

genoeg om het ruime, practisch ingerichte physisch auditorium gansch en al te vullen.

Na 'n kort woord van welkom door den Voorzitter gaf deze 't woord aan Pater Theod. Wulf S. J., tot 't houden zijner lezing:

„DIE RADIUMFORSCHUNG UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE BESTIMMUNG DES ALTERS DER ERDE, MIT EXPERIMENTEN“.

„Damit wir die Bedeutung der Radiumforschung für die Geologie besser verstehen, wird es zweckmässig sein, wenn wir zuerst ganz kurz uns mit den wichtigsten Ergebnissen der

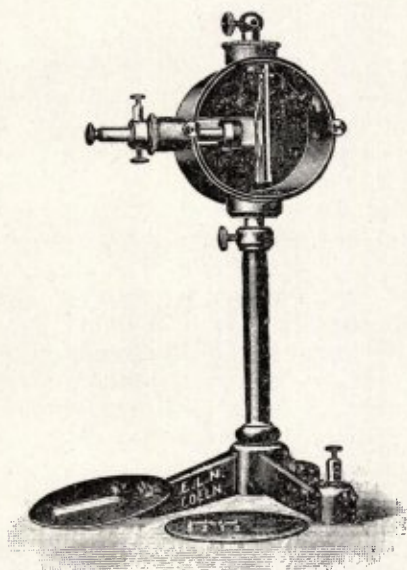


Fig. 1. Universeel-Electrometer volgens Prof. Th. Wulf.

Radiumforschung überhaupt bekannt machen; im zweiten Teil werden wir uns dann mit den Anwendungen auf die Geologie befassen.

Die Entdeckung des Radiums schlieszt sich unmittelbar an die Entdeckung der Röntgenstrahlen an, auch innerlich ist sie von der Entdeckung Röntgens abhängig. Becquerel wollte nämlich untersuchen, ob ähnliche Strahlen wie sie in den Röntgenröhren erzeugt werden, nicht auch etwa von den fluoreszierenden Stoffen unmittelbar ausgehen. Und er hatte mit dieser Vermutung, wie er wenigstens anfangs glauben konnte, auch Erfolg. Alle uranhaltigen Mineralien schwärzten die photographische Platte, ganz ähnlich wie die Röntgenstrahlen es taten. Als man aber einige Mineralien fand, die noch stärker wirksam waren als selbst reines Uran, schloz Madame Curie, dasz Uran nicht die eigentliche Quelle dieser Strahlen sein könne. Denn sonst müsste die Wirkung in reinem Uran am stärksten sein. Sie entschloz sich diesen neuen strahlenden Stoff in den Uranmineralien aufzusuchen, was sie dann auch gemeinsam mit ihren Gemahl durchführte.

Sie fand sogleich zwei solcher Stoffe, die sie Radium und Polonium nannte.

Die Erscheinung an der sie jederzeit die Anwesenheit dieser Stoffe erkennen konnte, war einmal die Schwärzung der photographischen Platte und anderseits die Entladung eines Electrometers.

Sie sehen hier ein kleines Instrumentchen, das ich im vorigen Jahre unter der Bezeichnung Universalelectrometer beschrieben habe, weil es zu allen derartigen Arbeiten besonders zweckmässig eingerichtet ist. Fig. 1. Mittels dieser kleinen Wolframbogenlampe, die aus der Fabrik von Philipps stammt, werfe ich das Bild des Hauptteils dort auf den Schirm. Sie sehen, das Bild ist so hell, dasz wir nicht einmal nötig haben das Zimmer zu verdunkeln. Der wesentliche Teil dieses Instrumentchens besteht aus einem schmalen leichten Bändchen aus Aluminiumfolie. Das Bändchen ist am oberen Ende an einem Streifen Aluminium befestigt, am unteren Ende jedoch unter Zwischenschaltung eines sehr feinen elastischen Quarzfädchens. Wird nun der Aluminiumstab mit dem Bändchen electrisch geladen, so stossen die beiden einander ab und das Bändchen nimmt die Form an, die sie in Fig. 2 sehen.

Den mittleren senkrechten Teil des Bändchens, der immer am weitesten von dem Stab entfernt ist, bilden wir auf dem Schirm ab, das ist der schwach gekrümmte schwarze Schatten, die Sie dort an der Wand sehen. Wegen der elastischen Befestigung des unteren Endes erfolgt die Einstellung ausserordentlich schnell und genau. Da die geladenen Teile gut isoliert sind, so behält das Instrument seine Ladung, soweit wir das so schnell sehen können, unvermindert bei. Bringe ich aber ein auch nur schwaches Uranpräparat in die Nähe des Instruments, so sehen Sie, dasz in demselben Augenblick der Faden des Electrometers zu wandern anfängt, das Instrument entladet sich, und wenn ich es wieder auflade, entladet es sich immer von neuem.

Das ist die Grunderscheinung, an der auch die Curies immer die grözere oder geringere Wirksamkeit ihrer Präparate prüften.

Die weitere Untersuchung brachte aber eine solche Fülle ganz rätselhafter Erscheinungen zu Tage, dasz sie anfangs geradezu verwirrend wirken mussten, bis es vor allem dem Scharfblick des englischen Physikers Rutherford gelang, die grosze Summe der Erscheinungen ordnend zusammenzufassen.

Es gibt drei Arten von Strahlen, die von den radioactiven Körpern ausgesandt werden, die Alpha-, Beta- und Gammastrahlen. Die Alphastrahlen erweisen sich als materielle Teilchen, alle von gleicher Grösze, die viermal so grosz ist, als ein Wasserstoffatom, und sie sind immer positiv geladen. Sie werden mit der ungeheuren Geschwindigkeit von $1/10$ bis $1/20$ des Lichtes ausgestoszen, bei freier Bahn würden sie also in einer Secunde vom Nordpol bis über den Aequator hinausfliegen. In Luft

aber stossen sie mit den Luftmolekeln zusammen und werden dadurch schnell gebremst, die schnellsten erreichen eine Entfernung von ca 8 cm, die langsamsten nur etwa 2 cm, in andern Stoffen ist die Reichweite noch entsprechend kleiner; in festen Körpern beträgt sie nur Bruchteile von einem Millimeter. Die Betastrahlen sind negativ electrisch geladene Körperchen wie die Electroneen, sie haben nur ein Gewicht wie 1/2000 des Wasserstoffatoms. Die Gammastrahlen sind Wellen wie die Lichtwellen, nur von etwa 1000-mal kleinerer Wellenlänge. Für unseren Zweck sind besonders die Alphastrahlen von Bedeutung.

Man kannte schon früher einen Stoff vom Atomgewicht 4, das war das Helium. Es ist ein

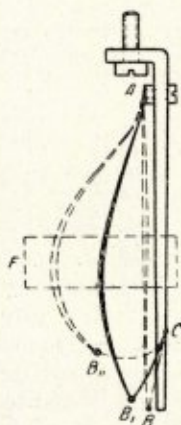


Fig. 2. Aluminiumbandje uit Wulfs Electrometer, in verschillende posities.

Edelgas, das heisst es verbindet sich mit keinem andern Stoff. Und Rutherford hat den durchschlagenden Beweis geliefert, dass die Alphastrahlen, nachdem sie ihre grosse Geschwindigkeit und ihre electrische Ladung verloren haben, richtige Heliumatome sind. Wir sehen also in den radioactiven Stoffen, dass ein bekanntes Element sich unter unsern Augen beständig neu bildet. Da dieses Alphateilchen immer mit einer grossen Geschwindigkeit aus dem Radiummineral hervorkommt, so müssen wir die Entstehung desselben als eine Art von Explosion auffassen. Wo kommt nun das Alphateilchen her?

Man hat diese Frage nach der Entstehung des Heliums eingehender studieren und erforschen können, als wir sonst über die gewöhnlichen chemischen Vorgänge bekannt sind.

Man fand zunächst, dass die Strahlung einer gewissen Menge Radium ganz unabhängig davon ist, mit welchen Stoffen das Radium im übrigen verbunden ist. Ob es mit Chlor oder Brom ein Chlorid oder Bromid oder ob es nach Auflösung in Schwefelsäure ein Sulfat bildet, das alles ist für den Vorgang der Ausstrahlung von Alpha- und Betastrahlen gar nicht von Bedeutung. Daraus musste man schliessen, dass die übrigen Atome, mit denen das Radium zu einer Molekel vereinigt ist, an dem Vor-

gang gar nicht beteiligt sind. Das Alphateilchen wird vielmehr von dem Radiumatom ganz allein ausgestossen. Wir haben es hier also nicht mit einem chemischen Vorgang im gewöhnlichen Sinne zu tun, wo die Atome verschiedener Stoffe mit einander in Wechselwirkung treten. Diese Auffassung wird auch noch durch eine andere Eigentümlichkeit der radioactiven Strahlung bestätigt, die vollkommene Unabhängigkeit von der Temperatur. Während alle chemischen Prozesse in hohem Grade von der Temperatur abhängen, und darum durch Aenderung derselben stark beschleunigt oder verzögert oder sogar zum Ablauf in umgekehrter Richtung gezwungen werden können, sind die radioactiven Strahlungen von der Temperatur vollkommen unabhängig. Man hat die radioactiven Stoffe in den electrischen Lichtbogen der Kohlenlampe gebracht und hat sie hinwiederum abgekühlt bis zur Temperatur der flüssigen Luft, die Strahlung erwies sich immerfort unverändert, auch nicht ein wenig beschleunigt oder verzögert.

Wenn aber dann die Strahlung allein von dem Einzelatom ausgeht, so muss das Atom durch die Aussendung der Strahlen eine innere Umwandlung erfahren. Radium hat das Atomgewicht 226; wenn es ein Alphateilchen vom Atomgewicht 4 aussendet, so kann es nur mehr das Gewicht $226 - 4 = 222$ haben. Das ist aber kein Radium mehr. Die Aussendung der Alphateilchen ist also mit einer inneren Umwandlung des Radiums verbunden, nicht nur das Helium ist es, das unter unsern Augen entsteht, nein auch das Radium muss in demselben Masse verschwinden, die Aussendung des Alphateilchen ist mit einem Zerfall des Radiums unlöslich verbunden. Man fand in der That, dass durch die starken Radiumpräparate nicht nur Helium, sondern noch ein anderes Gas erzeugt wurde, das man Radium-Emanation genannt hat. Und als Ransay sein Atomgewicht bestimmte, fand er es gleich 222. Die Emanation ist aber ebenfalls radioactiv, sie sendet ebenfalls Alphateilchen aus. In nicht ganz 4 Tagen zerfällt sie zur Hälfte. Was nun übrig bleibt, ist ein fester Stoff, Radium A genannt mit dem Atomgewicht $222 - 4 = 218$. Und so geht es noch mehrmals. Es folgen Stoffe mit dem Atomgewicht 214, 210, der letzte ist noch einmal activ, aber denn zeigt sich keine Aussendung von Strahlen mehr. Es muss also der Stoff von dem Atomgewicht 206 beständig sein, und da dieser Stoff beständig aus dem Radium entsteht aber nicht wieder vergeht, so muss er sich in den Radiumproducten allmählich ansammeln. Welcher Stoff ist das? Das Atomgewicht 206 weist auf das Blei hin. In der That konnte man in allen Mineralien, die Uran enthalten, auch Blei finden. Zwar hat das gewöhnliche Blei das Atomgewicht 207,2 aber als man das Blei aus Uranmineralien mit grosser Sorgfalt untersuchte, fand man sein Atomgewicht wirklich zu 206, wie man es nach der ganzen Theorie erwarten musste.

Neben dem Uran gibt es noch einen andern radioactiven Stoff, das Thorium. Es sendet auch Alphateilchen vom Atomgewicht 4 aus, da aber sein Anfangsgewicht 232 beträgt, so kommt man hier nach Aussendung von 6 Alphateilchen mit dem Gewicht $4 \cdot 6 = 24$ auf das Gewicht $232 - 24 = 208$. Dann zeigt sich auch hier keine Ausstrahlung mehr. Man findet auch in allen Thoriumpräparaten Blei, aber die genaue Untersuchung hat auch hier gezeigt, dass das Thoriumblei das Gewicht 208 hat. Während das gewöhnliche Blei mit dem Atomgewicht 207 mitten zwischen beiden liegt und wohl als eine Mischung der leichteren und der schwereren Sorte anzusehen ist.

Kaum jemals im Verlauf der Forschung sind die theoretischen Vermutungen und ihre experi-

derstand entladen und dadurch auf den nächsten Ausschlag vorbereiten. Jedes Zucken des Electroskopes entspricht einem zerfallenden Radiumatom. Und wenn man die Bewegung des Bändchens, ähnlich wie die Zeichen der Telegraphie auf ein bewegtes lichtempfindliches Papierband aufzeichnet, so kann man sie nachher mit aller nur wünschenswerten Genauigkeit abzählen und dadurch feststellen, wie viel Atome des gebrauchten Präparats in einer bestimmten Zeit zerfallen. Ich habe selbst in den letzten Jahren solche Aufnahmen gemacht mit eben dem Electroskop, das wir hier vor uns haben. Eine Probe dieser Aufnahmen zeigt Ihnen die Fig. 3.

Noch mehr! es ist sogar gelungen, die Wege der ausgeschleuderten Alphateilchen ihrer gan-



Fig. 3. Photographische registrering van Alphadeeltjes, in onregelmatige intervallen uitgezonden door een radiumpreparaat, naar Th. Wulf.

mentellen Bestätigungen so schnell, Schlag auf Schlag einander gefolgt, wie bei der Erforschung der Eigentümlichkeiten des Radiums. Der Grund für die Möglichkeit, dass die Versuche so tief in das innere Getriebe der Körper eindringen konnten, lag einmal in der grossen Stärke der electrischen Kräfte und in der Empfindlichkeit der Electrometer und andererseits in der relativ grossen Energie, welche die ausgeschleuderten Radiumstrahlen mit sich führen. So kam es, dass man schon bald die bisherige Forschung weit hinter sich lassend, die einzelnen ausgeschleuderten Alphateilchen und damit die einzelnen gebildeten Heliumatome und auch die entstehenden Atome der Radiumemanation nachweisen und zählen konnte. Ich kann Ihnen diese Erscheinung mit dem soeben beschriebenen Universalelectroskop sogar hier während des Vortrags vorführen. In diesem kleinen Zylinder sitzt durch einen Ebonitpfropf getragen eine Grammophonspitze. Wenn diese Spitze mit Hilfe dieser kleinen Influenzmaschine electrisch geladen wird auf etwa 3000 Volt, so sprüht jedesmal, wenn ein Alphateilchen in den Zylinder eindringt, eine starke electrische Ladung aus der Spitze auf die Wand des umgebenden Zylinders. Mit diesem Zylinder steht aber das Electroskop in Verbindung und zeigt jedesmal den Eintritt eines Alphateilchens durch einen plötzlichen Ausschlag an. Man kann dort auf dem Schirm die Ausschläge deutlich sehen. Ich habe hier auf einem Nadelknopf eine Spur uranhaltiger Pechblende mittels eines Klebstoffs angebracht und man sieht deutlich, dass in demselben Augenblick, wo ich den Nadelknopf der Oeffnung des Zylinders nähere, die Zuckungen des Electrometers einsetzen und sofort aufhören, wenn ich die Hand von da entferne. Zwischen zwei Ausschlägen kann sich das Electrometer über einen sehr hohen Wi-

zen Ausdehnung nach sichtbar zu machen. Sie werden diese Wege ebenfalls sogleich sehen, in dem Apparat der Ihnen in Fig. 4 dargestellt ist. Diese Versuche wurden zuerst in England von Wilson gemacht. Sie beruhen auf folgender Tatsache. Wenn man feuchte Luft abkühlt, schlägt sich ein Teil des Wasserdampfes in feinen Tropfen nieder. Diese Tröpfchen können sich aber nur bilden, wenn sie sich entweder an ein Staubkörnchen oder aber an ein electrisch geladenes Luftteilchen ansetzen können. Solche electrisch geladene Teilchen hat man in der Luft in grosser Zahl, wenn dieselbe von einem Alphateilchen durchschnitten wird. Die Entladung des Electroskops beruht ja eben darauf, dass die Alphateilchen bei ihrem Weg durch die Luft, einzelne Gasmolekeln in positiv und negativ geladene Teilchen zerschlagen. Indem diese Teilchen von dem geladenen Electroskop angezogen werden, wird das Electroskop entladen. Wenn man nun das Gas in einer solchen Ionisationskammer plötzlich dadurch abkühlt, dass man das Gas sich ausdehnen lässt, so müssen sich Wassertröpfchen bilden an allen Stellen, an denen sich Ionen befinden, das ist aber nur der Fall auf den Wegen die gerade in diesem Augenblick ausgesandte Alphateilchen genommen haben. Wir pumpen zuerst mit einer Wasserstrahlpumpe das Glasgefäss zum Teil luftleer und lassen dann, indem wir den weiten Hahn öffnen, die Luft der Ionisationskammer sich in diese Flasche ausdehnen. Indem wir die Kammer mit einer starken Lampe von oben beleuchten, können wir in diesem Augenblick die Wege der Alphateilchen sehen, die sich aber schnell in dem ganzen Raum verteilen.

II.

Lassen Sie uns jetzt zur Anwendung des Gehörten auf die Fragen der Geologie übergehen.

Es sind mehrere von den Erscheinungen der Radioaktivität, die uns einen Schluszu erlauben auf die Vergangenheit unserer Erde. Wir wollen uns heute auf die zwei bedeutungsvollsten beschränken, das ist die Erzeugung von Heliumgas bei allen Ausstrahlungen von Alphateilchen und das Ende aller Zerfallsvorgängen mit der Erzeugung von Blei.

1) Die Erzeugung von Helium. Nach dem Besprochenen kann man die Zahl der Alphateilchen und folglich auch die erzeugten Heliumatome mit dem Electrometer bestimmen. Man hat gefunden, dass 1 Gramm Uran in jeder Sekunde 90.000 Heliumatome bildet. Das macht im Jahr 2,8 Billionen Atome. Man kennt nun allgemein die Zahl der Gasteilchen, die ein Kubikcentimeter erfüllen, die Lochschmidtsche Zahl, und daraus erfahren wir, dass diese 2,8 Billionen Atome allerdings nur 1/10 Milliontel Kubikcentimeter ausmachen. Folglich würde 1 Gr. Uran in Millionen Jahren 0,1 Kubikcentimeter Heliumgas erzeugen und in 10 Millionen Jahren 1 Kubikcentimeter. Das sind alles noch die Ergebnisse der exacten Forschung und wir müssen uns erinnern dass diese Zahlen von äusseren Umständen, von Druck und Temperatur vollständig unabhängig sind, dass sie auch ganz unabhängig sind von den andern Stoffen, mit denen das Uran etwa chemisch verbunden oder nur örtlich vermischt gewesen sein mag. Mit andern Worten, diese Bildung hat sich auch in der Vergangenheit zahlenmässig so abgespielt, wenn auch die Verhältnisse von Druck und Temperatur in früheren Jahrmillionen unserer Erde ganz andere gewesen sind, als wir sie heute antreffen, so ist exact bewiesen, dass diese veränderten äusseren Umstände auf die Heliumbildung ganz ohne Einfluss geblieben sind.

Nun kommt die geologische Forschung und sie zeigt uns in allen uranhaltigen Gesteinen eine gewisse Menge von Heliumgas. Man hat das Gas gemessen, indem man die Gesteine mit chemischen Mitteln zur Auflösung gebracht oder auch, indem man sie stark erhitzt hat. Ausserdem konnte man die Menge des Urans, das sich jetzt noch in den Gesteinen befindet, bestimmen. Und da ergab sich bei einigen Gesteinen, dass sie auf 1 Gramm Uran 20, 30, 50 Kubikcentimeter Heliumgas erhielten. Zur Erzeugung dieses Gases, wenn es von dem radioactiven Zerfall herkommt, sind daher sicher 200, 300, 500 Millionen Jahre erforderlich gewesen.

Ob diese Zahlen aber das Alter der betreffenden Schichten angeben, in der das Helium gefunden wurde, das hängt davon ab, ob dieses Gas wirklich von dem Zerfall des Urans herkommt. Kann das Helium nicht wenigstens zum Teil anderswoher stammen, dann hätten wir aus der gefundenen Menge ein zu hohes Alter errechnet. Kann nicht ein Teil des erzeugten Heliums aus dem Gestein verschwunden sein? Dann hätten wir ein zu geringes Alter berech-

net. Die erste Frage, ob das Helium nicht anderswoher stammen könne, muss man entscheiden verneinen. Aus allen Erscheinungen der Geologie schliessen wir, dass unsere Erde sich einmal im feuerflüssigen Zustande befunden hat, und die Zeit, die seit der Bildung einer festen Erdkruste verstrichen ist, nennen wir das geologische Alter der Schicht. Die Frage ist daher, ob bei dem Erkalten der Erdoberfläche sich in der feuerflüssigen Masse Helium befand. Damals beim Erstarren musste die Erdoberfläche eine Temperatur haben, die in der Höhe von 1000° gelegen war. Bei dieser Temperatur konnte sich ein Gas in der heissen Masse nicht befinden. Man erinnere sich nur, wie vollständig auch die letzten Reste von Luft aus dem



Fig. 4. Toestel voor het zichtbaar maken der banen van Alphadeeltjes volgens Wilson-Wulf.

Wasser vertrieben werden, wenn man es auch nur auf 100° erhitzt. Es folgt also aus dem ganzen Verhältnis der Gase, dass beim Erstarren des Gesteins kein Heliumgas mit eingeschlossen werden konnte. Dasselbe bestätigt uns aber auch die Erfahrung. Wenn nämlich beim Erstarren Heliumgas in der Masse vorhanden war, das irgendwoher aus dem Welt-raum stammte, so müsste sich solches Gas in allen möglichen Gesteinen vorfinden. Nun zeigt uns aber die Forschung nur in den uranhaltigen und den andern radioactiven Gesteinen, die Alphateilchen aussenden, Helium miteingeschlossen. Also in allen radioactiven Gesteinen und nur in den radioactiven Gesteinen finden wir Helium. Daraus müssen wir schliessen, dass das gefundene Gas aus den abgeschleuderten Alphateilchen im Laufe der Jahr-Millionen aufgespeichert worden ist. Und daraus folgt, dass die Gesteine mindestens so lange im festen Zustand sich befinden, als man aus der Menge des eingeschlossenen Heliums berechnet hat.

Die andere Frage ist, ob nicht ein Teil des erzeugten Heliums vielleicht wieder aus dem Gestein verschwunden ist; diese Frage können

wir nicht so einfach verneinen. Wenn auch die Gesteinsmasse noch so dicht war, im Laufe von Millionen von Jahren kann eine beträchtliche Menge langsam aus demselben entwichen sein. Wir können das nicht sagen, müssen es aber durchaus als wahrscheinlich bezeichnen. Dann müssten wir eigentlich noch mehr Helium finden und das eigentliche Alter der Schicht ist noch höher. Wir werden uns also gegenwärtig halten, dass die Zahlen, die wir aus der aufgefundenen Menge des Heliums berechnen, Mindestwerte für das Alter der Schichten darstellen, das die richtigen Zahlen wahrscheinlich noch grösser sind. Um Ihnen nun einige Beispiele zu nennen: aus der Menge des eingeschlossenen Heliums ergab sich für das Devon ein Alter über 120 Millionen Jahre, für das untere Kambrium, die älteste Schicht der Erdkruste 570 Millionen Jahre.

2) Die Bestimmung des geologischen Alters einer Schicht aus ihrem Bleigehalt. Die Altersbestimmungen aus der Menge des Heliums finden in den Bestimmungen aus den Bleigehalt eine sehr glückliche Bestätigung und Ergänzung. Grundsätzlich ist der Weg nicht sehr verschieden von dem eben beschriebenen. Das Uran zerfällt nach einem bestimmten bekannten Gesetz und nach mehreren Zwischenstufen, nach Aussendung von 8 Heliumatomen bleibt ein Stoff vom Atomgewicht $238 - 4 \cdot 8 = 206$ übrig, der Stoff hat sich als Blei erwiesen. Neben 8 Heliumatomen muss sich also immer 1 Bleiatom in einer zerfallenden radioactiven Masse vorfinden. Rechnen wir das jetzt, weil Blei ein fester Körper ist, um in Gramm statt in Kubikcentimeter so ergibt sich dass 1000 kgr. Uran in einem Jahre nur etwas mehr als $1/10000$ Gramm Blei bildet. Das macht, in 1 Million Jahren kommen neben 1000 kgr Uran 100 Gramm Blei vor. Und aus dem Verhältnis des in einer Schicht vorhandenen Urans zu dem vorhandenen Blei kann man wieder auf die Zeit schliessen, die der Zerfallsvorgang schon im Gange ist, wenn er die vorgefundene Bleimenge wirklich erzeugt haben soll. Wir müssen also wieder fragen nach Umständen, die das Ergebnis vergrößert oder verkleinert haben könnten. Hier liegen die Verhältnisse nun wegen des festen Zustandes vom Blei wesentlich anders als es beim Helium der Fall war. Einerseits konnte das gebildete Blei nicht aus dem Gestein verschwinden. Nachdem es einmal eingeschlossen war, musste es in dem Stein bleiben. An der Oberfläche einer Schicht konnte es allerdings von Wasser mitfortgerissen werden, oder sich in andern Stoffen lösen. Aber im Innern der grossen Schichten ist das unmöglich. Man wird daher für diese Versuche nur solche Gesteine wählen, die aus dem Innern grosser Schichten stammen und an deren ungestörter Lage man die Sicherheit hat, dass sie keine schweren Umwälzungen erlebt haben. Unter Anwendung dieser Vorsichtsmassregeln ist man sicher, dass man alles gebildete Blei

in dem Mineral noch vorfindet. Es ist daher nach diesem Verfahren unmöglich, dass man das Alter einer Schicht zu gering anschlägt. Aber umgekehrt kann es wohl sein, dass vielleicht ein Teil des gefundenen Bleis sich beim Erstarren bereits in der Masse vorfand; dann würde man das Alter der Schicht zu hoch angeben, vielleicht viel zu hoch angeben. Welche Mittel hat man, um sich darüber ein Urteil zu bilden?

Die Natur hat uns in dieser Frage mehrere Mittel gezeigt, zu einem sicheren Urteil zu gelangen. Wir haben schon erwähnt, dass das gewöhnliche Blei, wie es sich allenthalben an der Erdoberfläche findet, das Atomgewicht 207,2 hat, während das aus dem Uran gebildete Blei das Atomgewicht 206 besitzt. Man ist daher in der Lage, durch Bestimmung des Atomgewichts zu erfahren, ob man es mit Blei zu tun hat, das aus dem Uran gebildet wurde oder nicht. Diese Versuche sind mit grosser Sorgfalt angestellt worden und haben in der Tat in einigen Fällen das Ergebnis gehabt, dass man einen Teil des gefundenen Bleis als nicht-Uranblei in Abzug bringen musste.

Nachdem man das aber getan hatte, zeigte sich folgendes überraschende Ergebnis. Voraus bemerkt sei nochmals: die Umbildung geschieht immer in der Weise, dass in einer bestimmten Zeit ein bestimmter Bruchteil der vorhandenen radioactiven Substanz zerfällt. So braucht das Uran rund 80 Millionen Jahre, damit 1 % des vorhandenen zerfalle. Nach dieser Zeit wird man also finden, wenn wir die Anfangs vorhandene Menge gleich 100 setzen, dass noch 99 Uran vorhanden sind neben 1 Teil Blei. Nach wieder 80 Millionen Jahren wird nur noch 98 Uran vorhanden sein, neben 2 Teilen Blei, nach wieder derselben Zeit 97 Uran neben 3 Blei und so weiter. Wenn man also in einer Schicht das Verhältnis des Blei zum Uran wie 3:97 findet, so hat es nahezu 240 Millionen Jahre gedauert, dass diese Menge Uran zerfallen konnte. Dabei ist es gleichgültig, wie stark uranhaltig das Mineral ursprünglich war, das Verhältnis Blei zu Uran ist davon unabhängig.

Nun kennt man aus der Geologie eine grosse Reihe Mineralien, von denen man zwar nicht genau weisz, wie alt sie sind, man weisz aber doch aus den ganzen mineralogischen und geologischen Verhältnissen, dass sie gleich alt sind. Und auch die verschiedenen Schichten kann man mit Sicherheit nach ihrem Alter ordnen, man weisz, dass Carbon jünger ist als das Präcambrium, u.s.w. Die Untersuchung des Blei- und des Urangelhaltes ergab in allen Fällen, dass in geologisch gleichalterigen Schichten das Verhältnis Blei:Uran dasselbe war, dass es in älteren Schichten grösser war als in jüngeren. Daraus konnte man dann auf das Alter der betreffenden Schicht schliessen.

Einige Beispiele der gefundenen Werte enthält die folgende kleine Tabelle:

| Schichten | Blei | Alter in Millionen Jahren | |
|---------------------|-------|---------------------------|---------------|
| | Uran | aus dem Blei | aus d. Helium |
| Karbon | 0.041 | 335 | 130 |
| Mittel Preacambrium | 0.13 | 1000 | 350 |
| Unter Preacambrium | 0.21 | 1600 | 560 |

Wenn wir zum Schlus noch einmal einen Blick auf die Forschungsmethode der Radioaktivität werten und sie mit der bisherigen Arbeitsweise der Geologie vergleichen, so werden wir einen ganz wesentlichen Fortschritt bemerken. Bisher war man in der Geologie doch ganz vorzugsweise auf Schätzungen und Vermutungen angewiesen. Man bestimmte die Dicke etwa einer Ablagerung auf dem Meeresboden und schätzte darnach, wie viel Zeit wohl erforderlich war, diese Schicht zu bilden. Einen Maszstab für die Schätzung nahm man aus den Ablagerungen, die gelegentlich auch jetzt noch unter unsern Augen vor sich gehen. Wenn man von diesen Beobachtungen aber schlieszen musz auf Ablagerungen die vor vielen Millionen Jahren geschehen sind, wo die Temperatur wahrscheinlich eine ganz andere war, wo wir die Menge des im Meer enthaltenen und in den Flüssen herangebrachten Materials nur sehr ungenau kennen, oder gar nicht, so konnte das Urteil doch nur ein sehr unsicheres sein, das von dem subjectivem Meinen des Geologen, sogar von seiner seelichen Einstellung, ob er eine grosze oder nur eine kleinere Zahl von Jahren finden wollte, in hohem Masze abhängig war. Die Methode der Radioaktivität ist vollkommen objectiv, für Meinungen ist in dem ganzen Verfahren kein Platz und jeder Forscher musz unter allen Umständen damit rechnen, dasz seine Zahlen sogleich nachgeprüft und vielleicht bestätigt oder verworfen werden können, wenn er sich nicht der sorgfältigsten Arbeit befleiszig. Dazu kommt noch der wichtige Umstand, dasz der Zerfall von allen äusseren Umständen unabhängig ist. Wenn wir daher auch über die Verhältnisse, die vor Millionen von Jahren auf der Erde herrschten sonst nichts wissen, darüber sind wir doch vollkommen sicher, dasz der Zerfall der radioactiven Stoffe sich mit derselben Geschwindigkeit vollzog wie heute.

Mit der Erforschung des Radiums hat für die Geologie ein ganz neuer Abschnitt begonnen".

* * *

't Behoeft geen betoog, dat de Voorzitter naar 't hart der aanwezigen sprak, toen hij, na afloop der lezing, aan Pater Wulf hartelijken dank zegde en voor 't feit dat Pater Wulf had willen spreken voor 't Naturh. Genoot-

schap in Limburg en voor de glasheldere wijze waarop hij zijn „wetenschappelijk zwaar onderwerp" zoo „glashelder" had weten voor te dragen.

En de Voorzitter liet 't niet alleen bij 'n woord van dank.

Hij sprak ook voor Pater Wulf 'n wensch uit.

Den wensch n.m.l. dat 't „Lehrbuch der Physik von Theodor Wulf S. J., mit 143 Figuren", 'twelk ter perse ligt op de drukkerij van Herder & Co. te Freiburg in Breisgau, en binnen eettelijke dagen gaat verschijnen, ook in Holland 'n zeer ruime verspreiding moge hebben!...

Ten slotte dankt de Voorzitter Pater H. Schmitz, die zich zóó vele moeite had gegeven om den bezoekers dezer vergadering 'n leerzamen, aangenamen indruk mee naar huis te laten nemen van de inrichting der P.P. Jezuïeten te Valkenburg.

ALGEMEENE LEVENSONOMSTANDIGHEDEN VAN PLANTEN.

I. Warmte als levensfactor.

Door G. H. Waage.

Uitwendige factoren spelen een groote rol in 't leven der planten. Vochtigheid en droogte, warmte en koude, licht en schaduw, dit zijn alle factoren, die ingrijpen in 't plantenleven. Welke rol speelt de temperatuur?

Temperatuursgrenzen. Elke plant heeft haar eigen temperatuur, waarbij zij 't best groeit. Deze temperatuur noemt men 't optimum. Verlaagt men de temperatuur, dan verloop alle levensfuncties minder goed tot men een temperatuur bereikt, waarbij de plant nog net kan leven. Verdere verlaging heeft den dood tengevolge. De lage temperatuur waarbij de plant nog juist kan leven, noemt men 't minimum. Verhoogt men vanaf 't optimum de temperatuur, dan neemt men 't zelfde waar. Men bereikt dan tenslotte een bepaald punt, waarbij de plant 't nog houdt, terwijl ze bij nog verdere verhooging sterft. De hoogste temperatuur, waarbij 't organisme nog net kan leven, noemt men 't maximum. Deze drie punten, dus minimum, optimum en maximum, noemt men de kardinaalpunten. Iedereen weet uit eigen ervaring dat deze kardinaalpunten voor iedere plantensoort verschillend zijn. Ook voor één bepaalde plant behoeft een temperatuur, liggend buiten de extreme punten, niet doodlijk te zijn. Dit hangt geheel af van den duur, gedurende welke deze temperatuur inwerkt. De meeste planten uit onze omgeving leven tusschen 0° C. en 45° C. Tusschen 45° C. en 50° C. treedt de dood snel in.

Daar de temperatuur van invloed is op ademhaling en koolzuurassimilatie, op den groei en de verdamping, op de beweging, op den bloei, kortom op alle levensfuncties, is 't te begrijpen, dat deze een belangrijke factor is bij de verspreiding der soorten op onze aarde.