

P.- 18.710

B. 126/3

29 OCT. 1959

251957



251.957

251957

MEMORIA DESCRIPTIVA

para solicitar

BREVETE DE INVENCIÓN

en

ESPAÑA

por VEINTE años

a nombre de COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, entidad francesa, establecida en 69 Rue de Varenne, Paris, Francia, por:

" REGLA DE CALCULO DE LAS PANTALLAS DE PROTECCION CONTRA MANIPULACIONES RADIACTIVAS "

La presente invención tiene por objeto una regla destinada a calcular de una manera precisa, rápida y fácil, las pantallas que deben proteger al personal en la manipulación de los cuerpos radiactivos que emiten radiaciones gamma o rayos

5 R.

Los diferentes problemas a resolver, sea para el establecimiento de estas pantallas o bien para la utilización de una pantalla dada son:

- en cálculo de los espesores de pantalla, de un material dado, en función de la distancia del operador a la fuente

251957

29 00



de o manantial y de la intensidad y de la energía de las radiaciones gamma emitidas por esta fuente;

- la distancia mínima a la cual debe mantenerse el operador, conociendo la intensidad y la energía de la radiación emitida por la fuente, teniendo en cuenta el establecimiento o no de una pantalla de sección eficaz conocida de absorción de radiaciones gamma;
- la intensidad máxima de una fuente que puede ser utilizada con un sistema de protección dado.

10 Los círculos de cálculo existentes no permiten resolver rápidamente tales problemas, salvo en casos precisos, y solamente para algunos radioelementos usuales.

Hay reglas de cálculo ya conocidas, tales como la que es objeto de la patente americana nº 1.609.972 (F.A. SHERRILL y otros), que permiten efectuar cálculos de atenuación, pero necesitan el conocimiento de ciertos datos, tales como la sección eficaz del material constitutivo de la pantalla, el efecto de la radiación difundida, etc.

20 La concepción de la regla objeto de la presente invención se basa en la expresión matemática de la intensidad de radiación  $R$  en un punto dado, en la que intervienen los parámetros siguientes:

- A, actividad del manantial de radiación
- B, factor llamado de "build up" o acumulación, que traduce el efecto de difusión de la radiación;
- I (E), intensidad de irradiación debida a un flujo unidad de fotones de energía E;
- $\mu$ , coeficiente de absorción lineal de la pantalla;
- x, espesor de la pantalla;
- 30 r, distancia del manantial (supuesto puntiforme) al ope-

251957



rador.

Con estas notaciones, la fórmula que da la intensidad de radiación  $R$  se escribe:

$$R = \frac{A B I(E) e^{-\mu x}}{4 \pi r^2} \quad (1)$$

O bien, haciendo  $k' = 1/4\pi$  y  $C = 1/r$ ,

$$R = k' A B C^2 I(E) e^{-\mu x} \quad (2)$$

(expresión que se encuentra en el título de la solicitud prioritaria).

Si se expresa:

$R$  en miliroentgens por hora,

$A$  en milicurios,

$E$  en megaelectron-voltios,

$\mu$  en (centímetros)<sup>-1</sup>,

$r$  y  $x$  en centímetros.

y si se introduce el coeficiente de absorción lineal del aire  $\mu_a$ , expresado en cm<sup>-1</sup>, la expresión (1) se convierte entonces en

$$R = k \frac{\mu_a A B E e^{-\mu x}}{r^2} \quad (3)$$

siendo  $k = 1,685 \cdot 10^8$

Se ve que esto conduce a resolver un sistema de cinco variables, que son  $I$ ,  $x$ ,  $r$ ,  $A$  y  $E$ ; cada cuatro de ellas se debe poder determinar la quinta. Por consiguiente, la regla objeto de la invención permitirá resolver cinco tipos de problemas, correspondiente dada uno de ellos a la determinación de una de las variables conocidas las otras cuatro.

251957 29



La relación (3) se puede escribir así:

$$\frac{R r^2}{A} = k \frac{\mu_a B E}{e^{\mu x}} \quad (4)$$

y estudiarse mediante la introducción de dos funciones interme-

5 días

$$Y_1 = \frac{k \mu_a B E}{e^{\mu x}} = f(E, x)$$

y

$$Y_2 = \frac{R r^2}{A} = g(r, R, A)$$

10 dividiéndose a su vez en dos el estudio de la función  $Y_2 = g(r, R, A)$  mediante la introducción de la función  $y = r^2/A$ .

La función

$$Y_1 = \frac{k \mu_a B E}{e^{\mu x}} = f(E, x),$$

15 en la cual los factores  $k$ ,  $E$ ,  $\mu$ ,  $\mu_a$ , e incluso  $B$  (en todo el dominio práctico de los fenómenos físicos utilizados) son independientes de  $x$ , representa la variación de la atenuación de una radiación monoenergética dada en función del espesor  $x$  de la pantalla.

20 El estudio de esta función, que puede escribirse:

$$L Y_1 = L k + L \mu_a + L B + L E - \mu x$$

conduce en coordenadas semilogarítmicas a trazar una red de curvas muy sensiblemente rectilíneas.

25 Del mismo modo, la función  $Y_2 = R r^2/A = g(r, R, A)$  representa la variación de la intensidad de la radiación en función de la distancia manantial-operador ( $r$ ), y de la actividad ( $A$ ) del manantial o fuente; y el estudio de la función  $y = r^2/A$ , que puede escribirse  $L y = 2 L r - L A$ , conduce, en coordenadas logarítmicas, a trazar una red de rectas parale-

30 las que son las rectas de isoactividad ( $A = \text{constante}$ ).

251957



Así, la superposición de las familias de rectas representativas de las funciones  $\gamma_1$  e  $\gamma$  permite determinar los cuatro parámetros  $\kappa$ ,  $M$ ,  $A$  y  $E$  que intervienen en la expresión de la radiación  $R$ .

5 Esta superposición puede efectuarse combinando los principios clásicos del ábaco de cruce o alineación y de la regla de cálculo logarítmica.

Una regla de cálculo según la invención se caracteriza, pues, por el hecho de estar constituida por una placa fija sobre una de cuyas caras está dibujada la familia de curvas representativas de la función  $\gamma_1 = f(E, \kappa) = k \mu_a B E / e^{\mu x}$ , estando  $\gamma_1$  representada según el eje de abscisas, con división logarítmica, y leyéndose  $x$  sobre el eje de ordenadas, de división lineal y trazado este eje de ordenadas sobre un cursor móvil que se desplaza paralelamente al eje de abscisas, mientras la otra cara de dicha placa lleva una división logarítmica que representa la función  $R$ , delante de la cual se desplaza una regleta móvil sobre la cual está trazada, en un sistema de coordenadas logarítmicas, la familia de rectas representativas de la función  $\gamma = r^2/A$ , llevándose  $\gamma$  en abscisas sobre esta regleta y  $r$  en ordenadas sobre un cursor móvil solidario del anterior.

Además, según la invención, las caras posteriores de la regla, del cursor y de la regleta llevan respectivamente: sobre la regla, unas curvas que representan las variaciones, en función de la energía, de la sección eficaz macroscópica total de los diferentes materiales de pantalla considerados; sobre el cursor, una escala de las energías graduada en MeV; sobre la regleta, una doble serie de curvas que de una parte dan por lectura directa y para diferentes materiales los espesores de plo-



251957

no equivalentes en función de la energía, y de otra parte permiten, por medio de los ábacos, resolver los problemas de protección relativos a manantiales no puntiformes.

En una realización preferida del invento, los materiales de los cuales se dan las curvas de espesor de plomo equivalente son el hierro, el aluminio, el hormigón **Z** (ordinario o pesado) y el agua. Las curvas de correspondencia, trazadas al dorso de la regleta, están parametradas con respecto a la energía de los fotones.

En una variante de esta realización, se han trazado sobre la cara posterior de la regla las curvas de isenergía correspondientes a cierto número de radioelementos usuales.

Como el hormigón se comporta sensiblemente igual que el aluminio, es utilizable la misma red de curvas, encontrándose las escalas de graduación de espesores en la relación de las densidades.

Todo problema concerniente a estos materiales se trata por intermedio del plomo.

Si el espesor de pantalla viene dado, se le transforma en espesor equivalente de plomo, y se opera como con el plomo.

Si, por el contrario, se busca el espesor de pantalla, se determina primero el espesor de pantalla en plomo equivalente, y después se efectúa la conversión al espesor del material escogido.

En lo que concierne a la utilización de la regla para cálculos de radiaciones debidas a manantiales no puntiformes, esta utilización se hace posible por referencia a la noción de manantial puntiforme de la misma actividad.

Si, en efecto, se designa por  $I_1$ , la intensidad de irra-

251957

29



diación correspondiente a un manantial no puntiforme cuya actividad está uniformemente distribuida y, en las mismas condiciones de protección por  $I_2$  la intensidad de irradiación debida a un manantial puntiforme de la misma actividad, la relación  $I_1/I_2$  define un factor de corrección cuyo conocimiento permite tratar, por intermedio de un manantial puntiforme, los problemas de protección concernientes a los manantiales extensos.

La regla de cálculo objeto de la invención permite resolver tales problemas en el caso de manantiales asimilables, desde el punto de vista de la protección, ya a manantiales lineales o ya a manantiales planos circulares.

Al dorso de la regleta hay trazadas unas curvas que representan las variaciones del factor de corrección  $I_1/I_2 = F$  en función del espesor de pantalla, expresado en libras recorridos medios, y del diámetro aparente del manantial.

Por diámetro aparente del manantial ha de entenderse:

a) para manantiales lineales, la relación  $l/a$ , en la cual  $l$  es la longitud del manantial,  $a$  es la distancia del manantial al punto de medida tomada según una perpendicular al punto medio del manantial;

b) para manantiales planos circulares, la relación  $d/a$  en la cual  $d$  es el diámetro del manantial,  $a$  es la distancia del manantial al punto de medida, tomada según la perpendicular al plano del manantial en su punto medio.

En estas condiciones, es preciso calcular el espesor de pantalla en libras recorridos medios. Es el parámetro sin dimensión  $b = \Sigma x$ , expresión en la cual:

$\Sigma$  es la sección eficaz macroscópica total de la pantalla, y  $x$  es el espesor de la misma pantalla.

251957 280



Para determinar la sección eficaz macroscópica total, conociendo la energía de los fotones y la naturaleza del material de la pantalla, se determina  $\Sigma$  por el procedimiento de cruce. A este fin se utiliza, de una parte, la escala graduada en energía que figura sobre la cara anterior del cursor, y de otra parte las curvas trazadas sobre la cara anterior de la regla, que representan para cada uno de los materiales considerados las variaciones de  $\Sigma$  en función de la energía de los fotones.

El cálculo del producto  $b = \Sigma x$  se efectúa sobre la cara anterior de la regla. A tal efecto se han trazado dos escalas logarítmicas, una sobre la regla y la otra sobre el cursor, que permiten efectuar el producto  $\Sigma x$  por simple adición de longitudes de escala. Frente de  $x$ , leída sobre la escala del cursor, se lee  $b$  sobre la escala correspondiente en la regla. Ahora bien, la posición de la coma no queda precisada, y la división "1", por ejemplo, puede representar los valores 1, 10 o 100.

Haciendo referencia a las figuras esquemáticas 1 a 10 adjuntas se describe a continuación un ejemplo, dado a título no limitativo, de ejecución de la regla de cálculo de pantallas de protección frente a emanaciones radiactivas, objeto de la invención.

- La figura 1 representa la cara posterior de la regla, provista de su cursor;
- La figura 2 representa la cara anterior de la regla provista del cursor y de la regleta;
- Las figuras 3, 4 y 5, trazadas sobre la cara posterior de la regleta, dan por lectura directa, en función de la energía, los espesores de plomo equivalentes a un espesor dado de

251957 29



nierro, de aluminio, de hormigón **Z** o de agua;

- Las Figuras 6 y 7, igualmente trazadas sobre la cara posterior de la regleta, son unos ábacos que permiten resolver los problemas de protección relativos a manantiales no puntuales (manantiales planos circulares para la figura 6 y manantiales lineales para la figura 7); y

- Las Figuras 8, 9 y 10 son unas vistas parciales de la cara posterior de la regla, en el transcurso de la ejecución de diferentes cálculos que se explican más adelante.

Lo Como se ve por la figura 1, una regla de cálculo según la invención está constituida por una placa 1 sobre la cual está grabada la familia de curvas 2 representativas de la variación de la atenuación de la actividad de los fotones gamma en función del espesor de pantalla, para diferentes energías  $H$  de estos fotones (0,5 - 0,6 - etc... - 3,5 - 3 MeV).

El valor del espesor  $x$  de plomo que provoca esta atenuación se lee sobre un eje 3 que va sobre la cara 4 de un cursor transparente 5, el cual puede desplazarse paralelamente al lado mayor de la regla.

Para entender el campo de utilización de esta graduación establecida para el plomo, a otros materiales eventuales de protección, tales como el uranio, se utiliza la ley aproximada de espesores equivalentes:

$$x_e = x_{Pb} \cdot \frac{d_{Pb}}{d_e}$$

donde  $x_{Pb}$  y  $d_{Pb}$  designan respectivamente el espesor de la pantalla de plomo y la densidad del plomo, y  $x_e$  y  $d_e$  designan respectivamente el espesor de la pantalla y la densidad del material, distinto del plomo, que la constituye.

La cara 4 del cursor lleva, por consiguiente, un segun-



251957

do eje 6 desplazado en relación con el precedente; el eje 5 para las pantallas de plomo, el eje 6 para las pantallas de uranio; en esta realización no se han utilizado más que estos dos ejes para facilitar la lectura.

5 Como se ve por la figura 2, la otra cara de la regla tiene una regla móvil 7 sobre la cual se ha llevado el haz de rectas de isoactividades 8, para las actividades A comprendidas entre 10 microcurios y 10<sup>4</sup> curios.

10 El valor de la distancia r del manómetro al operador se lee sobre la otra cara 9 del cursor 5, según uno de los dos ejes 10 u 11 correspondientes al plomo y al uranio, como sobre la cara 4 de este cursor.

15 El margen inferior 12 de la regla lleva una escala logarítmica 13 (que sirve a la vez para la construcción de las curvas de curvas  $Y_1 = f(E, x)$  e  $y = r^2/A$ ), que dan los valores de la intensidad de radiación R en miliroentgens por hora (señal 14) o en roentgens por hora (señal 15).

20 Además, sobre la cara 4 del cursor 5 (figura 1) hay trazada una escala 16 de energías que se extiende, en este ejemplo particular, de 0,5 a 5 MeV; sobre las partes transparentes de la regla, hay igualmente grabados dos escalas 17 y 18, estando la escala 17 graduada en libras recorridos medios, y la escala 18 en centímetros de plomo. Sobre la regla está asimismo grabada la escala logarítmica 19, graduada en sección eficaz  
25 macroscópica total de la pantalla, a la cual corresponde sobre la cara 4 del cursor la escala logarítmica 20 graduada en espesores. Finalmente, sobre la cara 1 de la regla, la red de curvas 21 representa, en función de la energía, las variaciones de la sección eficaz macroscópica total  $\Sigma$  de los diferentes materiales de pantalla previstos; agua, hormigón ligero  $Z_1$ ,

251957



aluminio, hormigón pesado  $Z_3$ , hierro, plomo, uranio.

A título de ejemplo, se describe a continuación la manera de utilizar, para dos problemas diferentes, la regla objeto de la presente invención.

5           Suponiendo que un manantial puntiforme de 100 curios emite una radiación gamma de 1 MeV, averiguar la intensidad de radiación a un metro del manantial cuando se interpone delante de éste una pantalla de hierro de un espesor de 25 cm. Las maniobras a efectuar son entonces las siguientes: para determinar  
10 la equivalencia en plomo de la pantalla de hierro se coloca la regleta móvil 7 de manera que la señal 18 del plomo de la regla corte en la división 25 la escala horizontal graduada en espesores de hierro al dorso de la regleta 7 (figura 3). En la intersección de la recta de energía 1 MeV y de la señal correspondiente al plomo se lee el resultado, este es, 12 cm de plomo.  
15 El cálculo de la intensidad de irradiación con una pantalla de plomo de 12 cm se efectúa de la manera siguiente:

Se corre el cursor sobre la cara 1 haciendo corresponder por cruce el valor  $x = 12$  cm leído sobre el eje 3 que hay grabado en la cara 4 del cursor, con la energía  $E = 1$  MeV de los  
20 fotones gamma leída sobre la curva correspondiente del haz 2. Las coordenadas del punto hallado verifican la ecuación:

$$Y_1 = f(E, x)$$

25           Se vuelve entonces la regla y se corre la regleta 7 sin tocar al cursor de manera que el valor  $r = 100$  cm (distancia manantial-operador) leída sobre el eje 10 grabado en la cara 9 del cursor se corresponda con el valor  $A = 100$  curios (actividad del manantial) leído sobre la regleta. Las coordenadas del  
30 punto hallado verifican la ecuación



251957

$$y = \frac{r^2}{A}$$

El valor de la intensidad de radiación  $I$  se lee entonces sobre la división 15, en miliroentgens por hora, frente a la señal 14 (o en roentgens por hora frente a la señal 15), siendo de 14 mr/h en el ejemplo escogido.

El segundo ejemplo de utilización de la regla concierne al cálculo de la intensidad de irradiación según el eje de simetría de un manantial monocinético no puntiforme.

Suponiendo que un manantial plano circular de diámetro 100 cm y de una actividad gamma total de 10 curios emite una radiación gamma de una energía de 1,5 MeV, si este manantial se halla colocado detrás de una pantalla de plomo de 10 cm de espesor, paralela al plano del manantial, calcular la intensidad de irradiación a 1 metro del manantial sobre la perpendicular que pasa por su centro.

El manejo de la regla es entonces como sigue:

Se comienza por resolver el problema suponiendo que el manantial es puntiforme y de una actividad total de 10 curios. Procedimiento como antes, se halla una intensidad de irradiación de 65 mr/h. A continuación, se determina el espesor de pantalla  $b$  expresado en libras recorridos medios. Para hacerlo, se lleva el cursor sobre la cara posterior de la regla de suerte que la señal de energía corte a la curva del plomo de la división 1,5 MeV (figura 9). Frente a la división 10 de la escala logarítmica del cursor se lee, sobre la escala de la regla  $b = 6$ . Finalmente, para averiguar el factor de corrección se emplea la regla de manera que la curva  $\frac{d}{a} = 1$  corte a la escala 17, en la división 6. En la intersección de la escala  $b$  y de la escala "F" se lee 0,63 (figura 10). La densidad de irradiación debida al manantial circular es igual a  $65 \times 0,63 = 40$

251957

290



ma/m. multiplicación que se efectúa con el auxilio de las escuelas logarítmicas 10 y 20 de la regla y del cursor.

La presente solicitud que corresponde a la presentada en Francia el 9 de Septiembre de 1958, con el número AV/ 774.097 y el 22 de Mayo de 1959, bajo el número P.V. 795.315, adición, se sujeta a los beneficios del artículo 31 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

10

NOTA

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España por VEINTE años son los siguientes:

10

12.- Regla de cálculo de las pantallas de protección contra neutrones radiactivos, caracterizada por estar constituida por una placa fija sobre una de cuyas caras está dibujada la familia de curvas representativas de la función  $Y_1 = f(E, x) = k E B \mu_a / e^{\mu x}$ , donde k es un coeficiente numérico que depende de las unidades elegidas, E representa la energía de los fotones, B es el factor llamado de "build up" o de acumulación,  $\mu_a$  y  $\mu'$  son respectivamente los coeficientes de absorción lineal del aire y del material constitutivo de la pantalla, estando  $Y_1$  representada según el eje de abscisas, con división logarítmica, y leyéndose x sobre el eje de ordenadas, de división lineal y estando trazado este eje de ordenadas sobre un cursor transparente que puede desplazarse paralelamente al eje de abscisas, mientras la otra cara de dicha placa lleva una división logarítmica que representa la función R, intensidad de irradiación, delante de la cual se desplaza una regleta

20  
30



251957

movil sobre la cual está trazada, en un sistema de coordenadas  
logarítmicas, la familia de rectas representativas de la fun-  
ción  $y = r^2/A$ , - donde  $y$  es la distancia del manantial al opera-  
dor y  $A$  la actividad del manantial -, llevandose  $y$  en abscisas  
5 sobre esta regleta y  $r$  en ordenadas sobre un cursor transparen-  
te móvil solidario del anterior.

22.- Regla de cálculo conforme a la reivindicación 1,  
cuya cara posterior lleva unas curvas representativas de las  
variaciones, en función de la energía de los fotones, de la sec-  
10 ción eficaz macroscópica total de los diferentes materiales de  
pantalla considerados.

23.- Regla de cálculo conforme a las reivindicaciones  
1 y 2, en la que el cursor posterior lleva una escala de ener-  
gias graduada linealmente en megaelectron-voltios, y una esca-  
15 la de espesores graduada logarítmicamente en centímetros.

24.- Regla de cálculo conforme a las reivindicaciones 1,  
2 y 3, en la cual la regleta lleva, en su cara posterior, una  
doble serie de curvas que de una parte dan por lectura directa  
los espesores de plomo equivalentes para diferentes materiales  
20 en función de la energía, y, de otra parte, permiten, por medio  
de los ábacos, resolver los problemas de protección relativos  
a manantiales no puntiformes.

25.- Regla de cálculo conforme a las reivindicaciones  
1, 2, 3 y 4, en la cual la cara posterior lleva unas curvas  
25 de isoenergía correspondientes a ciertos radioelementos usua-  
les.

26.- Regla de cálculo de las pantallas de protección  
contra manantiales radiactivos.

Tal y como se ha descrito en la memoria que antecede  
30 representado en los dibujos que se acompañan y para los fines

29



251957

que se han especificado.

Esta memoria consta de quince hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 29 OCT. 1959

*R. de*  
Alberto de Elzaburu  
Por Poder

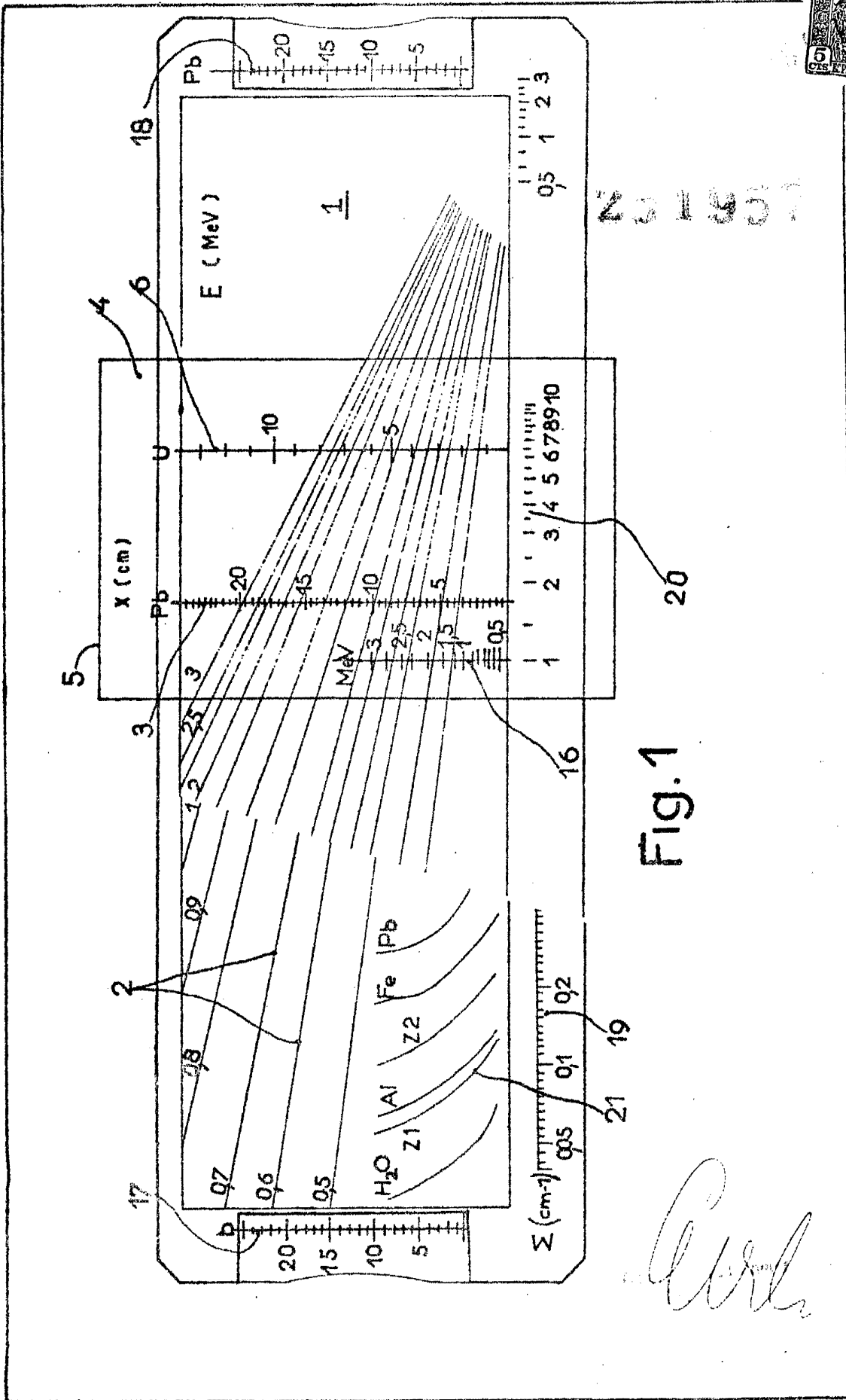


Fig. 1

201507



*Handwritten signature*

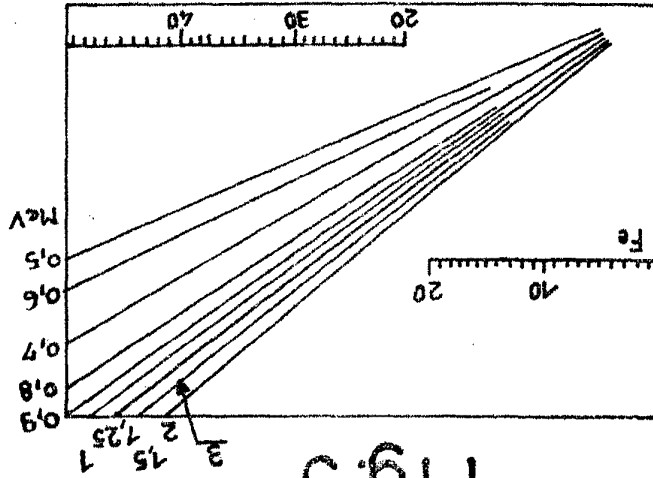


Fig. 5

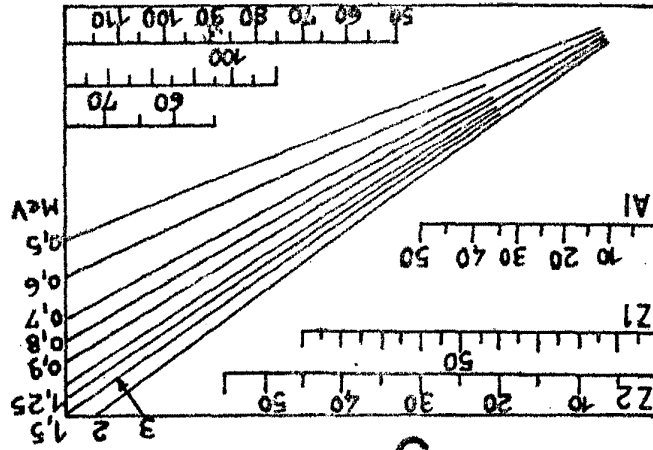


Fig. 4

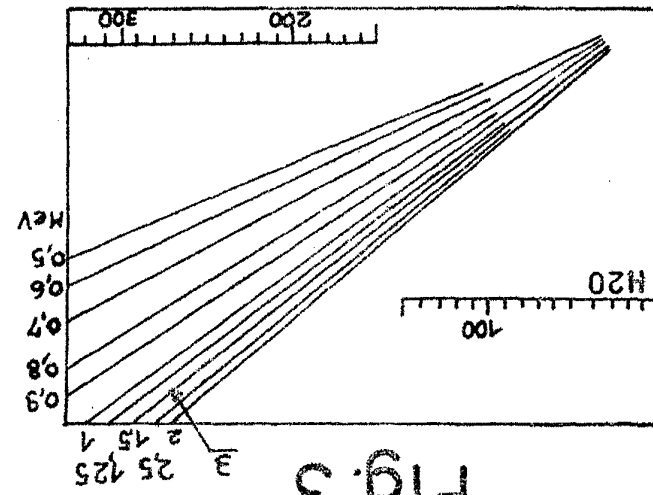


Fig. 3



751957

251957

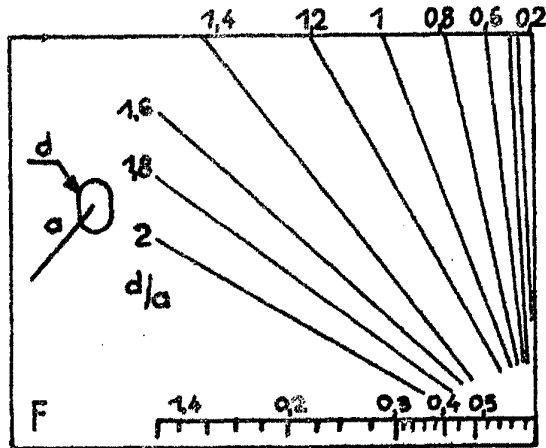


Fig. 6

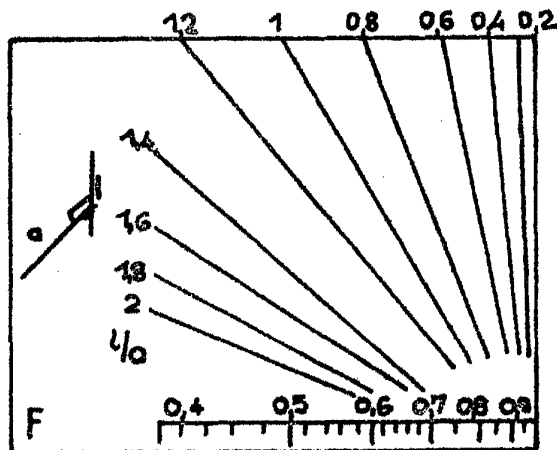
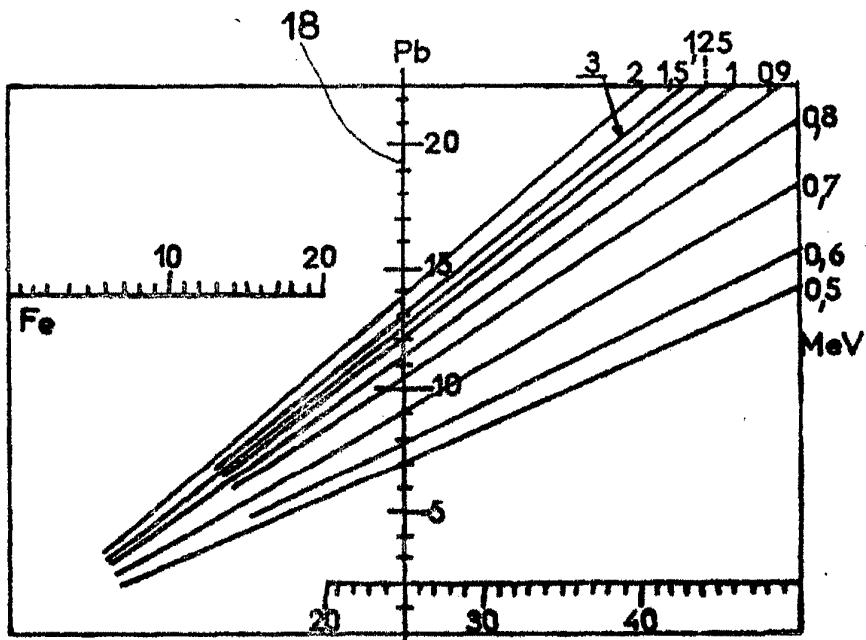


Fig. 7



251911

Fig. 8



*Handwritten signature*

2519

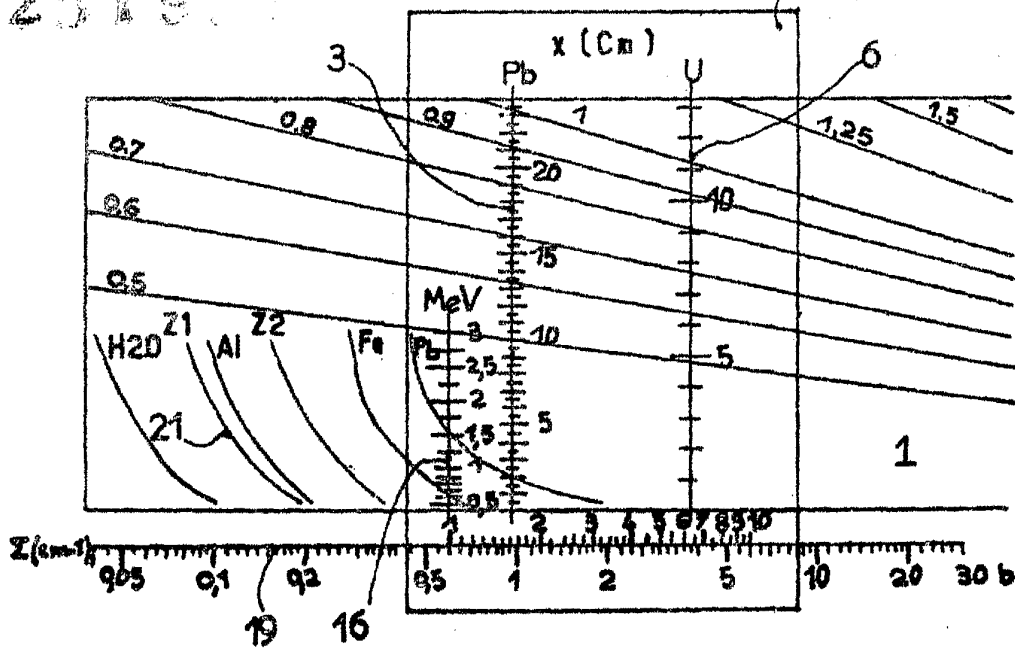


Fig. 9

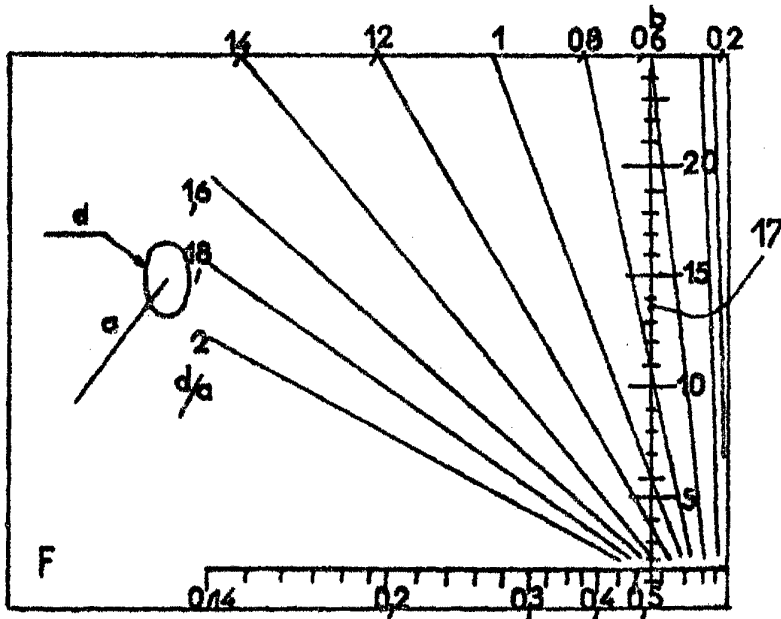


Fig. 10

*[Handwritten signature]*