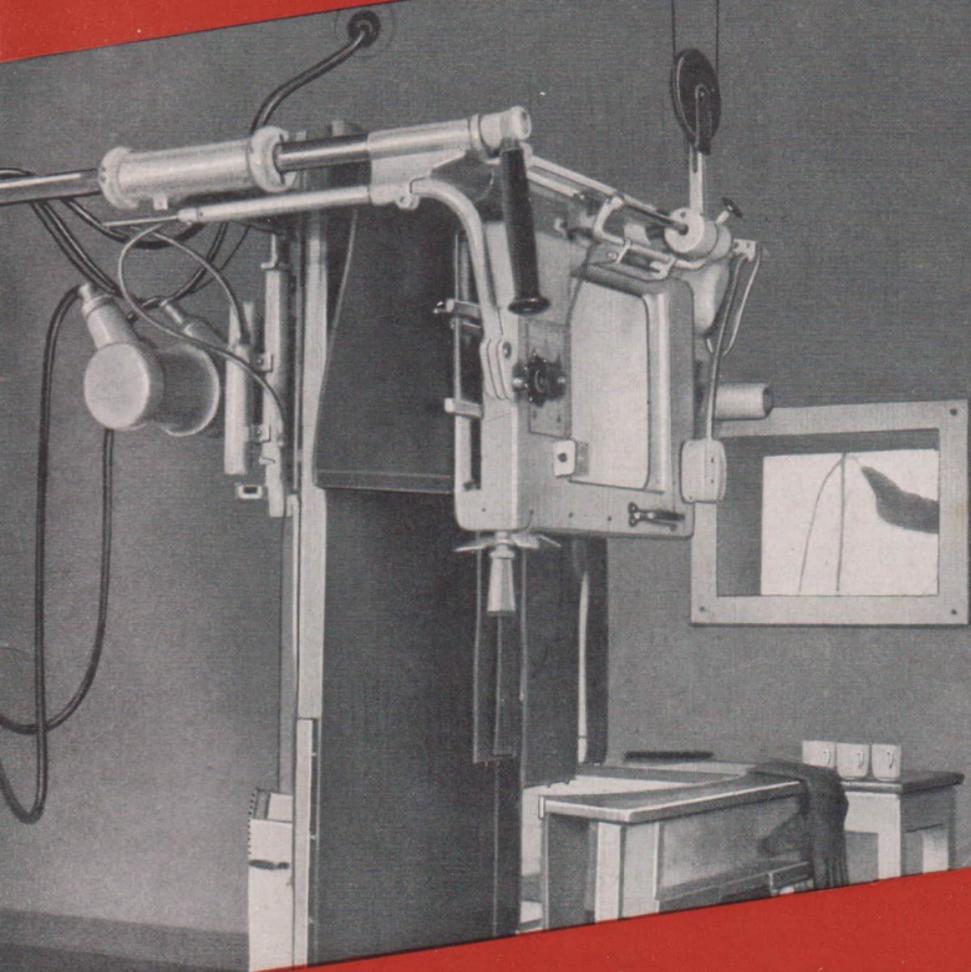


Neue Wissenschaft



G. S. SHDANOW

RÖNTGENSTRAHLEN

*Kleine populärwissenschaftliche Bibliothek
Technik*

Neue Wissenschaft

KLEINE POPULARWISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK

Rote Reihe: Technik

Röntgenstrahlen

Von Professor G. S. Shdanow



VERLAG NEUES LEBEN BERLIN

Inhalt

Einführung

Seite 5 Lichtstrahlen

9 Die Erzeugung der Röntgenstrahlen und ihre Eigenschaften

23 Wo wendet man Röntgenstrahlen an?

Titel der russischen Originalausgabe: РЕНТГЕНОВЫЕ ЛУЧИ

Ins Deutsche übertragen von Gleistein

Alle Rechte vorbehalten · Copyright 1952 by Verlag Neues Leben, Berlin · Lizenz Nr. 303 · Gen.-Nr. 305/37/52
Typographie: Kollektiv Neues Leben · Druck: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)

Einführung

Im Märchen hat das Volk manche Wunder wirkenden Gegenstände erfunden, Dinge, die ihren Besitzern ungeheure Kraft verleihen oder sie zu gewaltigen Heldentaten befähigen. Wer hat wohl als Kind nicht vom fliegenden Teppich gehört, vom silbernen Schlüsselchen, von den Siebenmeilenstiefeln oder von der Tarnkappe!

Der fliegende Teppich trägt den Märchenhelden im Nu durch die Lüfte von einem Land ins andere. Mit Siebenmeilenstiefeln kann er so schnell laufen, daß niemand ihm folgen kann. Im silbernen Schlüsselchen spiegelt sich, was in einem anderen Erdteil gerade geschieht. Die Tarnkappe endlich macht den Träger unsichtbar.

Vor noch gar nicht langer Zeit, vielleicht vor fünfzig oder hundert Jahren, waren diese Märchen nur Ausdruck der Träume des Volkes; niemand glaubte, daß auch nur eins von diesen Wunderdingen jemals hätte verwirklicht werden können. Heute ist es anders: Viel von dem, was das Volk in seinen Märchen erträumte, ist dank der zähen und oft aufopferungsvollen Arbeit der Wissenschaftler Realität geworden.

Tausende von Flugzeugen fliegen heute in Erfüllung friedlicher Aufgaben und zum Schutz der Grenzen täglich über die unermeßlichen Weiten des Sowjetlandes. Die Siebenmeilenstiefel – das sind die Motorräder, die Autos und Schnellboote. Kann man sich wohl vorstellen, daß ein Fußgänger ein Motorrad oder Auto einholt, das in der Minute drei Kilometer zurücklegt? Und sogar das silberne Schlüsselchen ist für den modernen Menschen kein Wunderding mehr: wir besitzen es in Gestalt des Fernsehapparates, mit dem man Bilder über große Entfernungen

übertragen kann. Noch manche andere Wunderdinge haben die Menschen erfunden, um sich die Arbeit und das Leben zu erleichtern.

In unserem Büchlein soll nun von einer dieser Erfindungen die Rede sein: von den unsichtbaren Röntgenstrahlen. Diese seltsamen Strahlen haben die Eigenschaft, Stoffe, wie Metall, Papier oder Haut, die das sichtbare Licht nicht hindurchlassen, zu durchdringen. Allerlei optische Geräte – Vergrößerungsgläser, Feldstecher oder Mikroskope – kommen dem menschlichen Auge zu Hilfe, aber sie alle zeigen uns nicht mehr als die Oberfläche der undurchsichtigen Körper. Indessen sind die meisten Gegenstände, mit denen wir täglich zu tun haben – Erdschichten, Pflanzen, Metalle, Menschen- oder Tierkörper – undurchsichtig, d. h., sie lassen Lichtstrahlen nicht hindurch. Oft aber ist es sehr wichtig, in einen Organismus oder Gegenstand hineinzuschauen, ohne ihn dabei zu zerstören. Bei Erkrankungen innerer Organe, bei Schäden an diesen oder bei Knochenbrüchen ist man häufig sogar darauf angewiesen, in den Körper hineinzuschauen, um die erkrankten Stellen wirklich zu betrachten.

Das kann mit Hilfe der Röntgenstrahlen geschehen. Sucht man zum Beispiel nach einer Kugel oder einem Granatsplitter im Körper eines Verwundeten, so braucht man nur die Umgebung des Einschusses mit Röntgenstrahlen zu durchleuchten, um die genaue Lage des Fremdkörpers feststellen zu können. Röntgenstrahlen können uns Aufschluß über den Inhalt von verschlossenen Kisten, Säcken oder Schachteln geben, können in Metallen Materialfehler, schadhafte Stellen erkennbar machen und vieles andere, ohne daß man die betreffenden Gegenstände aufschneiden, durchsägen oder zerstören muß. Wie uns eine Lampe in einem dunklen Zimmer alles sichtbar macht, was sich in ihm befindet, wie ein Sonnenstrahl, der auf ein volles Teeglas fällt, in dem ein Löffel steht, uns Löffel, Tee und Teeblätter erkennen läßt, so erlaubt uns auch ein Bündel von Röntgenstrahlen, das auf ein undurchsichtiges Stück Metall fällt, die kleinsten Risse oder Blasen, die man von außen nicht sehen kann, festzustellen.

Außerdem besitzen die Röntgenstrahlen noch weitere, äußerst wichtige Eigenschaften, die ausgenutzt werden, wenn man sich über Besonderheiten der Struktur eines Körpers Aufschluß verschaffen will, die in keinem Mikroskop jemals zu erkennen sind. Ferner gestatten die Strahlen, festzustellen, aus welchen Elementen dieser oder jener Stoff besteht, d. h. seine chemische Zusammensetzung kann bestimmt werden.

Aus dem vorliegenden Büchlein soll der Leser etwas von den Eigenschaften und der Natur der Röntgenstrahlen, von der Art und Weise, wie man sie erzeugt, schließlich von dem Nutzen erfahren, den Wissenschaft und Technik aus ihnen ziehen.

Lichtstrahlen

Das Auge als Sitz der Sehempfindung ist eines der wichtigsten Organe des menschlichen Körpers. Es ermöglicht uns, Lichtempfindungen wahrzunehmen und unsere Umwelt zu sehen.

Die Lichtstrahlen, die durch die Pupille ins Innere des Auges fallen, wirken auf die empfindlichen Nerven ein, welche die gesamte innere Rückseite des Auges überziehen. Die Sehempfindung wird auf dem Wege über die Nerven dem Gehirn übermittelt. Hier werden die einzelnen Impulse zu einem Bild zusammengesetzt – eine genaue Wiedergabe dessen, was sich vor unserem Auge abspielt.

Es ist üblich, nur solche Strahlen unter dem Begriff „Licht“ zusammenzufassen, die uns unsere Umwelt erkennbar machen. Die Hauptquelle sichtbaren Lichts ist die Sonne.

Das Sonnenlicht – oder wie man oft sagt: das Tageslicht – besteht aus Lichtstrahlen, die von der Sonne, einer Gaskugel von ungeheurer Hitze, ausgesandt werden.

Der Sonnenenergie, die uns durch das Licht übermittelt wird, verdanken wir alles Leben auf der Erde. Nur dank der Sonnenwärme konnte Leben auf der Erde entstehen.

Das Tageslicht wird auch natürliches Licht genannt. Neben dem Tageslicht kennen wir noch eine andere Beleuchtung: das künstliche Licht. Einige künstliche Lichtquellen sind uns allen bekannt: die Glühlampe, die Kerze, die Petroleum- oder Gaslampe.

Das Licht hat schon seit langer Zeit die Aufmerksamkeit der Wissenschaftler auf sich gezogen; sie versuchten, sich über seine Natur und seine Eigenschaften klarzuwerden. Heute wissen wir, daß das sichtbare Licht nur einen ganz kleinen Teil aller in der Natur vorkommenden Strahlen ausmacht.

Bereits am Beispiel der Sonnenstrahlung haben wir festgestellt, daß es außer dem sichtbaren noch unsichtbares Licht gibt. Die Sonne spendet ja nicht nur Licht, sondern auch Wärme. Zusammen mit dem sichtbaren Licht empfangen wir die unsichtbaren Wärmestrahlen der Sonne; man nennt sie Infrarot-Strahlen.

Solche Wärmestrahlen senden alle erwärmten Körper aus. Nähert einmal eure Hand einem erwärmten Gegenstand (dem Bügeleisen oder dem Ofen)! Dann spürt ihr die von ihm ausgehende Wärme. Diese Wärme ist nichts anderes als ein Strom von Wärmestrahlen, die der erwärmte Körper ausstrahlt. Die Wärmestrahlen verbreiten sich nach allen Seiten und rufen beim Menschen eine Wärmeempfindung hervor. Das menschliche Auge aber kann die Wärmestrahlen nicht sehen. Wie angestrengt wir auch im dunklen Zimmer auf das heiße Bügeleisen starren, sehen können wir es nicht. Auch der menschliche Körper sendet Wärmestrahlen aus.

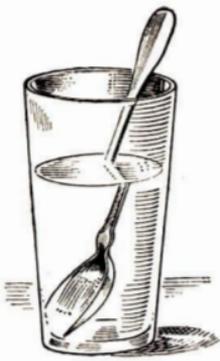


Abbildung 1. Löffel in einem Wasserglas

Andererseits wissen wir alle, daß die Sonnenstrahlen den sogenannten Sonnenbrand hervorrufen. Wir wissen jedoch, daß unsere Haut nur im Freien gebräunt wird. Beabsichtigen wir, unter einem Glasdach, das das sichtbare Licht ungehindert hindurchläßt, ein Sonnenbad zu nehmen, so würden wir überhaupt nicht braun werden.

Das kommt daher, daß die Sonne außer sichtbaren und wärmenden Strahlen auch noch andere, sogenannte ultraviolette Strahlen aussendet. Ultraviolette Strahlen können Glas nicht durchdringen und werden sogar von der Luft zum Teil verschluckt. Sie sind es, die die Bräunung der Haut hervorrufen. Die menschliche Haut bräunt besonders leicht im Hochgebirge, wo die Sonnenstrahlen nur dünne Luftschichten durchdringen müssen. Darum kann man hinter gewöhnlichen Fensterscheiben nicht braun werden. Die infraroten sowie die ultravioletten Strahlen sind für unser Auge unsichtbar. Die gleiche Eigenschaft besitzen auch die Röntgenstrahlen. Tritt man an einen in Betrieb befindlichen Röntgenapparat heran, so sieht man nirgends in der Luft irgendwelche Strahlen, so sehr man sich auch anstrengen mag, obgleich der Apparat Ströme von Röntgenstrahlen aussendet, von denen viele auch das Auge des Beobachters treffen.

Ein weiteres Beispiel bietet uns die Funktechnik. Der Mensch kann keine Radiowellen wahrnehmen, obgleich sie sich über die ganze Erde verbreiten. Auge und Ohr des Menschen sind ungeeignet, Radiowellen zu sehen oder zu hören. Trotzdem kann man sich leicht davon überzeugen, daß es Radiowellen wirklich gibt. Man braucht nur seinen Rundfunkempfänger auf eine bestimmte Welle einzustellen, d. h. eine der uns umgebenden Radiowellen einzufangen, so kann man durch den Lautsprecher menschliche Rede, Gesang oder andere Laute vernehmen, die über Tausende von Kilometern übertragen worden sind.

Erhitzt man ein Stück Eisen, bleibt es zunächst dunkel, obgleich es mit zunehmender Temperatur immer mehr unsichtbare Wärmestrah-

len aussendet. Bei einer bestimmten Temperatur aber sehen wir, daß es plötzlich anfängt zu leuchten, zuerst dunkelrot und so wenig, daß es kaum zu bemerken ist, dann hellrot, gelb und schließlich grellweiß. Diese einfache Beobachtung weist auf die enge Verwandtschaft von Wärmestrahlen und Strahlen unsichtbaren Lichts hin.

Ultraviolette Strahlen kann man auch nachweisen, indem man sie auf eine fotografische Platte einwirken läßt. Man kann mit den genannten Strahlen Aufnahmen in völlig „dunklen“ Zimmern machen. Außerdem gibt es viele Stoffe, die unter der Einwirkung ultravioletter Strahlen aufleuchten, d. h. sichtbares Licht aussenden.

Bei der Untersuchung des weißen Sonnenlichtes stellten die Gelehrten seine außerordentlich komplizierte Zusammensetzung fest. Das weiße Licht ist nämlich in Wirklichkeit ein Gemisch aus den sieben Grundfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett (den sogenannten Regenbogenfarben).

Gehen Lichtstrahlen aus einem durchsichtigen Körper in einen anderen über, so werden sie gebrochen, d. h., sie ändern ihre Richtung. Man betrachte nur einmal ein volles Wasserglas, in dem ein Löffel steht, von der Seite (Abb. 1). Der Löffel sieht aus, als wäre er gebrochen. Woher kommt das? Die Lichtstrahlen, die von dem im Wasser befindlichen Teil des Löffels ausgehen, weichen, wenn sie aus dem Wasser heraustreten, beim Übergang in die Luft vom geradlinigen Wege ab.

Sehr einfach läßt sich ein Versuch anstellen, der veranschaulicht, daß das weiße Licht in seine Bestandteile zerlegt werden kann. Man braucht dazu nur einen Lichtstrahl durch ein sogenanntes „Prisma“ zu schicken. Ein Prisma ist ein Stück Glas, das von drei blankgeschliffenen Flächen begrenzt wird, wie es Abbildung 2 zeigt, wo fünf Prismen aneinandergereiht sind.

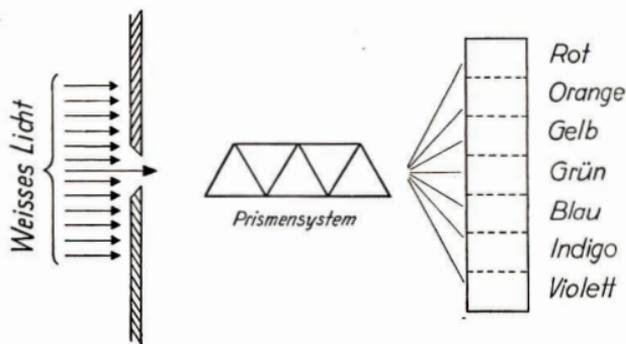


Abbildung 2
Schematische Darstellung
der Zerlegung des Lichtes
durch Prismen

Wenn der Lichtstrahl das Prisma durchdringt, wird er zweimal gebrochen. Dabei ist der Brechungswinkel der verschiedenen Bestandteile des weißen Lichts nicht der gleiche. Infolgedessen treten aus dem Prisma, auf das nur weißes Licht fällt, Strahlen verschiedener Farben in verschiedenen Richtungen aus. Läßt man diese Farbstrahlen auf einen Schirm fallen, sieht man auf ihm ein Bild, das sogenannte „Spektrum“. Das Spektrum des sichtbaren Lichts ist auf Abbildung 2 angedeutet.

Den gleichen Vorgang der Zerlegung weißen Lichts in seine Spektralfarben können wir nach einem Regen am Himmel als Regenbogen beobachten. Die auf die Erde fallenden Sonnenstrahlen treten durch Wassertropfen hindurch und werden dabei zerlegt. Wie sich jeder leicht überzeugen kann, sind auch im Regenbogen die Farben genau in der gleichen Weise angeordnet wie in unserer Abbildung gezeigt wird.

Wäre unser Auge vollkommener, dann sähen wir hinter der roten Farbe des Regenbogens noch eine Fortsetzung: die unsichtbaren infraroten Strahlen, hinter der violetten Farbe aber als Fortsetzung die ultravioletten Strahlen.

Heute weiß man, daß alle oben untersuchten Strahlen – die sichtbaren Lichtstrahlen (von rot bis violett), die infraroten und ultravioletten Strahlen, außerdem die Radiowellen, die uns hier interessierenden Röntgenstrahlen und endlich die Gamma-Strahlen (eine besondere Art von Strahlen, die von radioaktiven Körpern ausgesandt werden) – trotz ihrer unterschiedlichen Bezeichnungen im Grunde die gleichen Eigenschaften haben.

Welche sind nun diese gleichen Eigenschaften? Und worin besteht der Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen der erwähnten Strahlen?

Alle Strahlen lassen sich auf elektrische und magnetische Erscheinungen zurückführen.

Denken wir an ein bekanntes Experiment: Auf dem Tisch verstreut liegen Eisenfeilspäne. Bringen wir einen Magneten in ihre Nähe, springen die Eisenfeilspäne plötzlich vom Tisch an die Pole des Magneten. Das bedeutet, daß der Magnet auf die Eisenfeilspäne eine Kraft ausübt, welche die Späne zu ihm hinzieht. Man sagt dann, im Raum um den Magneten befindet sich ein magnetisches Kraftfeld.

Der gleiche Versuch läßt sich auch mit elektrisch geladenen Körpern anstellen. Das Ergebnis ist das gleiche: Im Raum um den elektrisch geladenen Körper befindet sich ein Feld, das man in diesem Fall „elektrisches Feld“ nennt. Geladene Körper, die in ein solches Feld geraten, werden von dem das elektrische Feld bildenden Körper entweder angezogen oder abgestoßen – je nach der Art ihrer Ladung.

Das elektrische Feld und das Magnetfeld stehen in enger Beziehung zueinander. Bei jeder Änderung des elektrischen Feldes entsteht ein Magnetfeld und umgekehrt.

Sichtbare und unsichtbare Lichtstrahlen sind ebenso in Beziehung zueinander stehende elektrische Felder und Magnetfelder, die sich wellenförmig im Raum ausbreiten.

Solche Wellen nennt man elektromagnetische Wellen.

So haben wir erkannt, daß alle oben aufgezählten Strahlen zu der großen Familie der elektromagnetischen Wellen gehören. Worin aber unterscheiden sie sich voneinander?

Jeder hat gewiß schon einmal gesehen, wie sich auf einer stillen Wasserfläche plötzlich Wellen ausbreiten, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. Den Abstand von einem Wellenberg bis zum nächsten Wellenberg nennt man die Wellenlänge. Die Wellen, die entstehen, wenn man einen Stein ins Wasser wirft, haben eine Länge von einigen Zentimetern. Die Meereswellen sind beträchtlich länger. Auch die genannten elektromagnetischen Wellen unterscheiden sich voneinander durch ihre Länge. Im Bereich der Radiowellen kennen wir lange Wellen (einige Kilometer lang) und kurze Wellen (einige Meter oder Zentimeter lang). Die infraroten und die sichtbaren Strahlen sind bedeutend kürzer, so haben die grünen sichtbaren Strahlen eine Wellenlänge von etwa fünf hunderttausendstel Zentimetern. Die Wellen der Röntgenstrahlen sind noch kürzer. Ihre Länge schwankt zwischen einem zehnmilliardstel und einigen hundertmillionstel Zentimetern. Noch kürzer sind die Wellen der Gammastrahlen.

Nachstehend sind alle bekannten Strahlen in einer Tabelle zusammengefaßt.

Skala der elektromagnetischen Wellen:

	Wellenlänge
Radiowellen	2000 m bis 1 m
Ultrakurze Radiowellen	1 m bis 1/10 m
Wärmestrahlen oder infrarote Strahlen	1/10 bis 1/100 mm
Sichtbare Strahlen oder Lichtstrahlen (rot, orange, gelb, grün, blau, dunkelblau, violett)	8/10000 bis 4/10000 mm
Ultraviolette Strahlen	4/10000 bis 1/100000 mm
Röntgenstrahlen	1/100000 bis 1/100000000 mm
Gammastrahlen	unter 1/100000000 mm

Die Erzeugung der Röntgenstrahlen und ihre Eigenschaften

Die Röntgenstrahlen wurden im Jahre 1895 von dem deutschen Physiker Röntgen entdeckt, der mit einer geschlossenen, fast luftleer gepumpten Glasröhre experimentierte.

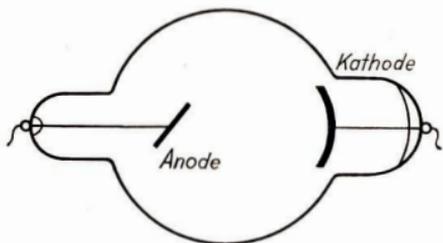


Abbildung 3. Entladungsröhre

Eine solche Röhre zeigt Abbildung 3. Im Innern des Glaskolbens befinden sich zwei Metallplatten, die sogenannten „Elektroden“, von denen dünne, in das Glas eingeschmolzene Zuleitungsdrähte nach außen führen.

Schaltet man eine solche Röhre in einen elektrischen Stromkreis ein, dann kann unter bestimmten Umständen elektrischer Strom durch sie hindurchfließen. Der Röhrenstrom ist ein Strom kleinster elektrisch geladener Teilchen, aus denen alle Dinge bestehen: Elektronen und Ionen. Man nennt so eine Röhre eine Entladungsröhre.

Röntgen interessierte sich in seiner Arbeit vor allem für die Eigenschaften des elektrischen Stroms, der durch Gas fließt. Er hatte Röhren verschiedenster Formen und Ausmaße und wollte herausfinden, welchen Einfluß Form und Größe der Röhre auf den elektrischen Strom ausüben.

Eines Abends erlebte Röntgen etwas Seltsames. Es war schon spät, und er wollte gerade seine Laboratoriumsversuche abbrechen, um nach Hause zu gehen. Sorgfältig bedeckte er die auf dem Laboratoriumstisch stehende Röhre mit einem Pappkarton, machte das Licht aus und wollte eben noch den Strom ausschalten, der die Röhre durchfloß, als er neben der Röhre einen im Dunkeln leuchtenden Gegenstand bemerkte. Was da leuchtete, erwies sich als ein Stück Pappkarton, auf dem eine Bariumplatinzyanürschicht aufgetragen war. Diese chemische Verbindung hat die Eigenschaft, zu leuchten, sobald sie von sichtbarem Licht getroffen wird. Es war aber zu später Nachtstunde, und im Laboratorium hatte Röntgen das Licht ausgeschaltet. Wie kam es, daß der Pappkarton trotzdem leuchtete? Röntgen schaltete den Röhrenstrom aus, und siehe da: der Schirm hörte auf zu leuchten.

In jener Nacht ging Röntgen nicht nach Hause. Er setzte sich das Ziel, aufzuklären, warum in einem Zimmer, in dem eine Entladungsröhre in Betrieb ist, eine Bariumplatinzyanürschicht zu leuchten beginnt.

Bald hatte Röntgen die Ursache dieses Leuchtens gefunden. Eine der Elektroden der Röhre sandte unsichtbare Strahlen aus, die viele wunderbare Eigenschaften aufwiesen; das Merkwürdigste aber war, daß Körper, durch die das menschliche Auge nicht hindurchschauen kann, kein Hindernis für sie waren.

Weiter zeigte es sich, daß die Luft unter der Einwirkung dieser neuen Strahlen ein guter Leiter wurde; aufgeladene Körper gaben, sobald sie in die Nähe der in Betrieb befindlichen Röhre gebracht wurden, ihre Ladung sehr schnell ab.

Eine fotografische Platte konnte man mit den neuen Strahlen ebenso belichten wie mit sichtbarem Licht.

Röntgens Entdeckung weckte großes Interesse. Viele Gelehrte experimentierten mit den Strahlen und versuchten, ihre physikalischen Eigenschaften zu erforschen, um sich über ihre Natur klarzuwerden.

Als einer der ersten arbeitete der große russische Gelehrte A. S. Popow, der Erfinder des Radios, mit den unbekanntenen Strahlen. Er war es, der die erste derartige Röhre in Rußland baute. Lange Zeit blieb das Wesen der neuen Strahlen ungeklärt, darum gab man ihnen anfangs den Namen „X-Strahlen“, d. h. „unbekannte Strahlen“. Heute hat man sich darauf geeinigt, sie nach ihrem Entdecker Röntgen zu benennen.

Moderne Röntgenröhren sind etwas anders konstruiert als die, mit denen Röntgen arbeitete.

Wie ist nun eine moderne Röntgenröhre gebaut und wie arbeitet sie?

Um das besser zu verstehen, wollen wir sie einmal mit einer gewöhnlichen Glühlampe vergleichen, wie wir sie auf Abbildung 4 vor Augen haben.

Die Glühlampe besteht aus einem dünnwandigen Glasballen *a*, an dem eine Metallkappe, der sogenannte „Sockel“ *b*, befestigt ist. In den Glasstäbchen *c*, der sich im Innern des Kolbens befindet, sind zwei Drähte *d*

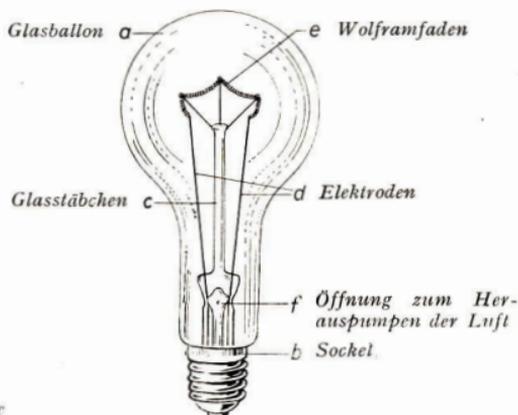


Abbildung 4
Zeichnung einer Glühlampe

eingeschmolzen – die Stromzuführungen. Sie stehen mit einer Spirale e aus feinstem Wolframdraht in Verbindung. Wolfram ist ein sehr seltenes und schwer schmelzbares Metall. Es schmilzt erst bei Temperaturen über 3000 Grad. Der Lampenkolben wird durch den Pumpstutzen f luftleer gepumpt und darauf zugeschmolzen. Soll die elektrische Lampe brennen, so muß man Strom durch sie hindurchschicken. Die Bewegung des Elektronenstroms durch die Drähte erinnert an die Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren, nur mit dem Unterschied, daß hier keine Flüssigkeiten durch den Draht fließen, sondern Elektronen, das sind kleinste negativ geladene Teilchen.

Gewöhnlich befinden sich die Elektronen im Innern der Atome, aus denen alle Dinge in unserer Umgebung bestehen. Der positiv geladene Atomkern zieht die Elektronen an und hält sie in seinem Bann. In einigen Stoffen aber, zum Beispiel in Metallen, sind die Atome so gelagert, daß die Verbindung der einzelnen Elektronen mit dem Atomkern sich lockern kann, wodurch die Elektronen aus dem Verband des Atoms austreten und sich frei von einem Atom zum anderen bewegen können – allerdings immer noch im Metall gebunden.

Aus diesen „freien Elektronen“ besteht der elektrische Strom in Metallen.

Der Leiter, durch den die Elektronen zum Wolframfaden der Lampe fließen, wird der negative genannt, der andere, durch den sie wieder abfließen, der positive.

Die Atome des Metalls nehmen an dieser Bewegung der Elektronen durch den Leiter nicht teil. Sie bleiben an ihrem Platz und bilden das sogenannte „Atomgitter“, das Knochengerüst des Leiters.

Bei ihrem Fluß durch den Leiter stoßen die Elektronen auf Atome des Gitters.

Infolge dieser unzähligen kleinen Zusammenstöße kann der Elektronenstrom nicht mehr gleichmäßig den Leiter durchfließen. Einzelne Elektronen ändern beim Aufprall die Richtung ihres Flusses. Es entsteht eine ungeordnete Bewegung nach verschiedenen Richtungen im Innern des Metalls.

Durch den Aufprall der Elektronen geraten die Atome selbst in Bewegung; sie beginnen zu schwingen, entfernen sich aber nicht von ihrem Platz im Gitter.

Die Energie der Atomschwingungen ist Wärmeenergie, die dann entsteht, wenn ein Strom einen Leiter durchfließt.

Bei gewöhnlicher Temperatur können sich die Elektronen des Metalls nur innerhalb des Leiters frei bewegen, nicht aber aus dem Leiter heraustreten. Die Atome, die Elektronen verloren haben, sind positiv aufgeladen; sie ziehen diejenigen Elektronen, die an die Oberfläche des Metalls geraten, wieder zurück ins Innere.

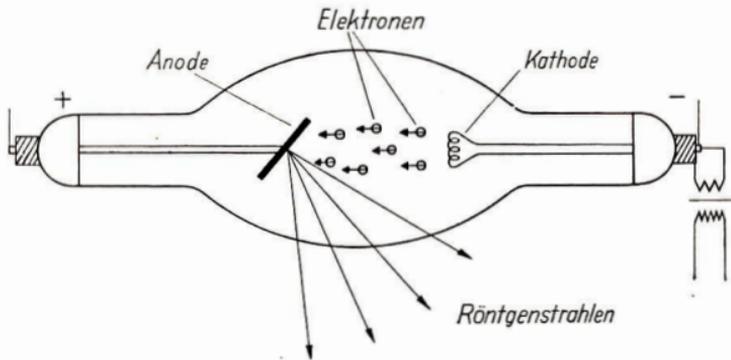


Abbildung 5. Schematische Darstellung einer Röntgenröhre

Wenn aber die Temperatur hoch genug ist, nimmt die Fluggeschwindigkeit der Elektronen so stark zu, daß sie die Anziehungskraft der Atome überwinden und aus dem Metall herausfliegen können.

Darum kann ein erhitzter Körper, in unserem Fall der Wolframdraht, nach allen Richtungen Elektronen aussenden.

Um den Glühfaden einer gewöhnlichen Lampe bildet sich in der Regel eine Wolke von Elektronen, die aus dem Draht herausgetreten sind.

Betrachten wir jetzt einmal die Abbildung 5. Hier sehen wir das Schaltschema einer Röntgenröhre.

In einer Röntgenröhre gibt es auch einen Glühfaden, der Elektronen aussendet. Zum Unterschied von der gewöhnlichen Glühlampe aber liegt hier an der Heizspirale außerdem noch eine negative Spannung. Der positive Pol derselben Stromquelle wird als Draht in den Kolben eingeführt und endet in einer zweiten Elektrode, die man „Anode“ nennt.

Die positiv geladene Anode zieht die vom Heizfaden (der „Kathode“) ausgesandten Elektronen an. Infolgedessen bilden die aus der Kathode heraustretenden Elektronen kein Wölkchen um die Kathode, sondern fliegen zur Anode. Als Ersatz für sie stößt der Heizfaden neue aus. In einer solchen Röhre fließt ein elektrischer Strom – ein Elektronenstrom – mit großer Geschwindigkeit von der Kathode zur Anode.

So sind Röntgenröhren konstruiert. Erzeugt werden die Röntgenstrahlen von der Anode, die von einem Strom sehr schnell fliegender Elektronen bombardiert wird. Die Geschwindigkeit der Elektronen in der Röntgenröhre beträgt ein Vielfaches der Geschwindigkeit eines Geschosses. Ein Elektron würde in weniger als einer Sekunde die ganze Erde umfliegen.

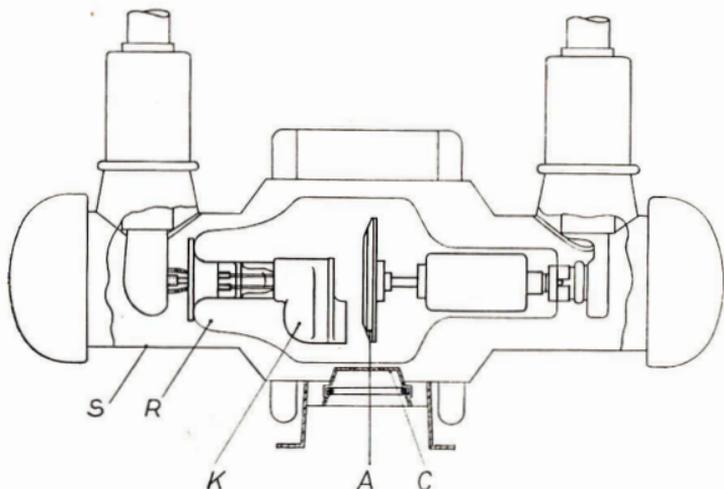
Die Oberfläche der Anode wird also, während die Röntgenröhre in Betrieb ist, ständig von Elektronen beschossen, die von der Kathode ausgestrahlt werden. Etwa ebenso, wie sich Metall unter Hammerschlägen erhitzt, erhitzt sich auch die Oberfläche der Röntgenröhren-Anode, besonders der Teil, der von Elektronen beschossen wird. An diesem Fleck, dem sogenannten „Brennfleck“, kann das Metall sogar manchmal zum Schmelzen gebracht werden. Hier entsteht, wie Röntgen feststellte, nicht nur Wärme, sondern auch die nach ihm benannte Strahlung. Die Röntgenstrahlen breiten sich vom Brennfleck nach allen Richtungen aus.

Wir wissen jetzt, daß Röntgenstrahlen entstehen, wenn schnell fliegende Elektronen auf Atome von Metallen prallen und dabei ihre Energie verlieren. Ein Teil der Elektronenenergie bringt die Atome des Metalls zum Schwingen und erhöht so dessen Temperatur, der andere Teil wird umgesetzt in Röntgenstrahlen, d. h. in Strahlenenergie.

Jedesmal, wenn ein Elektron seine Geschwindigkeit ändert, strahlt es elektromagnetische Wellen aus. Je größer die Beschleunigung oder Bremsung des Elektrons ist, desto kürzer sind die ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen.

Heute weiß man, daß das sichtbare Licht auch von Elektronen ausgesandt wird, die im Innern der Atome schwingen.

*Abbildung 6. Moderne Röntgenröhre (R) in einer metallischen Schutzhülle (S)
S Schutzhülle, R eigentliche Röntgenröhre, K Glühkathode, A Anode, C Strahlen-
austrittsfenster*



Ein mit hoher Geschwindigkeit fliegendes Elektron wird, wenn es auf die Oberfläche der Anode prallt, sofort aufgehalten. In diesem Fall wird das Elektron sehr heftig gebremst; die dabei entstehenden elektromagnetischen Wellen – die Röntgenstrahlen – sind sehr kurz; ihre Länge beträgt nur etwa ein Tausendstel der Wellenlänge des sichtbaren Lichts.

Je höher die Geschwindigkeit des Elektrons vor dem Aufprall war, desto stärker ist die Bremswirkung, und eine desto geringere Wellenlänge weisen die Röntgenstrahlen auf.

Die Geschwindigkeit der Elektronen hängt aber von der Spannung zwischen Kathode und Anode ab, denn diese Spannung ist es, die die Elektronen in ihrem Flug beschleunigt.

Darum ist die Art der Strahlung davon abhängig, welche Spannung wir an die Röhre anlegen. Geringere Spannung ergibt Strahlen von größerer Wellenlänge (weiche Strahlen), höhere Spannung ergibt Strahlen von geringerer Wellenlänge (harte Strahlen).

Abbildung 6 zeigt eine moderne Röntgenröhre. Sie besteht aus einem Glaskolben, der in einem abschirmenden Gehäuse untergebracht ist. In die Röhre eingeschmolzen sind zwei Elektroden: auf der einen Seite die Kathode (bezeichnet mit *K*) – die Heizspirale aus Wolframdraht –, auf der anderen Seite die Anode (*A*). Die Kathode endet gewöhnlich in einem Sockel, der nicht anders konstruiert ist als der Sockel einer Glühlampe. Die durch die Röhre hindurchlaufenden Stromzuführungsdrähte und die Spirale sind dicker als in einer normalen Glühlampe. Anode und Kathode sind mit einer Stromquelle verbunden. Die Heizspirale der Kathode wird aus einer besonderen Stromquelle gespeist.

Zum Betrieb der Röntgenröhre ist der übliche Strom mit einer Spannung von 120 oder 220 Volt nicht geeignet. Dazu braucht man Spannungen von 50000 bis 220000 Volt und mehr, sogenannte „Hochspannungen“. Die Umformung von Strom niederer Spannung in Strom hoher Spannung geschieht durch einen Transformator. Vom Transformator zur Röntgenröhre leitet man den hochgespannten Strom entweder mit Hilfe von Metallschienen, die von Isolatoren getragen werden (weit genug von der Decke des Raumes entfernt, um ein Überspringen von Funken zu vermeiden), oder über ein Spezial-Hochspannungskabel.

Eine moderne Röntgenapparatur mit einer Röhre, die von einer Schutzhülle umschlossen ist, zeigt die Abbildung 7.

Die gegen Ende des vorigen Jahrhunderts entdeckten Röntgenstrahlen haben heute ein großes Anwendungsgebiet gefunden. Die Sowjetunion verfügt über ein ausgedehntes Netz von Röntgeneinrichtungen in Krankenhäusern, wissenschaftlichen Instituten, tierärztlichen Kliniken und Fabriken. In Moskau, Leningrad und anderen großen Hauptstädten des Landes sind Röntgeninstitute geschaffen worden, in denen Untersuchungen über das Wesen der Röntgenstrahlen durchgeführt

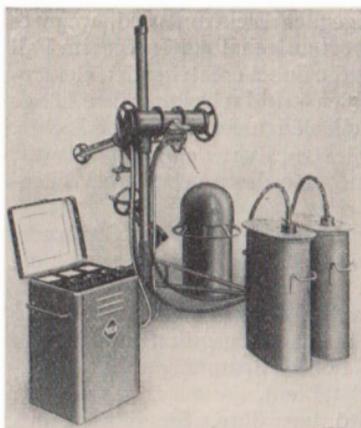


Abbildung 7. Röntgenanlage zur Untersuchung von Metallstrukturen

werden. Hier werden der Röntgentechnik immer weitere Anwendungsgebiete erschlossen.

Bei der Erforschung der Röntgenstrahlen erhebt sich zuerst die Frage: Wie weist man Röntgenstrahlen überhaupt nach? Wie macht man die unsichtbaren Strahlen sichtbar, um mit ihnen arbeiten zu können?

Dabei macht man sich einige der seltsamen Eigenschaften der geheimnisvollen Strahlen zunutze. Eine Eigenschaft der Röntgenstrahlen besteht darin, daß sie bestimmte chemische Verbindungen zum Leuchten bringen. Gerade dieser Eigenschaft ist es auch zu verdanken, daß Röntgen die Strahlen überhaupt entdeckt hat.

Wenn man in der Dunkelheit ein Schächtelchen mit so einer chemischen Verbindung öffnet, geschieht zunächst nichts. Jetzt gehen wir aber mit dem Schächtelchen in einen Raum, in dem ein Röntgenapparat in Betrieb ist, und halten es so vor die Röntgenröhre, daß deren Strahlen auf den Leuchtstoff fallen: Sofort sendet der Stoff Licht aus, ein Licht, dessen Helligkeit davon abhängt, welche chemische Verbindung wir gewählt haben. Der Stoff in unserem Schächtelchen leuchtet so lange, wie Röntgenstrahlen auf ihn fallen. Dabei bleibt er so kalt, wie er war. Schaltet man den Strom aus, so hört das Leuchten auf.

Unser Leuchtstoff sendet um so helleres Licht aus, je näher wir ihn an die Röntgenröhre heranzuführen.

Das selbständige Leuchten von gewissen Stoffen unter der Einwirkung von Strahlen nennt man Fluoreszenz. Diese Eigenschaft gewisser

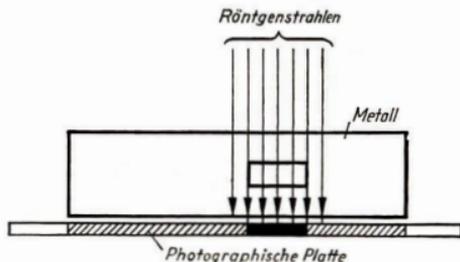
Stoffe, unter der Einwirkung von Röntgenstrahlen aufzuleuchten, macht man sich auch für den Nachweis der Röntgenstrahlen zunutze. Ein mit Pulver gefülltes Schächtelchen eignet sich aber schlecht zur Beobachtung des Verhaltens von Röntgenstrahlen. Man stellt deshalb lieber für diesen Zweck fluoreszierende Schirme, Leuchtschirme, her.

Zur Herstellung eines solchen Schirms nimmt man ein großes Stück Pappe und bestreicht es auf einer Seite mit Klebstoff, der mit einem bestimmten pulverisierten Leuchtstoff vermischt ist (zum Beispiel Schwefelzink). So erhalten wir einen Schirm, der gleichmäßig von einer Leuchtschicht überzogen ist. Nun wird der Karton in einen Holzrahmen gespannt. Zur Beobachtung bringen wir seitlich vor dem Schirm noch eine Scheibe aus Bleiglas an.

Bleiglas ist gewöhnliches Fensterglas, dem Blei beigemischt ist. Es gestattet uns, das Leuchten des Schwefelzinks zu beobachten, hält aber die Röntgenstrahlen zurück und schützt die Ärzte und Schwestern vor ihnen. Dieser Schutz ist unbedingt notwendig, denn die Röntgenstrahlen können bei längerer und häufiger Einwirkung schwere Verbrennungen im menschlichen Körper hervorrufen.

Wir erwähnten schon, daß es eine der wunderbaren Eigenschaften der Röntgenstrahlen ist, Körper, die sichtbares Licht nicht hindurchlassen, durchdringen zu können. Allerdings durchdringen die Strahlen nicht jeden Körper gleich gut. Sie werden zum Teil von dem Körper, den sie durchleuchten sollen, verschluckt und aufgehalten. Das kommt daher, daß die elektromagnetischen Wellen der Röntgenstrahlen auf die elektrischen Ladungen im Innern der Atome der Stoffe einwirken und dabei Energie verlieren. Man kann es leicht aus folgendem Versuch erkennen: Bringt man eine Aluminiumplatte zwischen Röntgenröhre und Leuchtschirm, leuchtet der Schirm schwächer. Je dicker die Platte ist, die den Röntgenstrahlen im Wege steht, desto weniger Licht sendet der Schirm aus. Schneidet man aus der Platte einen Buchstaben oder irgendeine Figur aus, dringen die Strahlen leichter durch das ausgeschnittene

Abbildung 8. Schematische Darstellung einer Untersuchung von Metall durch Röntgenstrahlen



Muster, infolgedessen leuchten auch die entsprechenden Stellen auf dem Schirm heller auf. Diese helleren Stellen auf dem Schirm weisen genau die Form des Ausschnittes in der Aluminiumplatte auf. Man braucht noch nicht einmal ein Loch in die Platte zu schneiden, es genügt bereits, sie an einigen Stellen ein wenig dünner zu machen, auch kann man ein Loch in ein Stück Metall schneiden und davor eine Aluminiumplatte decken, so daß der Einschnitt mit sichtbaren Strahlen nicht zu erkennen ist. Auf dem Schirm aber, der unter der Einwirkung der Röntgenstrahlen zu leuchten beginnt, zeigt sich wieder ein hellerer Fleck: die Strahlen brauchten an der einen Stelle nur eine weniger dicke Metallschicht zu durchdringen. Darauf beruht die Methode der Durchleuchtung undurchsichtiger Körper mit Röntgenstrahlen. Den Leuchtschirm kann man auch durch eine fotografische Platte ersetzen.

Die ersten Versuche mit Röntgenaufnahmen machte Röntgen selbst, bald nachdem er seine „X-Strahlen“ entdeckt hatte. Seine Versuche zeigten, daß die fotografische Platte von Röntgenstrahlen ebenso geschwärzt wird wie von Sonnenstrahlen. Dies bot die Möglichkeit, die Technik der Röntgenfotografie auszuarbeiten.

Abbildung 9. Stecknadel im linken Luftröhrenast

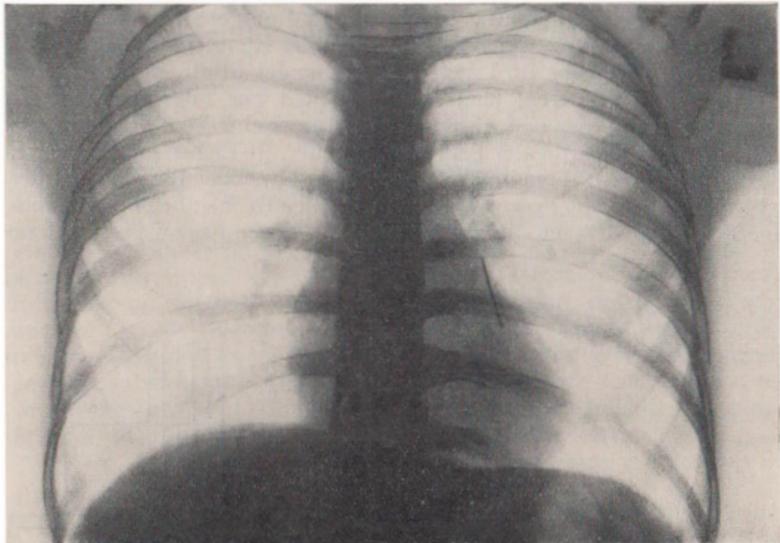


Abbildung 10. Röntgenaufnahmen einer Schrotkugelverletzung des Kopfes.

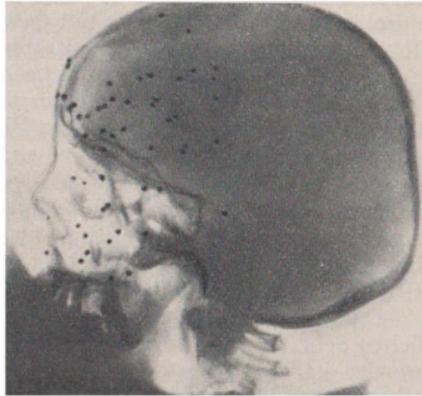


Bild 10a stellt die Seitenansicht dar. Die Schrotkugeln sind als schwarze Punkte sichtbar.

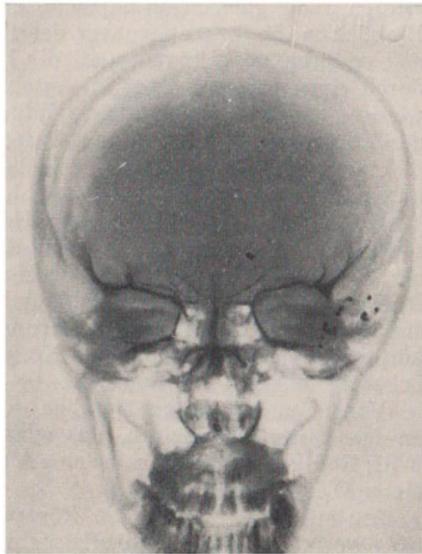


Bild 10b gibt die Vorderansicht. Auch hier sind die Schrotkugeln deutlich zu erkennen

Abbildung 8 zeigt, wie man eine Röntgenaufnahme von einem Stück Metall anfertigt, in dessen Innern sich ein Hohlraum befindet. Das zu durchleuchtende Metallstück mit dem Hohlraum wird in die Bahn der Röntgenstrahlen gebracht. Die Strahlen durchdringen das Metall, fallen auf eine fotografische Platte und belichten sie.

Abbildung 9 stellt die Röntgenaufnahme eines menschlichen Oberkörpers dar. Schon auf den ersten Blick erkennen wir, daß diese Aufnahme ganz anders aussieht als eine normale Fotografie. Auf der Röntgenaufnahme sieht man weniger die Muskeln und die Oberfläche des Körpers, sondern vielmehr die inneren Organe, die Knochen und das Herz. Jede einzelne Rippe ist so klar zu erkennen, als habe man ein Skelett fotografiert. Interessant ist bei dieser Aufnahme, daß sich im Brustkorb ein Fremdkörper befindet, eine eingedrungene Stecknadel.

Die Röntgenaufnahme Abbildung 10a und 10b zeigen einen menschlichen Schädel, der von der Schrotladung eines Jagdgewehres verletzt worden ist. Die Lage der einzelnen Schrotkugeln ist genauestens zu erkennen, sie lassen sich mit Leichtigkeit zählen; und wenn dem Chirurg eine derartige Aufnahme zur Verfügung steht, hat er es mit der operativen Entfernung der Kügelchen natürlich viel leichter als ein anderer, der nur der Richtung der Einschüsse folgen kann.

Wir stellen fest, daß Röntgenaufnahmen mit gewöhnlichen Fotografien wenig gemeinsam haben. Die Röntgenaufnahme vermittelt uns Einblick in die innere Struktur der Körper. Wie wir schon sagten, ist das dadurch zu erklären, daß die Röntgenstrahlen beim Durchtritt durch einen festen Körper in verschieden starkem Maße verschluckt werden, und zwar hängt dieses Maß ab von der Dicke und Festigkeit der Körper und von den Eigenschaften der Röntgenstrahlen selbst. Je dichter und schwerer, aber auch je dicker ein Körper ist, in desto stärkerem Maße werden die Röntgenstrahlen vom ihm verschluckt.

Bei der Durchleuchtung einer Hand werden die Röntgenstrahlen sowohl von Muskeln als auch von Knochen zurückgehalten; da aber die Knochen dichter sind als die Muskeln, halten sie mehr Röntgenstrahlen zurück als die letzteren. Metalle halten Röntgenstrahlen stärker auf als Muskeln oder Knochen. Darum erkennen wir metallische Fremdkörper, die in den menschlichen Körper eingedrungen sind, noch deutlicher als Muskeln und Knochen.

Von allen bekannten Metallen durchdringen die Röntgenstrahlen an leichtesten Aluminium, das zum Bau von Flugzeugen verwandt wird; Röntgenstrahlen können eine Aluminiumschicht von einem halben Meter Dicke durchleuchten.

Am stärksten werden die Röntgenstrahlen von Blei aufgehalten. Eine wenige Millimeter dicke Bleischicht verschluckt die Strahlen fast völlig.

Die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlen, oder, wie man auch sagt, ihre Härte, ist nicht bei allen Strahlen gleich. Die sehr weichen Strahlen, mit denen Röntgen experimentierte, können bereits eine dünne Schicht irgendeines Stoffes nicht mehr durchdringen. Sie sind zu Durchleuchtungszwecken nicht geeignet. Etwas härtere Strahlen durchdringen Haut und Muskeln des Menschen, werden jedoch von den Knochen zurückgehalten. Noch härtere Strahlen endlich durchdringen mit Leichtigkeit Knochen oder sogar eine Aluminiumschicht von beträchtlicher Stärke; sie werden erst von schwereren Metallen, wie Eisen und Stahl, verschluckt. Diese letztgenannten Strahlen sind demnach nicht das geeignete Mittel, um sich einen Einblick in das Innere des menschlichen Körpers zu verschaffen; denn sie dringen ja durch alle seine Teile hindurch, ohne verschluckt zu werden. Derartige Strahlen verwendet man darum vorwiegend zur Durchleuchtung von Schwermetallen.

Was aber macht die „Härte“ der Röntgenstrahlen aus, und wie erhält man Strahlen, die den nötigen Härtegrad aufweisen?

Wir sagten schon, daß sich die Röntgenstrahlen durch ihre Wellenlänge voneinander unterscheiden. Es gibt Strahlen, die eine Wellenlänge von einem hundertmillionstel Zentimeter haben; man kann aber auch Strahlen erzeugen, deren Wellenlänge nur den hundertsten Teil der eben genannten Zahl ausmacht. Ein Versuch zeigt, daß die Härte der Strahlen, d. h. ihre Durchdringungsfähigkeit, zunimmt, wenn sich die Wellenlänge verringert. Wir haben bereits erfahren, daß die Wellenlänge der von einer Röntgenröhre ausgesandten Strahlen von der Spannung abhängt, die man an die Röhre anlegt. Wenn man eine Spannung von nur 10000 bis 15000 Volt an die Röhre legt, erhält man sehr weiche Röntgenstrahlen, die von so geringer Durchdringungskraft sind, daß sie nicht einmal aus der Röhre ins Freie gelangen können, sondern bereits von der Wandung verschluckt werden. Erhöht man die Spannung auf 50000 bis 100000 Volt, so erhält man Strahlen, die sehr gut zur Durchleuchtung des menschlichen Körpers und nicht allzu dicker Schichten Leichtmetall wie Aluminium oder Magnesium geeignet sind, Schwermetall wie Stahl hingegen nicht durchdringen können.

Erhöht man die Spannung weiter, so erzeugt die Röhre Strahlen, mit denen man auch Schwermetalle durchleuchten kann. Moderne Röntgeneinrichtungen sind so gebaut, daß man die Spannung verändern kann, und zwar derart, daß sowohl weiche als auch sehr harte Strahlen erzeugt werden können.

Mit Hilfe besonderer Zusatzgeräte, die von den sowjetischen Wissenschaftlern Terlezki und Wexler erfunden worden sind, ist man heute in der Lage, den Elektronen Geschwindigkeiten zu verleihen, die bis auf ein hundertstel Prozent an die Lichtgeschwindigkeit heranreichen.

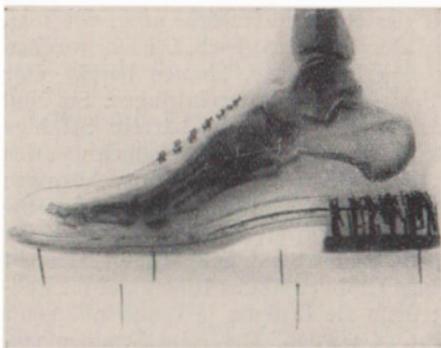


Abbildung 11.
Röntgenaufnahme von einem
Fuß im Schuh

Wenn solche Elektronen auf die Anode auftreffen, erzeugen sie Strahlen, deren Wellenlänge sogar noch geringer ist als die der bereits erwähnten Gamma-Strahlen.

Diese „künstlichen Gamma-Strahlen“ ermöglichen es, Schwermetallschichten von beträchtlicher Dicke zu durchleuchten. Röntgenstrahlen wirken auch auf lebende Organismen ein. Geht man vorsichtig mit ihnen um und wendet sie nur in geringen Dosen an, können sie eine günstige Wirkung ausüben. Unter Umständen richten sie aber auch beträchtlichen Schaden an. Menschen, die in Röntgeninstituten arbeiten und immer mit den Strahlen zu tun haben, sind besonders gefährdet.

Als die Röntgenstrahlen gerade entdeckt waren und man ihre Eigenschaften noch nicht genau kannte, wußten die Wissenschaftler nichts von den Gefahren der geheimnisvollen Strahlen. Allmählich aber fand man, worin die schädigende Wirkung der Strahlen besteht, und traf verschiedene Schutzmaßnahmen.

Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die menschliche Haut ist etwa mit der Wirkung der Sonnenstrahlen zu vergleichen. Bekannt ist der segensreiche Einfluß des Sonnenlichtes auf den menschlichen Organismus: es kräftigt und stählt ihn. Die Sonnenstrahlen wirken aber nicht immer wohltuend. Wenn sich ein Mensch, der vorher noch keine Sonnenbäder genommen hat, längere Zeit der Sonnenstrahlung aussetzt, kann er sich erheblichen Schaden zuziehen. Die noch nicht an das Sonnenlicht gewöhnte weiße Haut reagiert auf die Unvorsichtigkeit mit einem heftigen Sonnenbrand.

Auch die Röntgenstrahlen rufen eine Art Sonnenbrand hervor, wenn sie längere Zeit auf die Haut einwirken. Diese Verbrennung aber unterscheidet sich wesentlich vom gewöhnlichen Sonnenbrand: Sie tritt erst nach zwei Wochen zutage, und zwar als mehr oder weniger starke

Rötung der Haut. Ist die Verbrennung nur leicht, vergeht die Rötung allmählich wieder. Bei ernsthaften Verbrennungen aber bildet sich an der betreffenden Stelle eine schwer heilende Wunde, die ihre Spur für das ganze Leben hinterläßt. Darum müssen sich alle, die in Röntgenlaboratorien arbeiten, vor den Strahlen schützen. Gewöhnliche Kleidung aber bietet keinen Schutz, sie ist für die Röntgenstrahlen, mit denen man meist in Laboratorien arbeitet, überhaupt kein Hindernis, wie man auf Abbildung 11 sieht. Hier haben wir die Röntgenaufnahme von einem Fuß im Schuh vor Augen. Sehr klar erkennt man die kleinen Metallringe, durch die die Schnürsenkel gezogen werden, und auch die Nägel, mit denen der Absatz befestigt ist, zeichnen sich deutlich ab – das Leder aber ist auf der Aufnahme überhaupt nicht zu sehen, als ob es nicht vorhanden wäre.

Den besten Schutz gegen Röntgenstrahlen bietet Blei. Wie schon gesagt, läßt eine Bleiplatte von 2 bis 5 mm Dicke (je nach dem Typ der Röntgenröhre) überhaupt keine Strahlen durch. Darum umgibt man die Röntgenröhre in der Regel mit einer bleiernen Schutzhülle, die nur eine kleine Öffnung zum Austritt des Strahlenbündels hat.

Indessen ist Blei in Form von Metallplatten als Schutzmaterial nicht besonders geeignet. Deshalb stellt man andere Schutzstoffe her: Bleiglas und Bleigummi.

Bleigummi ist gewöhnlicher Gummi, dem Blei beigemischt ist. Zu Schürzen, Armschützern und Helmen verarbeitet, findet es in Röntgenlaboratorien Verwendung.

Wo wendet man Röntgenstrahlen an?

Dank ihrer wunderbaren Eigenschaften finden die Röntgenstrahlen auf den verschiedensten Gebieten von Wissenschaft und Technik Verwendung. Die Medizin benutzt die Erfindung Röntgens, um den menschlichen Körper mit Hilfe der „X-Strahlen“ zu durchleuchten. Jetzt konnten die Ärzte die inneren Organe des Menschen betrachten und etwaige Schäden feststellen, konnten in vielen Fällen einwandfreie Diagnosen stellen und die geeignetste Therapie finden.

Besonders groß ist die Bedeutung der Röntgenstrahlen im Kriege, wenn in den Lazaretten Operationen zur Entfernung von Kugeln und Granatsplintern in großer Zahl vorgenommen und Knochenbrüche behandelt werden müssen.

An Hand von Aufnahmen übersieht der Chirurg sofort das Gesamtbild der Schäden, welche die Verwundung angerichtet hat, ohne auch nur einen Einschnitt machen zu müssen.

Zur Untersuchung von Verwundeten unmittelbar im Kampf wurden die Röntgenstrahlen zum ersten Mal im russisch-japanischen Kriege auf dem Kreuzer „Aurora“ von dem Schiffsoberarzt Krawtschenko angewandt.

Die damals verwandten Röntengeräte waren noch unvollkommen und umständlich zu handhaben. Inzwischen aber hat die Industrie auf diesem Gebiet Bedeutendes geleistet. Heute werden Apparate hergestellt, die der Arbeit unter verschiedensten Bedingungen angepaßt sind. Die Sowjetunion stellt heute in eigenen Betrieben Röntgenröhren, ganze Röntgenapparate und das entsprechende Fotomaterial her.

Die Apparate, die in den Röntgeninstituten verwendet werden, sind groß, schwer und unbeweglich. Darum sind „fliegende Röntgenlaboratorien“ in Eisenbahnwagen eingebaut worden. Das Röntgenzimmer selbst ist in der Wagenmitte untergebracht. Die eine Seite des Wagens beherbergt die Kraftzentrale, die den zum Betrieb der Anlagen nötigen Strom liefert, auf der anderen Seite befindet sich die Dunkelkammer, in der die Röntgenaufnahmen entwickelt werden. Derartige „fliegende Laboratorien“ werden zur Durchleuchtung von Teilen von Eisenbahnbrücken eingesetzt.

Es gibt auch kleine und leichte transportable Röntengeräte, die in zwei nicht allzu großen Koffern Platz finden und von einem Mann getragen werden können. So ein transportables Röntengerät kann überall aufgestellt werden, wo elektrischer Strom zur Verfügung steht.

Wo es keinen elektrischen Strom gibt, werden „fliegende Röntgenlaboratorien“ auf Lastkraftwagen verwendet, die ihren Strom einem mitgeführten Aggregat entnehmen. Solch fahrbare Röntgeneinrichtungen können dicht hinter der vordersten Linie in Feldlazaretten zur Durchleuchtung Verwundeter eingesetzt werden.

Die Röntgenstrahlen werden in der Medizin zur Durchleuchtung und zur Behandlung gewisser Krankheiten, zum Beispiel bösartiger Geschwülste, Flechten usw., angewandt. Besonders große Bedeutung kommt der Röntgenbehandlung von Krebsgeschwülsten zu.

Mit großem Erfolg werden Röntgenstrahlen auch in der Industrie angewandt. Ingenieure und Meister haben jetzt die Möglichkeit, jedes beliebige Einzelteil zu durchleuchten und auf Fehler zu untersuchen, bevor es zur Bearbeitung oder Montage weitergegeben wird. Einzel- und

Abbildung 12. Röntgenbild einer Schweißnaht

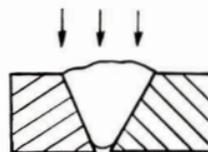


Abbildung 13.
Röntgenaufnahme eines
Elektrongusses; die dunk-
len Stellen sind Luftp-
einschlüsse (sogenannte Lun-
ker), die hellen Stellen
Manganabscheidungen



Abbildung 14.
Röntgenaufnahme von
einem Riß in einer
Schweißnaht



Maschinenteile, die Blasen im Metall aufweisen, können rechtzeitig verschrottet werden. So sind Röntgenstrahlen auch für die Qualitätsverbesserung von Bedeutung.

Abbildung 12 zeigt die Röntgenaufnahme einer elektrisch geschweißten Schweißnaht. Im vorliegenden Beispiel ist die Schweißung nicht bis zur Wurzel durchgeführt. Auf Abbildung 13 sehen wir die Aufnahme von Elektron-Metallguß. Die dunklen Stellen sind Lunke (Hohlräume), die hellen Stellen sind Abscheidungen von Materialbeimengungen. Da der Guß durchweg sehr ungleich war, erwies es sich als vorteilhaft, ihn ganz zu durchleuchten und nur die Partien zu verwenden, die fest genug waren.

Besonders wichtig ist die Durchleuchtung von Flugzeugteilen. Die kleinste schadhafte Stelle, der scheinbar unbedeutendste Materialfehler am Flugzeug kann die Ursache dafür sein, daß die Maschine abstürzt und Pilot und Passagiere ums Leben kommen. Darum ist es üblich, einzelne Teile des Flugzeugs vollständig zu durchleuchten.

Röntgenaufnahmen werden aber nicht nur von kleinen Einzelteilen, sondern auch von großen Maschinenteilen und ganzen Maschinen gemacht. Sehr wichtig ist zum Beispiel die Durchleuchtung von Dampfkesseln. Dampfkessel werden gewöhnlich aus einzelnen Stahlplatten hergestellt, die aneinander geschweißt werden. Zur Betriebssicherheit ist es notwendig, daß die Schweißnaht überall fest ist. Weist die Schweißnaht irgendwo Risse oder Blasen auf, kann es vorkommen, daß später beim Betrieb der Dampfdruck den Kessel sprengt, wodurch großer Schaden angerichtet wird. Darum durchleuchtet man die geschweißten

Kessel Zentimeter für Zentimeter mit Röntgenstrahlen. Abbildung 14 zeigt die Röntgenaufnahme einer Schweißnaht. Der dunkle Streifen in der Mitte deutet auf einen Riß im Innern der Naht.

Auf Schiffswerften finden Röntgenapparate ebenfalls Verwendung. So können schadhafte Stellen in den Wanten eines Schiffes mit Röntgenstrahlen untersucht werden. Auch in diesem Fall gibt die Röntgenaufnahme Aufschluß über die Qualität der Schweißnaht, die die einzelnen Metallplatten der Außenwand miteinander verbindet.

Bis jetzt sahen wir nur, wie Röntgenstrahlen in der Technik zur Durchleuchtung normalerweise undurchsichtiger Körper verwandt werden. Dank dieser Eigenschaft der Strahlen kann man etwaige im Innern der Körper verborgene Defekte sichtbar machen. Die fehlerhaften Stellen müssen aber schon beträchtlich groß sein, damit man mit bloßem Auge ihren Schatten auf dem Schirm erkennen kann. Außerdem besitzen die Röntgenstrahlen aber Eigenschaften, die es uns gestatten, kleinste Einzelheiten in der Struktur der Stoffe zu sehen, die auch das stärkste Mikroskop nicht sichtbar machen kann. Das Studium der Struktur der Stoffe verhilft dem Wissenschaftler zum besseren Verständnis dessen, wovon die Eigenschaften dieser Stoffe abhängen: Dichte, Festigkeit, Glanz usw. Wenn man das weiß, kann man die Eigenschaften der Stoffe nach Wunsch verändern und neue, noch vollkommene herstellen.

Die Anwendung von Röntgenstrahlen zur Sichtbarmachung der inneren Struktur der Stoffe in unserer Umwelt nennt man die röntgenologische Strukturanalyse. Die Strukturanalyse mit Hilfe der Röntgenstrahlen bestätigte die Annahme der Gelehrten, nach der alle Stoffe aus kleinsten Teilchen – den Atomen und Molekülen – aufgebaut sind. Die Atome und Moleküle aber sind so klein, daß ein fester Körper sogar unter dem stärksten Mikroskop als ein einheitliches Ganzes erscheint, obgleich er in Wirklichkeit aus lauter kleinen Teilen zusammengesetzt ist.

Das Studium der Gesetze, nach denen die Röntgenstrahlen die verschiedenen Stoffe durchdringen, erlaubt den Wissenschaftlern festzustellen, in welcher Ordnung die Atome im Innern der Stoffe gelagert sind. Mit Hilfe von Röntgenaufnahmen lassen sich Atome erkennen, als sähe man sie in über 1000000000facher Vergrößerung.

Die röntgenologische Strukturanalyse zeigte, daß die einzelnen Körper verschieden aufgebaut sind und daß die Eigenschaften eines Stoffes von seiner Struktur abhängen. So kennen wir zum Beispiel zwei verschiedene Stoffe – Diamant und Graphit. Die chemische Analyse zeigt, daß sie beide aus demselben Element bestehen: aus Kohlenstoff. In ihrem Aussehen und in ihren Eigenschaften aber sind sie so verschieden voneinander, daß schwer etwas Gemeinsames zu finden ist. Der Diamant ist der härteste Stoff, den wir kennen. Er wird zum Schneiden

von Glas und zur Bearbeitung verschiedener Metalle verwandt. Graphit dagegen, sein leiblicher Bruder, ist weich und läßt sich mit Leichtigkeit zwischen den Fingerspitzen zerreiben. Er schmiert und hinterläßt eine schwarze Spur. Man stellt Bleistiftminen daraus her. Der Diamant ist durchsichtig wie Glas, Graphit dagegen schwarz und undurchsichtig.

Woher kommt dieser Unterschied? Daher, daß die Atome verschiedenen gelagert sind. Auf Abbildung 15a sehen wir die Anordnung der Atome im Diamanten, auf Abbildung 15b im Graphit. Durch die verschiedene Anordnung der Atome im Diamanten und im Graphit lassen sich auch die unterschiedlichen Eigenschaften beider Stoffe erklären. Es ließen sich noch viele andere Beispiele anführen.

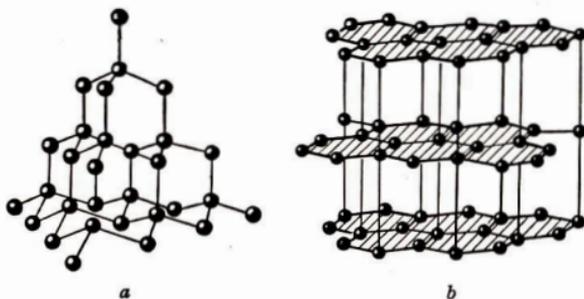
In einer ganzen Reihe von Fällen läßt sich auch mit Hilfe der röntgenologischen Strukturanalyse kontrollieren, ob der Herstellungsprozeß verschiedener Gegenstände aus Metallen und Legierungen in der richtigen Weise vor sich geht. Man kann auch nachträglich feststellen, welchen mechanischen oder thermischen Bearbeitungsprozeß ein bestimmter Metallgegenstand durchgemacht hat: Wurde er kalt oder warm geschmiedet, und wie lange ließ man ihn nach dem Schmieden auskühlen?

Abbildung 16a zeigt beispielsweise als Feinstrukturaufnahme eine Rekristallisation, die entstanden ist durch den Glühprozeß an einem metallischen Körper. Der Fachmann erkennt an den auf den Kreisen liegenden vereinzelt Punkten, daß sich Kristallite neu gebildet haben und in gewissen Richtungen gewachsen sind. Desgleichen zeigt Abbildung 16b ein durchstrahltes Blech, das dem Kenner unerwünschte Spannungen anzeigt. All dies läßt sich im Röntgenbild erkennen und somit erlaubt die Röntgenaufnahme, rechtzeitig in den Fertigungsprozeß einzugreifen und den Herstellungsprozeß entsprechend anzufassen.

Schließlich können wir mit Hilfe der Röntgen-Spektralanalyse, durch die spektrale Zerlegung der durch irgendeinen Stoff fallenden Röntgen-

Abbildung 15a. Anordnung der Atome in Diamanten

Abbildung 15b. Anordnung der Atome im Graphit



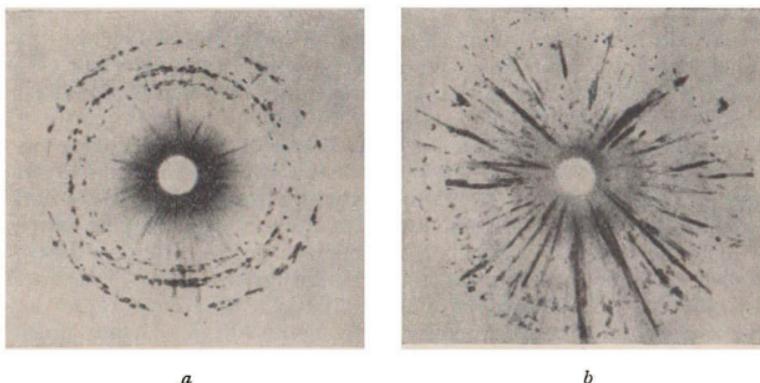


Abbildung 16 a und b. Röntgenogramm eines warm und eines kalt bearbeiteten Metalls

strahlen (ähnlich etwa der spektralen Zerlegung des sichtbaren Lichts durch ein Prisma – nur mit anderen Mitteln), Aufschluß über die chemische Zusammensetzung des betreffenden Stoffes erhalten, d. h. feststellen, aus welcher Sorte von Atomen er besteht. Eine chemische Analyse mit Hilfe von Röntgenstrahlen ist einfacher und schneller durchzuführen als eine gewöhnliche chemische Analyse. Die Entdeckung der Röntgenstrahlen ist eine wissenschaftliche Großtat. Die Röntgenstrahlen sind aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Ärzte bedienen sich ihrer ebenso wie Techniker.

Der Fortschritt auf vielen Gebieten der Wissenschaft und Technik ist zum großen Teil der Anwendung der Röntgenstrahlen zu verdanken. Darum bemühen sich auch die sowjetischen Wissenschaftler um eine noch breitere Anwendung dieser wunderbaren Strahlen zur Förderung der Wissenschaft, zur Stärkung des Sowjetlandes und zur Hebung seiner Kultur.

In unserem Verlag, dem Verlag der jungen Generation, wird für unsere jungen Leser die „Kleine populärwissenschaftliche Bibliothek“ in den Reihen Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaftswissenschaft herausgegeben.

Alle Jugendlichen werden im Rahmen der Schriftenreihen die Möglichkeit haben, sich durch das Studium dieser allgemeinverständlichen Werke zu bilden oder das bereits angeeignete Wissen zu vertiefen.

Es erscheinen demnächst:

Naturwissenschaft

A. Beljakow	Elektrizität rings um uns
W. I. Gaponow	Elektronen
W. W. Fedynski	Himmelssteine, Meteorite und Meteore
Kunitzki	Tag und Nacht und die Jahreszeiten
M. Subbotin	Die Entstehung und das Alter der Erde
Schewljakow	Gab es einen Anfang der Welt und wird es ein Ende geben
Woronzow-Weljaminow	Der Aufbau des Weltalls
Aristow	Die Sonne
Michailow	Sonnen- und Mondfinsternisse

Technik

K. A. Gladkow	Fernsehen
A. W. Mesenzew	Das elektrische Auge
Gorelik-Lewin	Funkortung

Zum Preis von 0,80 bis 1,- DM durch jede Buchhandlung zu beziehen
Die Reihen werden fortgesetzt



VERLAG NEUES LEBEN BERLIN W8

Der Verlag der jungen Generation

Preis 0,80 DM