e (Fig. 2) fügt sich in ersichtlicher Weise in den Zug der anderen Kurven.

VI. Zusammenfassung der Resultate.

1. Im Gasteiner Thermalwasser und Quellgas ist in außerordentlich reichem Maße radioaktive Emanation vorhanden. Diese Emanation hat dieselbe Abklingungskonstante wie Radiumemanation. Die durch sie induzierte Aktivität folgt genau den Gesetzen welche an durch Radium induzierten Körpern beobachtet werden. Der Absorptionskoeffizient der fraglichen Emanation und der von Radiumemanation im Wasser ist der gleiche und sinkt mit steigender Temperatur,

Die Emanation klingt im Wasser nach dem gleichen Gesetz ab wie in Luft.

2. Der Gehalt an Emanation im Thermalwasser ist von Quelle zu Quelle verschieden. Der Grund für diese Verschiedenheit dürfte darin liegen, daß das von der gemeinsamen Urquelle aufsteigende Wasser nach sehr verschiedener Laufzeit die Erdoberfläche erreicht.

Eine verschieden starke Mischung mit Tagwasser kann nicht der maßgebende Grund sein, da gerade die kälteren Quellen vor den warmen begünstigt zu sein scheinen. Ein Zusammenhang des Reichtums an Emanation mit der Richtung der Quellspalten ist nicht ausgeschlossen und zwar wäre die Nord—Südrichtung bevorzugt.

3. Die an den Quellstollen von Gastein entnommenen Materialien (Gneis, Quarz, Sinter, Sand etc.) beobachtete Radioaktivität läßt sich auf das Vorhandensein eines einzigen Quellproduktes zurückführen, als das der Reißacherit, eine Art Braunstein, erkannt wurde. Die Aktivität dieses Gastein eigentümlichen Schlamminerals schwankt zwischen 0·05 und 3·9 Uranylнитrat, übertrifft somit zuweilen die des metallischen Urans und erhält sich durch lange Zeit. Die von ihm reichlich entwickelte Emanation besitzt die gleichen Eigenschaften, wie die im Thermalwasser enthaltene. Bei der chemischen Trennung des Minerals geht der radioaktive Körper mit dem Barium.

4. Nach allem ist anzunehmen, daß in den Tiefen, aus welchen die Gasteiner Thermen aufsteigen, große Mengen radioaktiven, emanierenden Gesteins lagern und zwar kann in Anbetracht der außerordentlichen Parallelität des Verhaltens kaum ein Zweifel sein, daß hier der radioaktive Körper Radium selbst ist. Dieses Radium löst sich in außerordentlich geringem Betrage im Thermalwasser, von dem es dann in den höheren Schichten mit dem als Reißacherit benannten Sediment abgesetzt wird. Das Merkwürdige an diesem Vorkommen von Radium besteht darin, daß es hier nicht mit Uran zugleich auftritt und daß es nicht an Bariumsulfat gebunden ist, sondern an eine leicht lösliche Verbindung dieses Elementes.
