



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT

EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationale Klassifikation: G 06 g 1/10

Gesuchsnummer: 16595/69
Anmeldungsdatum: 7. November 1969, 17¹/₂ Uhr
Priorität: Grossbritannien,
8. November 1968 (53097/68)

Patent erteilt: 30. Juni 1972
Patentschrift veröffentlicht: 15. August 1972

M

HAUPTPATENT

Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM), Bruxelles (Belgien)

Rechenscheiben zur Lösung von Strahlungsproblemen

Giancarlo Gaggero, Besozzo, Carla Mongini-Tamagnini, Angera (Varese, Italien), und Antoine Settipani, Bagnex (Frankreich), sind als Erfinder genannt worden

1

Die Erfindung betrifft eine Rechenscheibe zur Lösung von Strahlungsproblemen, wobei die Parameter sind: Quellenstärke I, Bestrahlungszeit T, Schilddicke L, Abstand K Quelle-bestrahltes Objekt, und die Strahlungs-dosis X auf der Zielstelle.

Bei den Aufgaben in Verbindung mit dem Durchgang elektromagnetischer Strahlung, z. B. Gammagraphie, Radiographie, Gammastrahlenschutz oder dgl. wird häufig eine geometrische Anordnung der folgenden Art angetroffen: Die Strahlung wird von einer Punktquelle ausgesendet, sie dringt ein homogenes plattenförmiges Schild durch, das von verschiedener Dicke sein kann, und dem ein Filter einer bestimmten Dicke vor- oder nachgeschaltet wird, und dann wirkt die Strahlung auf einen Target, z. B. einen Film, ein Gewebe oder einen Detektor.

Der Stand der Technik auf dem Gebiet von Rechenschiebern, die für die beschriebene geometrische Anordnung die Bestimmung der interessierenden Grössen ermöglichen, wird durch die folgenden Druckschriften angegeben.

Der Rechenschieber nach der britischen Patentschrift UK 859 063 ist auf Gammastrahlenschutz-Aufgaben beschränkt, und demzufolge wird statt des Parameters «Dosis» nur die Dosisleistung berücksichtigt. Sowohl in den gestreckten Formen als Rechenstäbe als auch in den Formen als Rechenscheiben besteht der Rechenschieber aus nur zwei beweglichen Teilen, da die Parameter Bestrahlungszeit T und Auswirkung X auf das Target nicht berücksichtigt werden. Das Wissen zur Bestimmung der Schwächungskurven, die zur tatsächlichen Herstellung des Rechenschiebers benötigt werden, wird in der Patentschrift nicht offenbart.

Der Rechenschieber nach den französischen Patentschriften 1 244 823 und 76 103 ist auf Strahlenschutz-, insbesondere auf Gammastrahlenschutz-Aufgaben beschränkt. Die Dosisleistung wird in Beziehung gesetzt zu den Parametern Quellstärke I, Schilddicke L, Abstand

2

Quelle—Ziel K und Quellenenergie E. Daraus wird deutlich, dass die praktische Anwendung des Rechenschiebers auf monokinetische Strahlungsquellen beschränkt ist. Abgesehen davon, dass der Rechenschieber auf der Darstellung einer Kurvenfamilie aufbaut, erscheint das Einsetzen verschiedener Stoffe auf dem gleichen Rechenschieber als undurchführbar, es sei denn durch die Verwendung näherungsweise Beziehungen für eine äquivalente Dicke. Schliesslich wird weder ein Verfahren zur Bestimmung der auftretenden Beziehungen noch zum automatischen Entwurf des Rechenschiebers angegeben.

Der Rechenschieber nach der Patentschrift US 1 609 972 dient ausschliesslich dazu, dem Arzt bei der Behandlung des erkrankten Gewebes mittels radioaktiver Stoffe zu helfen und die Strahlungsintensität innerhalb des Gewebes schnell zu berechnen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Rechenschieber für das genannte Anwendungsgebiet zu entwickeln, der die Nachteile der bekannten Rechenschieber vermeidet und insbesondere durch Berücksichtigung der entscheidenden Grössen möglichst genaue Ergebnisse liefert, dabei jedoch möglichst allgemein verwendbar und nach einem leicht reproduzierbaren Verfahren herstellbar ist.

Erfindungsgemäss zeichnet sich die Rechenscheibe dadurch aus, dass sie eine untere, eine zwischenliegende und eine obere Scheibe aufweist, dass die Scheiben unterschiedliche Durchmesser aufweisen und übereinander drehbar angeordnet sind, dass die untere Scheibe eine logarithmische Skala trägt, welche sich in der Nähe der zwischenliegenden Scheibe einer kreisförmigen Linie entlang von einem Anfangspunkt über einen Winkel von 360° erstreckt und welche die Strahlungs-dosis X mit 10⁻⁶ Röntgen beginnend und mit 10⁶ Röntgen endend darstellt, dass die untere Scheibe ausserdem noch auf ihrem Umfang eine logarithmische Schwärzungsskala trägt, deren Bogenlänge 48° beträgt und die sich be-

zogen auf den genannten Anfangspunkt zwischen 155° und 203° erstreckt, dass die zwischenliegende Scheibe ihrem Umfang entlang und von einem Anfangspunkt ausgehend eine bezüglich der logarithmischen Skala der unteren Scheibe im entgegengesetzten Sinn verlaufende logarithmische Skala sowie eine lineare Skala trägt, die in entgegengesetzter Richtung in bezug auf die logarithmische Skala der zwischenliegenden Scheibe verläuft, wobei die lineare Skala die Dicke L des Schildes über einen Winkel von 165° mit der maximalen Dicke beginnend mit Nulldicke endend im Gegenuhrzeigersinn darstellt, und die logarithmische Skala den Abstand K Quelle-Objekt über einen Winkel von 120° mit 10³cm beginnend und mit 10⁴cm endend im Uhrzeigersinn darstellt, und dass die obere Scheibe zwei, einer kreisförmigen Linie entlang und in einander entgegengesetzten Richtungen von einem Anfangspunkt ausgehende logarithmische Skalen trägt, von welchen die erste Skala die Bestrahlungszeit T über einen Winkel von 120° im Gegenuhrzeigersinn aufgetragen und mit 10⁻¹ Stunde beginnend und mit 10⁴ Stunden endend darstellt und dass die andere Skala die Quellenstärke I über einen Winkel von 150° im Uhrzeigersinn aufgetragen und mit 10⁻¹ Curie beginnend und mit 10⁵ Curie endend darstellt.

Eine der fünf Grössen I, T, K, L, Y (Y = R oder Y = X) kann als Funktion der übrigen vier, von Gleichungen (1) und (2) ausgehend, bestimmt werden, wo die Gleichungen (1) und (2)

5

$$R(I, T, K, L) = I \cdot T \cdot K^{-2} \cdot F(L) \quad (1)$$

$$X = G(R) \quad (2)$$

sind und F(L), d. h. die Dosis für Einheitswerte der Parameter I, T und K hängt vom Energiespektrum der Strahlungsquelle und von der Stoffanordnung des Filters relativ zum Schild ab. G(R) hängt davon ab, wie das Target auf die Bestrahlung reagiert. Es wird angenommen, dass die Funktion G(R) für jeden besonderen Anwendungsfall bekannt sei. Die Funktion F(L) kann direkt experimentell bestimmt oder theoretisch ermittelt werden.

Die Erfindung wird im folgenden ausführlich auch anhand von Zeichnungen beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 bis 5 ein FORTRAN-Programm zur Berechnung der Funktion F(L) und der Winkelzuordnung der Massstäbe;

Fig. 6 eine Rechenscheibe für eine Co⁶⁰-Quelle;

Fig. 7 eine Rechenscheibe für eine Ir¹⁹²-Quelle.

Die theoretische Bestimmung von F(L) geht von folgender Beziehung aus:

$$F(L) = f \cdot \int_0^{\infty} y(E) \cdot B(E, L) \cdot e^{-\mu(E) \cdot L} \cdot e^{-\sum_j \mu_j(E) \cdot s_j} \cdot dE \quad (3)$$

Darin bedeuten:

E = Energie

y(E) = Strahlungsausbeute für die tatsächliche Strahlungsquelle

(E) = Absorptionskoeffizient

f = Normalisierungsfaktor

B(E, L) = Dosiszuwachs faktor für die tatsächliche geometrische Anordnung

j = Index der Filter

s = Filterdicke

Falls das Quellspektrum aus monochromatischen Linien gebildet wird, wird das Integral in Gleichung (3) durch eine Summation ersetzt.

Die oben definierten Dosiszuwachsfaktoren B(E, L) werden durch doppelte Interpolation hoher Ordnung auf eine Matrix B*(E_n, L_m) gewonnen, deren Elemente die Ergebnisse genauer, weiter unten ausführlich be-

schriebener, theoretischer Berechnungen sind.

Es ist offenbar, dass für eine gegebene geometrische Anordnung und Stoffzusammensetzung der gleiche vorberechnete Satz B*(E_n, L_m) zur Ermittlung von F(L) für viele verschiedene Strahlungsquellen, z. B. Co⁶⁰, Ir¹⁹² und Röntgen-Spektren, verwendet werden kann.

Die theoretische Bestimmung von F(L) weist zwei Hauptvorteile gegenüber der experimentellen Bestimmung auf:

a) eine grössere Zuverlässigkeit der Ergebnisse — dieser Punkt wird ausführlicher weiter unten behandelt werden,

b) die fehlende Notwendigkeit, die gesamten Rechnungen zu wiederholen, um verschiedene Arten von Strahlungsquellen für eine gegebene Anordnung zu behandeln.

Durch Logarithmieren der Gleichung (1) ergibt sich:

$$\text{Log } R = \text{Log } I + \text{Log } T - 2 \text{Log } K + \text{Log } F(L) \quad (4)$$

Hier wird deutlich, dass die Parameter R, I, T, K, L in einer für einen Rechenschieber geeigneten Form angeordnet werden können.

Um ein automatisches Entwerfen der Rechenscheibe zu ermöglichen, ist ein FORTRAN-Rechnerprogramm entwickelt worden, das ausgehend von vorberechneten Werten für Zuwachsfaktoren, Absorptionskoeffizienten, Quellspektrum, Dicke der Filter, Normalisierungsfaktor, Bereich der Variablen I, T, K und L, Funktion G(R) und Massstabsangaben nach Gleichung (3) F(L) ermittelt und die wahren Winkel der verschiedenen Massstäbe nach den Gleichungen (4) und (2) als Ergebnis liefert.

Was den Massstab für die Variable L betrifft, so hängt dessen Form von der Art der Quelle und der stofflichen Zusammensetzung ab, und es kann eine be-

liebige Anzahl von L-Massstäben hergestellt und in die Rechenscheibe eingesetzt werden. In gleicher Weise kann eine beliebige Anzahl von X-Massstäben in die Rechenscheibe eingesetzt werden.

Das beschriebene automatische Verfahren ist Teil der Erfindung, und eine Aufstellung des Programms ist in den Fig. 1 bis 5 wiedergegeben.

Der tatsächliche Bau der Rechenscheibe kann vorgenommen werden, indem von Zeichnungen ausgegangen wird, die vollständig mittels eines FORTRAN-Programms

«ACCESS — A PROGRAM FOR THE CALCOP DATA PLOTTING OF CIRCULAR CALCULATORS», H. I. De Wolde, EURATOM Report Ex2965/A (Ref. I)

das den Calcomp-Data-Plotter verwendet, hergestellt werden. Eingabewerte für dieses Programm sind die bereits vorher berechneten Winkel, die Abmessungen und die relativen Stellungen der verschiedenen Massstäbe.

Im folgenden wird die grössere Zuverlässigkeit der theoretischen Berechnung gegenüber dem experimentellen Verfahren behandelt.

Die fortschrittlichen Rechentechniken und die jetzt zur Verfügung stehenden schnellen Rechenanlagen ermöglichen die theoretische Bestimmung zuverlässiger Dosiswerte. Ausserdem können die Rechenfehler mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Die Vorteile des theoretischen Verfahrens werden besonders hervorstrichen, wenn beträchtliche Strahlungsdiffusion stattfindet, d. h. bei hohen Werten der Schilddicke. In diesem Fall erfordert die experimentelle Bestimmung der Dosis die Verwendung von Detektoren, die von Blei umgeben sind, um an der Wand gestreute Strahlung abzuschneiden. Die Gegenwart von Blei erzeugt einen Verstärkungseffekt, der die Messungen verzerrt. Ferner werden die Experimente in gewisser Weise durch die Gestalt des Dosimeters beeinflusst. Die Verwendung theoretischer Modelle ermöglicht die Beseitigung der verstärkenden und kollimierenden Effekte.

Für die Berechnung der Dosiszuwachs-faktoren können eindimensionale Modelle (ebenso Geometrie oder Kugelgeometrie) verwendet werden: Die Ergebnisse werden dann mittels bekannter Formalismen auf die tatsächliche Punkt-Ebene-Geometrie übertragen.

Um die Zuverlässigkeit der errechneten Ergebnisse nachzuweisen, wurde eine Reihe von Testaufgaben formuliert, und drei Rechnerprogramme, die auf verschiedenen theoretischen, zur Lösung der Strahlungs-Transportgleichung geeigneten Verfahren aufbauen, wurden tatsächlich benutzt. Die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse stimmten ausreichend gut in dem untersuchten Bereich der beteiligten Parameter überein.

Eine systematische Fehlerquelle bei der oben beschriebenen Berechnung könnte sich aus der Auswahl einer Wirkungsquerschnitt-Bibliothek ergeben. Um die Auswirkung eines solchen Fehlers auf die berechnete Dosis zu beseitigen, wurden einige der Rechnungen zweifach ausgeführt, wobei der bekannte Fehler des Absorptions-Wirkungsquerschnittes addiert und subtrahiert wurde. Es ergab sich, dass die Ergebnisse um weniger als 2 bis 3 % voneinander abwichen.

Die berücksichtigten Programme sind:

DTF-4, aufbauend auf der Carlsonschen S_n -Methode;

«DTF-4, A FORTRAN-IV PROGRAM FOR SOLVING THE MULTIGROUP TRANSPORT EQUATION WITH ANISOTROPIC SCATTERING», K. D. Lathrop, Los Alamos — 1965 (Ref. II)

BIGGI-4, aufbauend auf einer direkten numerischen Lösung der integralen Transportgleichung;

«USERS'S MANUAL FOR THE GAMMA TRANSPORT CODES BIGGI 3P AND BIGGI 4T», H. Penkuhn, EUR 3555e — 1967 (Ref. III)

SALOMON, aufbauend auf der Monte-Carlo-Technik;

«ON THE TRANSFORMATION OF THE TRANSPORT EQUATION FOR SOLVING DEEP PENETRATION PROBLEMS BY THE MONTE CARLO METHOD», K. Leimdörfer, Transactions of Chalmers University of Technology n. 286 — 1964 (Ref. IV)

Alle genannten Programme können keine Strahlungsenergien niedriger als die Schwellenenergie behandeln, unterhalb der Fluoreszenzeffekte eine Rolle spielen, z. B. unterhalb von 0,1 MeV bei Blei.

Als Schlussfolgerung können die wichtigsten Merkmale der Erfindung in folgender Weise zusammengefasst werden:

a) Die Erfindung erfasst jegliche Art von Strahlungsproblemen (Strahlen- und Gammashutz, Radiographie und Gammagraphie), für die die beschriebene geometrische Anordnung und die Gleichungen (1) oder (1) (2) zutreffen;

b) Zur Erfindung gehört die theoretische Bestimmung von $F(L)$ auf Grund von Gleichung (3), was zu den Vorteilen hoher Zuverlässigkeit der Ergebnisse und grosser Anpassungsfähigkeit bei der Behandlung verschiedener Arten von Strahlungsquellen führt;

c) Zur Erfindung gehört ein automatisches Verfahren, mit dem die tatsächlichen Zeichnungen der zu bauenden Rechenscheibe gewonnen werden, wobei von bekannten Dosiszuwachs-faktoren und gegebenen Aufgabenspezifikationen ausgegangen wird;

d) Die vorgeschlagene Rechenscheibe weist hohe Genauigkeit auf und hat dabei geringe Gesamtabmessungen, wenn es sich um eine Quelle, einen Schirmstoff und eine Art der Auswirkung auf das Target handelt. Es ist selbstverständlich, dass eine Vergrösserung der Abmessungen der Rechenscheibe oder eine Verminderung der Genauigkeit es ermöglicht, Massstäbe für viele Quellen, Stoffe und Auswirkungen auf das Target zur Verfügung zu stellen.

Ein Anwendungsfall, der besonders geeignet ist, die Erfindung zu erläutern, wird im folgenden beschrieben. Die Erfinder beabsichtigen nicht nur diesen Anwendungsfall, in irgendeiner Weise, die Allgemeingültigkeit der Erfindung zu beschränken.

Der Anwendungsfall betrifft die Bestimmung der Bestrahlungszeit bei Gammagraphie zur zerstörungsfreien Überprüfung von Betongebäuden, d. h. zur Bestimmung der Verteilung von Stäben in verstärkter Betonstruktur und zum Auffinden von Inhomogenitäten in Betonbauwerken.

Die Gammagraphie-Technik kann ausführlicher schematisch folgendermassen dargestellt werden. Die von einer Punktquelle erzeugten Gammastrahlen diffundieren z. B. von links durch den Beton. Auf der äussersten rechten Seite weist ein Film Gammastrahlen auf Grund der Wirkung ihrer Sekundärelektronen nach. Ein geladenes Teilchen, z. B. ein Elektron, das durch ein Korn Silberbromid in einer photographischen Emulsion hindurchgeht, verursacht nämlich im allgemeinen Veränderungen, die zur Umwandlung des Kornes in atomares Silber führen, wenn der Film entwickelt wird. Derartige entwickelte Körner bewirken eine Schwärzung der Emulsion.

Eines der zentralen, mit der praktischen Gammagraphie verbundenen Probleme ist die genaue und schnelle Bestimmung der Bestrahlungszeit, die benötigt wird, um Bilder guter Qualität zu erhalten. Die Bestrahlungszeit ist zu bestimmen für Bestrahlungsbedingungen

wie die folgenden: 1) Art der Quelle, 2) Quellstärke, 3) Abstand Quelle—Film, 4) Schilddicke, 5) Dicke und Art des Filters, 6) Art des Filmes und des Filmbehälters, Entwicklungsbedingungen, 7) Filmschwärzung.

Der Bedarf nach einem Rechenhilfsmittel zur Bestimmung der Bestrahlungszeit als Funktion anderer Parameter war von Beginn der praktischen Gamma-graphie an spürbar.

In den Literaturstellen

«NOMOGRAMS FOR DETERMINING THE TIME OF IRRADIATION IN PENETRATING THROUGH CONCRETE BY MEANS OF THE RADIOACTIVE ISOTOPES Co^{60} , Cs^{137} , Ir^{192} », Hönig, Leipzig (1960) p. 40—41 (Ref. V)

«RADIOGRAFICZMA KONTROLA ZBROJENA W ZELBECIE INZYNIERIA I BUDOWNICTOWO», L. Brunarski, No 8—9 Warszawa Sierpen WRZESIEN (1965) p. 256—261 (Ref. VI)

«PAPERS ON RADIOGRAPHY», Kahn, Inbembo, Bland (Ref. VII)

werden Nomogramme oder Rechenscheiben — dies alles auf experimentellen Messungen basierend — zur Lösung des Problems vorgeschlagen. Sie unterscheiden sich voneinander besonders in der Art, wie sie zwei der angesprochenen Parameter behandeln; nämlich a) die Art des Filmes — einschliesslich von Verstärkungsschirmen — und die Entwicklungsbedingungen, b) die Art der Quelle. Es muss festgestellt werden, dass solche Parameter nicht kontinuierlich veränderliche Parameter sind, dass sie daher einigermaßen schwer zu erfassen sind.

In bezug auf das Filter lässt sich feststellen, dass dessen Art und Dicke im allgemeinen standardisiert ist, da es nur zum Unterdrücken von Gammastrahlen unterhalb einer bestimmten Energieschwelle verwendet wird ($\approx 0,18$ MeV).

Das Problem der Art der Quelle ist bei den oben genannten Literaturstellen durch Beseitigung dieses Parameters gelöst worden, d. h. indem nur Nomogramme oder Rechenscheiben für eine gegebene Quellenart betrachtet wurden. Im einzelnen werden in der Literaturstelle (V) Nomogramme für Co^{60} -, Ir^{192} -, und Cs^{137} -Quellen wiedergegeben, während in den Literaturstellen (VI) und (VII) Co^{60} - bzw. Radium-Quellen behandelt werden.

Bei der Art des Filmes — die Entwicklungsbedingungen werden als standardisiert angesehen — stehen verschiedene Wahlmöglichkeiten offen, und demzufolge ist das Problem, eine derartige Information wie einen kontinuierlich variablen Parameter zu behandeln, sehr schwierig.

In der Literaturstelle (V) besteht die gewählte Lösung in der Beseitigung des Parameters, da jedes der betrachteten Nomogramme nur für eine bestimmte Filmart gültig ist. Diese Tatsache kann immer dann ernsthaft die Verwendung der Nomogramme verhindern, wenn die Filmart von der dort betrachteten abweicht. Es ist festzustellen, dass eine derartige Situation häufig auftreten kann, da die in den Nomogrammen behandelten Filme besonderer Art und schwer zu finden sind. Eine weitere Einschränkung stellt die Tatsache dar, dass die Filmschwärzung in den Nomogrammen nicht als Parameter erscheint, sondern ein konstanter Wert im Bereich 1,5 bis 1,75 angenommen wird.

Der Verfasser der Literaturstelle (VI) schlägt eine Rechenscheibe vor, bei der die unterschiedliche Filmart in kontinuierlich veränderlicher Form durch die Einführung des Parameters «Filmempfindlichkeit» berücksichtigt wird. Diese wird definiert als Kehrwert der Bestrahlungsdosis in Röntgen, die zur Erzeugung einer festliegenden Schwärzungsdichte, im allgemeinen ungefähr Eins notwendig ist. Es muss jedoch festgestellt werden, dass die Proportionalität zwischen Filmart und Filmempfindlichkeit nur in der Nähe einer Schwärzung von ungefähr Eins besteht. Die Rechenscheibe kann immer dann nicht erfolgreich angewendet werden, wenn weit von Eins entfernte Schwärzungsdichten interessieren.

In der Literaturstelle (VII) wird eine Rechenscheibe beschrieben, die ursprünglich für die Gamma-graphie von Stahl entwickelt wurde, aber Korrekturfaktoren zur Behandlung eines Falles mit anderen Stoffen als Stahl enthält. Bei dieser Rechenscheibe wird ebenfalls die Filmempfindlichkeit als die Filmart wiedergebend angesehen.

Vorstehend wurde die Herstellung einer von der Filmart unabhängigen Rechenscheibe vorgeschlagen, was einfach durch Einführung eines neuen Parameters, nämlich der «Dosis» in Röntgen an der Eintrittsfläche des Filmbehälters, erreicht wird.

Das Problem beschränkt sich nun darauf — wie bereits beschrieben — bei festliegender Quelle und festliegendem Film die folgenden Parameter zueinander in Beziehung zu setzen: 1) Quellstärke, 2) Abstand Quelle / Film, 3) Schilddicke, 4) Bestrahlungszeit, 5) Dosis in Röntgen.

Die Beziehung zwischen Dosis und Schwärzung hängt ausschliesslich von der Filmart ab; immer wenn die Gammaenergie grösser als ungefähr 0,18 MeV ist, beeinflussen nämlich spektrale Veränderungen bei einer festliegenden Dosis nicht die Schwärzung, da die photoelektrischen Wechselwirkungen im Silber keine Rolle spielen (siehe Ref. VIII, IX).

«RADIATION DOSIMETRY», G. N. White, J. Wiley & Sons (Ref. VIII)

«PHOTOGRAPHIC DOSIMETRY OF X AND GAMMA-RAYS», M. Ehrlich, N.B.S. Handbook 57 (Ref. IX)

Die experimentelle Bestimmung der Kurve Dosis — Schwärzung erfordert nur wenige experimentelle «Punkte», von denen jeder dem Mass der Schwärzung bei gegebener Dosis entspricht.

Die Einführung des Dosis-Parameters ermöglicht es, dass die erfindungsgemässe Rechenscheibe tatsächlich unabhängig vom Film ist, und nur die experimentelle Bestimmung der Kurve Dosis—Schwärzung ist für jeden neu in Betracht gezogenen Film notwendig.

Ausserdem erhöht die Verwendung des vorgeschlagenen theoretischen Modells zur Bestimmung der Dosis — wie bereits ausgeführt wurde — die Zuverlässigkeit der Ergebnisse wesentlich.

Als Beispiel einer erfindungsgemässen Rechenscheibe zur Bestimmung der Bestrahlungszeit bei Aufgaben der Gamma-graphie wird eine spezielle Ausführungsform der Rechenscheibe erläutert. Das Beispiel betrifft einen Betonschirm mit einer mittleren Dichte von $2,30$ g/cm³, dem ein $0,2$ cm dickes Bleifilter folgt.

Zwei Strahlungsquellen werden betrachtet, nämlich Co^{60} und Ir^{192} . Der Film ist ein Kodak Definix mit zwei verstärkenden Bleischirmen von 0,2 mm Dicke.

Es werden zuerst die Dosiszuwachs-faktoren berechnet, dann wird das Rechnerprogramm, das die Winkel für die verschiedenen Massstäbe festlegen kann, eingesetzt. Schliesslich werden die Zeichnungen für den tatsächlichen Aufbau der Rechenscheibe mittels des Cal-comp Data Plotters erhalten, die in den Fig. 6 und 7 wiedergegeben sind.

Aus den Zeichnungen wird deutlich, dass die auf der Rechenscheibe wiedergegebenen Massstabpaare von innen nach aussen die Paare (I, T), (L, K) und (R, Schwärzung) sind. Ein Pfeil auf der äusseren Scheibe zeigt den tatsächlichen Anfang des Dosismassstabes. Bei einem bestimmten Ausführungsbeispiel war der Aussen-durchmesser der Rechenscheibe 14 cm.

Das folgende, ausgewählte Beispiel zeigt, in welcher Weise die unter Bezugnahme auf Fig. 6 beschriebene Rechenscheibe anwendbar ist.

Um die Bestrahlungszeit, die zur Erzeugung einer Filmschwärzung 1,5 mit einer Co^{60} -Quelle der Stärke 100 Curie bei einem Betonschild von 50 cm Dicke und einem Abstand Quelle—Film von 90 cm notwendig ist, zu ermitteln, wird

- a) der Abstand Quelle—Film (90 cm) auf den Bezugspfeil eingestellt,
- b) die Quellstärke (100 Curie) auf die Betondicke (50 cm) eingestellt und
- c) die Bestrahlungszeit gegenüber der Schwärzung (1,5) abgelesen.

Als Bestrahlungszeit wird ein Wert von 3,25 Stunden gefunden.

PATENTANSPRUCH

Rechenscheibe zur Lösung von Strahlungsproblemen, wobei die Parameter sind: Quellenstärke I, Bestrahlungszeit T, Schilddicke L, Abstand K Quelle—bestrahltes Objekt, und die Strahlungsdosis X auf der Zielstelle, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine untere, eine zwischenliegende und eine obere Scheibe aufweist, dass die Scheiben unterschiedliche Durchmesser aufweisen und übereinander drehbar angeordnet sind, dass

die untere Scheibe eine logarithmische Skala trägt, welche sich in der Nähe der zwischenliegenden Scheibe einer kreisförmigen Linie entlang von einem Anfangspunkt über einen Winkel von 360° erstreckt und welche die Strahlungsdosis X mit 10^{-6} Röntgen beginnend und mit 10^6 Röntgen endend darstellt, dass die untere Scheibe ausserdem noch auf ihrem Umfang eine logarithmische Schwärzungsskala trägt, deren Bogenlänge 48° beträgt und die sich bezogen auf den genannten Anfangspunkt zwischen 155° und 203° erstreckt, dass die zwischenliegende Scheibe ihrem Umfang entlang und von einem Anfangspunkt ausgehend eine bezüglich der logarithmischen Skala der unteren Scheibe im entgegengesetzten Sinn verlaufende logarithmische Skala sowie eine lineare Skala trägt, die in entgegengesetzter Richtung in bezug auf die logarithmische Skala der zwischenliegenden Scheibe verläuft, wobei die lineare Skala die Dicke L des Schildes über einen Winkel von 165° mit der maximalen Dicke beginnend und mit Nulldicke endend im Gegenuhrzeigersinn darstellt, und die logarithmische Skala den Abstand K Quelle—Objekt über einen Winkel von 120° mit 10^8 cm beginnend und mit 10^4 cm endend im Uhrzeigersinn darstellt, und dass die obere Scheibe zwei, einer kreisförmigen Linie entlang und in einander entgegengesetzten Richtungen von einem Anfangspunkt ausgehende logarithmische Skalen trägt, von welchen die erste Skala die Bestrahlungszeit T über einen Winkel von 120° im Gegenuhrzeigersinn aufgetragen und mit 10^{-1} Stunde beginnend und mit 10^4 Stunden endend darstellt und dass die andere Skala die Quellenstärke I über einen Winkel von 150° im Uhrzeigersinn aufgetragen und mit 10^{-1} Curie beginnend und mit 10^5 Curie endend darstellt.

UNTERANSPRÜCHE

1. Rechenscheibe nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass sie mehrere Schilddickeskalen zwecks Ablesung von Messwerten für verschiedene Schildstoffe oder Strahlungsquellen aufweist.

2. Rechenscheibe nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter X mit mehr als einer Skala dargestellt ist, um Auswirkungen auf verschiedene Arten von Zielen wiedergeben zu können.

Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM)

Vertreter: E. Blum & Co., Zürich

```

C      M A I N P R O G R A M
      DIMENSION PAGL(60),PAGT(60),PAGK(60),PAGR(60),PALL(150),
1  ENERGB(60),ENERGM(60),AL(60),S(10),AMU(60),AMUF(60,10),
      B(100,150),SORG(100),YIELD(100),A(100),AMUN(100),AMUFN(100,10),
C      1BN(100,60),VETT(100),FF(150)

      READ (5,3) NTRAKT,NTRAKI,NTRAKK,NTRAKR,NLL
      READ (5,4) (PAGT(I),I=1,NTRAKT)
      READ (5,4) (PAGI(I),I=1,NTRAKI)
      READ (5,4) (PAGR(I),I=1,NTRAKK)
      READ (5,4) (PAGK(I),I=1,NTRAKR)
      READ(5,4) (PALL(I),I=1,NLL)

C      NTRAKT,NTRAKI,NTRAKK,NTRAKR REPRESENT THE NUMBER OF TRACKS
C      WANTED ON A TYPICAL INTERVAL  $10^{**}(I) - 10^{**}(I+1)$  OF A LOGARITHMIC
C      SCALE FOR THE PARAMETERS T,I,K,B
C      THE VALUES ON THE TRACKS WILL BE  $PAG * 10^{**}(I)$ .
C      NLL REPRESENTS THE NUMBER OF TRACKS FOR THE L SCALE CORRESPONDING
C      TO THE VALUES PALL

      WRITE (6,301)
      CALL ANGLE(NTRAKT,PAGT)
      WRITE (6,302)
      CALL ANGLE(NTRAKI,PAGI)
      WRITE (6,304)
      CALL ANGLE2(NTRAKK,PAGK)
      READ(5,3) NSM,NSX

C      NSM=NUMBER OF SCALES TO BE TRACED FOR L PARAMETER
C      NSX=NUMBER OF SCALES TO BE TRACED FOR X PARAMETER

100  ICONTM=1
      CONTINUE
      READ (5,3) NEB,NEM,NF,NES,NL
      READ (5,4) (ENERGB(I),I=1,NEB)
      READ (5,4) (ENERGM(I),I=1,NEM)
      READ (5,4) (AL(I),I=1,NL)
      READ (5,4) (S(I),I=1,NF)
      READ (5,4) (AMU(I),I=1,NEM)
      DO 5 K=1,NF
5     READ (5,4) (AMUF(I,K),I=1,NEM)
      DO 6 I=1,NEB
6     READ (5,4) (B(I,K),K=1,NL)
      READ (5,4) (EFFE,ATTMIN,TEMMIN,DISMAX,ALMAX)
      READ (5,4) (SORG(I),I=1,NES)
      READ (5,4) (YIELD(I),I=1,NES)

C      NEB = NUMBER OF ENERGY POINTS IN B SET
C      NEM = NUMBER OF ENERGY POINTS IN MU SETS
C      NF  = NUMBER OF SHIELD THICKNESS POINTS IN B SET
C      NES = NUMBER OF FILTERS
C      ENERGB = NUMBER OF ENERGY POINTS IN SOURCE SPECTRUM
C      ENERGM = ENERGY VALUES IN B SET
C      AL    = ENERGY VALUES IN MU SETS
C      S    = SHIELD THICKNESS VALUES IN B SET
C      AMU  = FILTER THICKNESS
C      AMUF = MU VALUES FOR SHIELD
C      AMUF = MU VALUES FOR THE FILTERS
C      B    = DOSE BUILD-UP FACTORS
C      EFFE = NORMALIZATION FACTOR
C      ATTMIN = MINIMUM SOURCE INTENSITY
C      TEMMIN = MINIMUM EXPOSURE TIME
C      DISMAX = MAXIMUM SOURCE-TARGET DISTANCE
C      ALMAX = MAXIMUM SHIELD THICKNESS

```

FIG.1.

```

C C C
C     = ENERGY VALUES FOR THE SOURCE SPECTRUM
C     = SOURCE SPECTRUM YIELDS ASSOCIATED WITH ENERGY VALUES
DO 8 J=1,NES
EX=SORG(J),NES
AMUN(J)=PARAB(ENERGM,AMU,EX,NEM)
DO 9 I=1,NEM
VETT(IJ)=AMUJ(JJ,KF)
EX=SORG(J),NES
AMUN(J,KF)=PARAB(ENERGM,VETT,EX,NEM)
DO 10 K=1,NEB
VETT(IJK)=BI(JJ,KK)
EX=SORG(J),NES
BN(J,KK)=PARAB(ENERGB,VETT,EX,NEB)
DO 24 J1=1,NES
DO 24 KK=1,NL
VETT(IJKK)=BN(J1,KK)
EX=PAL(JJ)=PARAB(AL,VETT,EX,NL)
DO 23 J=1,NLL
DO 23 KK=1,NL
FF(IKK)=0.,NES
DO 13 JJ=1,NES
ACCU=0.,NES
DO 14 I=1,NF
DO 14 J=1,NMUN(JJ,I)*S(I)
EX=SUM(ACCF(IKK)*YIELD(JJ)*B(JJ,KK)*EXP(-AMUN(JJ)*PALL(KK))*EXP(-ACC
15 J=1,NMUN(JJ,I)*S(I))
DO 12 I=1,NF
TEMP(IAT)=MIN*TEMPMIN*FFINLL)/ (DISMAX**2)
DO 1000 JK=1,3001
FF(IJK)=ALOG10(FF(IJK)/FF(NLL))
WRITE(6,3001)TEMP
CALL TH(6,3001,TEMP)
VETT(IJK)=VETT(IJK)
ICONTM=ICONTM*1
GO TO 1000
1001 CONTINUE
ICONTX=1
WRITE(6,3003)
CALL ANGLE(INTRAKB,PAGR)
IF(NSX.EQ.0) GO TO 201
CONTINUE
READ(5,3)NBL
READ(5,4) (A(I),I=1,NBL)
NBL = NUMBER OF POINTS IN WHICH THE FUNCTION X=G(R) IS GIVEN
I.E. NUMBER OF TRACKS ON THE X SCALE
A = VALUES OF R PARAMETER IN THE NBL POINTS
WRITE(6,3006) ICONTX
CALL XPAR(NBL,A)
IF(ICONTX.GE.NSX)GO TO 201
ICONTX=ICONTX+1
GO TO 200
CONTINUE
STOP
3 FORMAT (12I6.4)
4 FORMAT (6E12.4)

```

FIG. 2.

```

300 FCBMAT (38)POSITION OF THE ABOVE ON THE R SCALE,E15.3)
301 FCBMAT (1H1,3X,EX)EXPONENT IN LIST OF SCALE ANGLES,11)
302 FCBMAT (1H1,3X,EX)EXPONENT IN LIST OF SCALE ANGLES,11)
303 FCBMAT (1H1,3X,EX)EXPONENT IN LIST OF SCALE ANGLES,11)
304 FCBMAT (1H1,3X,EX)EXPONENT IN LIST OF SCALE ANGLES,11)
305 FCBMAT (1H1,3X,EX)EXPONENT IN LIST OF SCALE ANGLES,11)
306 FCBMAT (1H1,3X,EX)EXPONENT IN LIST OF SCALE ANGLES,11)
END
** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** **
SUBROUTINE ANGLE(NAA,V1)
DIMENSION V1(100),V2(100),L1(100),L2(100),L3(100)
DO 7 K=1,NAA
V2(K)=ALOG10(V1(K))
DO 8 K=1,NAA
V2(K)=V2(K)*30.
DO 9 K=1,NAA
L1(K)=V2(K)
V2(K)=V2(K)-L1(K)
V2(K)=V2(K)*60.
V2(K)=V2(K)-L2(K)
V2(K)=V2(K)*60.
L3(K)=V2(K)
DO 12 K=1,NAA
L2(K)=L1(K)
L1(K)=L2(K)
L3(K)=L3(K)
C=FLOAT(L3(K))
C=FLOAT(L3(K))
WRITE(6,10) (L1(K),L2(K),L3(K),K=1,NAA)
DO 12 K=1,NAA
DO 12 K=1,NAA
DO 12 K=1,NAA
A=FLOAT(L1(K))
B=FLOAT(L2(K))
C=FLOAT(L3(K))
C=PUNCH(704,B,C)
10 WRITE(6,10) (L1(K),L2(K),L3(K),K=1,NAA)
DO 12 K=1,NAA
DO 12 K=1,NAA
DO 12 K=1,NAA
A=FLOAT(L1(K))
B=FLOAT(L2(K))
C=FLOAT(L3(K))
C=PUNCH(704,B,C)
10 WRITE(6,10) (L1(K),L2(K),L3(K),K=1,NAA)
RETURN (8X,I5,I6,1H',15.2H')
10 FCBMAT (1X,F5.0,F6.0)
20 END
** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** **
SUBROUTINE ANGLE2(NAA,W1)
DIMENSION W1(100),W2(100),LL1(100),LL2(100),LL3(100)
DO 7 K=1,NAA
W2(K)=ALOG10(W1(K))
DO 8 K=1,NAA
W2(K)=W2(K)*60.
DO 9 K=1,NAA
LL1(K)=W2(K)
W2(K)=W2(K)-LL1(K)
W2(K)=W2(K)*60.
LL2(K)=W2(K)
W2(K)=W2(K)-LL2(K)
LL3(K)=W2(K)*60.
DO 31 K=1,NAA
A=FLOAT(LL1(K))

```

FIG. 3.

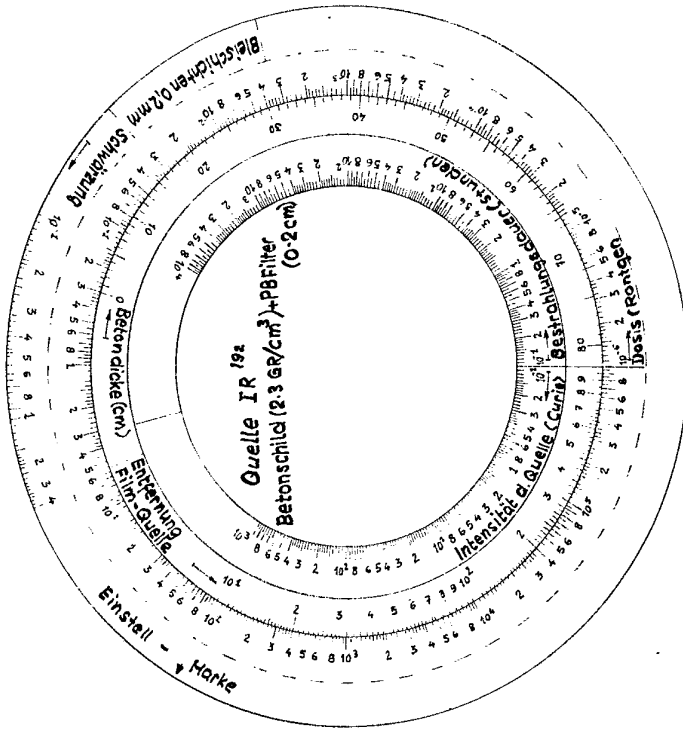


FIG. 7.

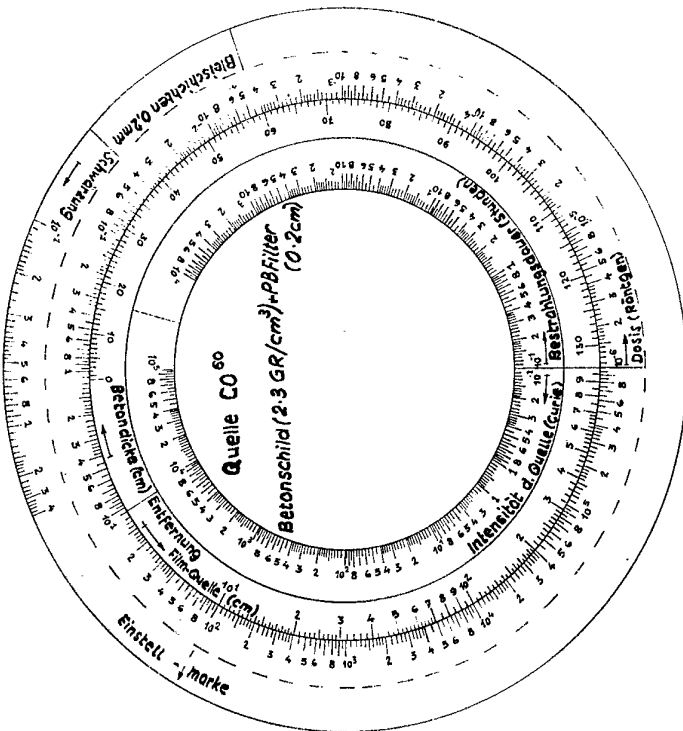


FIG. 6.