



Dawkomierze radioterapeutyczne stosowane w Centrum Onkologii w Warszawie w latach 1932-2000

Część I - dawkomierze "Kuestner" i "Hammer"

Jerzy Tołwiński, Barbara Gwiazdowska, Wojciech Bulski

Zakład Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie, ul. Roentgena 5, 02-781 Warszawa, Polska

Rep Pract Oncol Radiother 2004;9:187-95, historical review

Streszczenie

Cel: Opracowanie miało na celu przedstawienie charakterystyki urządzenia, opisów budowy, działania i obsługi oraz zastosowań klinicznych dawkomierzy radioterapeutycznych stosowanych w Centrum Onkologii w Warszawie w latach od 1932 do 2000, to jest od początku istnienia Instytutu Radowego w Warszawie przy ul. Wawelskiej.

Materiał i metody: Materiał stanowiły gromadzone latami dawkomierze używane w Zakładzie Radioterapii i Zakładzie Fizyki Medycznej, dodatkowe wyposażenie dozymetryczne, dokumentacja techniczna i protokoły z pomiarów dawek. Przyjęto selektywny opis wybranych parametrów fizycznych aparatury w celu wyeksponowania podobieństw i różnic między przedstawianymi dawkomierzami.

Wyniki: Przygotowano opisy dla wszystkich prezentowanych dawkomierzy zawierające możliwie pełną użytkową charakterystykę urządzenia dla zaznajomienia czytelnika z różnorodnością występujących rozwiązań konstrukcyjnych i kierunkami rozwoju dozymetrii. Całość zilustrowano fotografiami aparatury i jej przekrojami technicznymi oraz schematami połączeń.

Podsumowanie: Przygotowane opracowanie będzie stanowiło unikalny materiał dotyczący praktycznie całej aparatury dozymetrycznej używanej w polskiej onkologii w okresie ostatnich 70 lat. Opracowanie to będzie również jednym z nielicznych w Europie.

Słowa kluczowe: radioterapia, dozymetria, dawkomierze, pomiary dawek promieniowania jonizującego.

Wstęp

Przedstawione opracowanie ma na celu przybliżenie zainteresowanym czytelnikom historii rozwoju aparatury dozymetrycznej uwzględniającej zmiany, jakie dokonały się w wyniku stałego uściślenia metod pomiaru dawek, wzrastających wymagań w zastosowaniach klinicznych oraz rosnącego postępu technicznego. Podstawę opracowania stanowią dawkomierze gromadzone w Zakładzie Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie w okresie od roku 1932 to jest od roku otwarcia Instytutu Radowego w Warszawie do chwili obecnej. Zbiór ten jest znacznie większy, zarówno ilościowo jak i jakościowo od dawkomierzy używanych w krajowych Ośrodkach Onkologicznych i jest porównywalny z odpowiednim wyposażeniem używanym w przodujących europejskich zakładach radioterapii, które wprowadzano stopniowo w polskiej onkologii.

Prezentowany materiał jest rezultatem przeprowadzonego wyboru wynikającego z konieczności wprowadzenia znaczących skrótów do zbyt szczegółowych opisów dawkomierzy, celem ograniczenia posiadanego materiału tylko do istotnych zagadnień i problemów oraz dostosowania się do wymagań edytorskich. W opracowaniu wzięto pod uwagę wyłącznie dawkomierze znajdujące się w zbiorach Zakładu Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie. Pozwoliło to na przygotowanie opisów na podstawie własnych wieloletnich doświadczeń użytkowania dawkomierzy i oceny ich parametrów, a nie tylko na informacji zawartej w dokumentacji producenta.

W prezentowanym materiale uwzględniono tylko te dawkomierze, w których dawka określana jest na podstawie pomiaru jonizacji w powietrzu (komory jonizacyjne) lub ciele stałym (detektory półprzewodnikowe). Pominięto dawkomierze, w których pomiar dawki odbywa się metodami chemicznymi, filmowymi, kalorymetrycznymi lub termoluminescencyjnymi.

Nie brano również pod uwagę laboratoryjnych zestawów z przypadkowo dobranymi komorami jonizacyjnymi i elektrometrami używanymi często do względnych pomiarów aktywności preparatów radowych i innych ciał promieniotwórczych.

Jako pierwszy dawkomierz spełniający warunki pomiaru dawki wiązek promieniowania X przyjęto dawkomierz „Kuestner” składający się z dużej komory jonizacyjnej połączonej z elektrometrem strunowym, pozwalający wyznaczać dawkę w danej objętości.

Całość materiału podzielono na części przeznaczone do publikacji w jednym numerze czasopisma. Każda z części będzie zawierała opis nie więcej niż dwóch dawkomierzy, w sposób uporządkowany, zapewniający możliwość porównywania parametrów dawkomierzy zamieszczanych w kolejnych numerach czasopisma. Przyjęto dla wszystkich opisów standardowy układ składający się z: wprowadzenia, budowy, działania i użytkowania. Tekst uzupełniono rycinami dotyczącymi wyglądu zewnętrznego dawkomierza, jego przekroju i schematu działania.

Przedstawione opracowanie będzie istotnym uzupełnieniem zbioru dawkomierzy eksponowanych w Zakładzie Fizyki Centrum Onkologii w Warszawie. Zbiór ten jest unikalny zarówno w kraju jak i w Europie, ze względu na jego liczebność, różnorodność i czas gromadzenia. Mamy nadzieję, że zainteresowani czytelnicy będą mogli uzupełniać prezentowane dane informacją o dawkomierzach, które istnieją jeszcze w różnych zakładach fizyki lub radioterapii jako nieużywana aparatura dozymetryczna. Autorzy będą wdzięczni za przekazanie tej informacji.

Radiotherapy dosimeters used at the Centre of Oncology in Warsaw during the period 1932-2000

Part I - "Kuestner" and "Hammer" dosimeters

Summary

Purpose: Presentation of characteristics, construction, functioning and clinical applications of radiotherapy dosimeters which were in use at the Centre of Oncology during the period 1932-2000, since the opening of the Radium Institute at the Wawelska Street in Warsaw.

Material and methods: Various dosimeters used at the Centre of Oncology, still in the possession of the Medical Physics Department, together with additional accessories and old measurement protocols are presented. A method of selective description of various physical parameters, elements of construction and principles of functioning was applied, in order to be able to compare various dosimeters and highlight the similarities and differences.

Results: Detailed descriptions were prepared for all dosimeters, together with photographs, and schematic illustrations of their construction and circuitry.

Summary: The present study consisting of a series of dosimeter descriptions is a unique material concerning the dosimetry equipment in use in Poland over the last 70 years. It is one of very few such studies in Europe.

Słowa kluczowe: radiotherapy, dosimetry, dose measurements.

Introduction

The aim of this study is to enable the interested readers to get familiar with the history of development of dosimetry equipment which followed increasing requirements concerning the measurement accuracy. The study is based on the collection of dosimeters gathered at the Medical Physics Department since the opening of the Radium Institute in Warsaw in 1932. This collection is representative of the variety of dosimeters which were used at regional radiotherapy centers countrywide, and which were acquired upon recommendation of the Centre of Oncology. It is also representative for equipment used at leading European centers whose treatment methods and dosimetry procedures were gradually introduced in Warsaw and in other Polish centres.

The material presented here is a result of a selection which had to be done in order to limit the size of the presentation and adapt it to the editorial requirements. The subjects of the study are only the dosimeters which make part of the collection of the Medical Physics Department. Therefore the descriptions of the dosimeters are mostly based on the long term experience in the use of them, and not only on the documentation provided by the manufacturers.

Only the dosimeters based on the measurement of ionization in air or solid state are presented. Other dosimeters, chemical, densitometric, calorimetric or thermoluminescent, are excluded.

We also do not discuss the measurement devices put together for the laboratory measurements, especially for the measurements of the activity of radium and other radioactive sources. The first dosimeter fulfilling the conditions necessary for the measurements of dose in X-ray beams was the Kuestner dosimeter, composed of a large ionization chamber coupled with a string electrometer.

This series of presentations has been divided into a number of parts which are to be published in subsequent editions of the journal. Each part contains descriptions of two dosimeters, structured so as to enable comparisons of their technical and physical parameters - introduction, construction and functioning. The text is illustrated with photographs of the external and internal view of the dosimeters, and with schematic illustrations of their construction and circuitry.

This series of articles will supplement the collection of dosimeters exhibited at the Medical Physics Department of the Centre of Oncology in Warsaw. From the point of view of the number of exhibits, their variety and the time scale of their gathering, the collection is unique in Poland and may only be rivaled by very few similar collections in Europe. We hope that the readers interested in the subject will provide additional information concerning old dosimetry equipment which may still exist in medical physics or radiotherapy departments. The authors would be very grateful for such information.

1. DAWKOMIERZ "KUESTNER" THE "KUESTNER" DOSIMETER

produkcja: Spindler & Hoyer, Gottingen, Niemcy

Wstęp

Wykonanie komory jonizacyjnej z elektrometrem strunowym według projektu dr Kuestnera (zrealizowanym na początku 1920 r.) zwróciło uwagę na metody jonizacyjne jako jedyne spełniające wymagania dokładności, powtarzal-

ności i jednoznaczności pomiaru dawek promieniowania X w terapii rentgenowskiej. Z uwagi na precyzyjne wykonanie oraz pewność działania, dawkomierz ten stał się podstawowym urządzeniem do pomiarów dozymetrycznych aparatury rentgenowskiej dla stosowanych ówczesznie energii promieniowania X. W zależności od energii stosowano

różne typy komór jonizacyjnych. Pomiar ładunków elektrycznych w wyniku jonizacji powietrza w komorze, wyrażano w jednostkach względnych w odniesieniu do wskaźnika standardu radowego. Pomiar bezwzględny, zgodnie z przyjętą w 1928 r. definicją rentgena, wymagały innej konstrukcji komory z wydzieloną elektrodą środkową i dwiema uziemionymi elektrodami bocznymi. Tego typu komory nie były używane w radioterapii.

Dawkomierze „Kuestner” produkowano w Getyndze, w Niemczech, w Zakładach Spindler & Hoyer.

Zakład Fizyki Medycznej posiada dwa dawkomierze „Kuestner” z dużymi komorami jonizacyjnymi do terapii głębokiej i pełnym dodatkowym wyposażeniem. Dawkomierze oznaczone są numerami: 123 i 192. Pierwszy z nich posiada świadectwo kalibracji z 1928 r.

Introduction

The construction of the ionization chamber with a string electrometer by Dr. Kuestner at the beginning of 1920's proved that ionization methods are the most accurate, reproducible and unequivocal measurements of doses in X ray radiotherapy. Due to its precise construction and reliability it soon became a basic tool for dosimetry of roentgenotherapy equipment in the radiation energy range used at the time. Depending on the energy and the type of therapy, various ionization chambers were used. The ionization of the air in the chamber was expressed in relative units referenced to a radium standard. The absolute measurements, according to the definition of roentgen (R) adopted in 1928, required a different construction of the chamber with a central electrode and two side electrodes at the ground potential. These chambers were not used in radiotherapy.

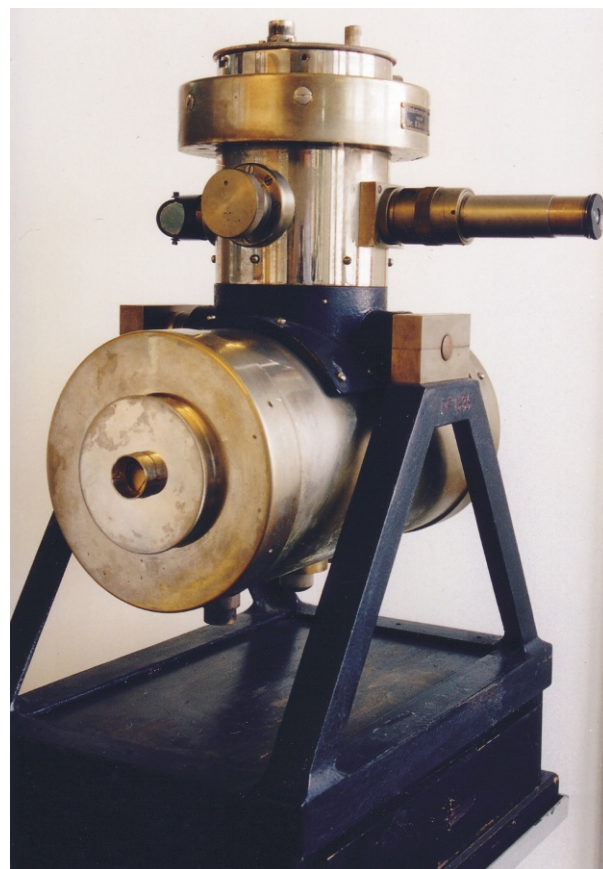
The Kuestner dosimeters were manufactured in Goettingen (Germany) by Spindler&Hoyer.

At the Medical Physics Department there are two Kuestner dosimeters with ionization chambers for deep roentgen rays radiotherapy, and with a complete set of accessories. Their serial numbers are: 123 and 192. The first one has a calibration certificate dated 1928.

Budowa

Wygląd zewnętrzny dawkomierza „Kuestner” o numerze seryjnym 123 ilustruje *Rycina 1*. Przedstawiony dawkomierz znajduje się w obudowie żeliwnej zapewniającej zmianę położenia osi symetrii komory w płaszczyźnie pionowej. Całość ustawiona jest na ruchomym statywie pozwalającym na wykonywanie wszelkich dodatkowych ruchów w dowolnej płaszczyźnie.

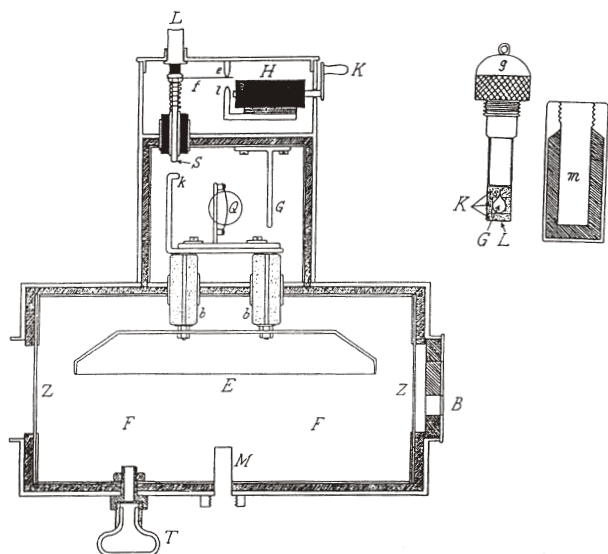
Przekrój podłużny dawkomierza używanego do terapii głębokiej przedstawiono na *Rycinie 2* [1,2,3]. Składa się on z dużej komory jonizacyjnej (F) o długości 30 cm i średnicy 15 cm, na której umieszczony jest elektrometr strunowy.



Rycina 1. Dawkomierz "Kuestner" produkcji Spindler & Hoyer oznaczony numerem 123.

Figure 1. Kuestner dosimeter no 123, produced by Spindler & Hoyer.

Komora jonizacyjna (F) oraz dolna część elektrometru wyłożona jest blachą ołowianą grubości 5 mm i przylegającą do niej blachą aluminiową grubości 1 mm. Elektroda wewnętrzna komory (E) wykonana jest z drutu aluminiowego grubości 0.5 mm rozpiętego na pałku połączonym z elektrometrem prętami metalowymi przechodzącymi przez dwa izolatory bursztynowe (b). Elektroda ta wraz z pałkiem widoczna jest na *Rycinie 3* będącą fotografią wnętrza komory. Otwory boczne przykrywa folia celuloidowa jednostronnie grafitowana (Z), zamykając objętość czynną komory jonizacyjnej. Osłony boczne stanowią mosiężne przykrywy wyłożone od strony wewnętrznej blachą ołowianą i aluminiową o grubościach jak na pozostałych częściach dawkomierza. Kołnierz zewnętrzny każdej przykrywy pozwala na mocowanie na nim diafragmy ołowianej (B), wyznaczającej drogę wiązki promieniowania X wewnątrz komory [2]. W dolnej części komory znajdują się dwa otwory przeznaczone do umieszczania w nich standardu radowego, używanego do kalibracji komory oraz pojemnika szklanego (T), zawierającego preparat do pochłaniania wilgoci. Otwór przeznaczony dla standardu radowego jest przykryty szczelną tuleją (M) wykonaną z elektronu (Mg-92.9%; Al-3.4%; Zn-3.3%; Cu-0.2%; $Z_{ef}=13$) zapewniającą małą absorpcję promieniowania radu.



Rycina 2. Przekrój podłużny dawkomierza "Kuestner" [2].

Komora jonizacyjna z elektrometrem

- F - komora jonizacyjna
- E - elektroda wewnętrzna
- Z - krążki z folii celulozowej
- B - diafragma ołowiana ograniczająca wiązkę promieniowania X
- b - izolatory bursztynowe
- Q - struna kwarcowa elektrometru
- H - wałek wykonany z bursztynu obracany korbką (K)
- L - przycisk z prętem metalowym (S)
- f - blaszka sprężynująca łącząca pręt (S) ze stykami (e) lub (l)
- k - wspornik metalowy łączący elektrodę (E) z maszynką elektrostatyczną
- M - tuleja wykonana z elektronu przykrywająca otwór na preparat radowy
- T - szklany pojemnik na substancję absorbującą wilgoć

Standardowy preparat radowy

- G - szklana ampulka z preparatem radowym
- K - korek osłaniający ampulkę z radem przed uszkodzeniem
- L - osłona preparatu radowego wykonana z elektronu
- g - uchwyt do umieszczenia standardu radowego w tulei (M)
- m - pojemnik ołowiany do przechowywania preparatu radowego

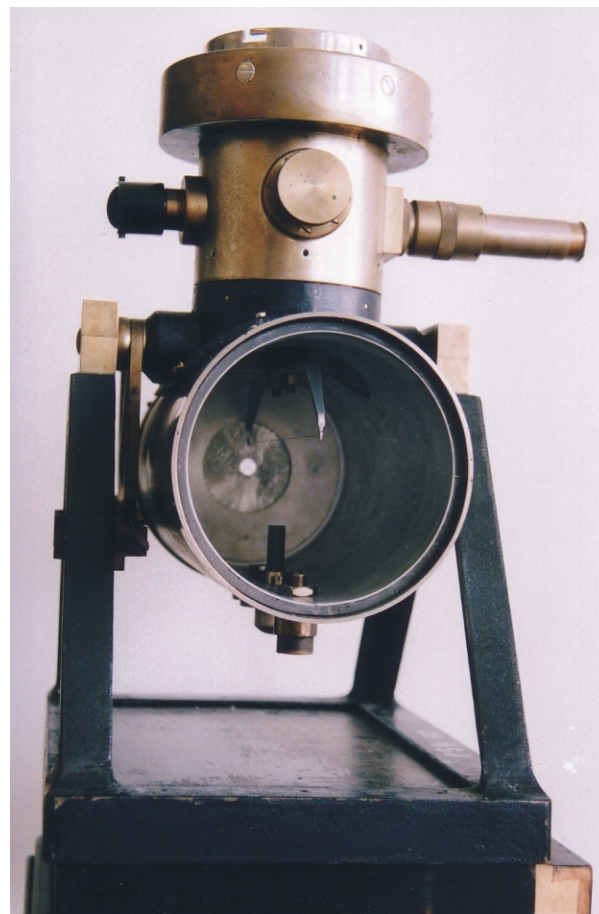
Figure 2. Longitudinal cross-section of the Kuestner dosimeter ionization chamber with electrometer

- F - ionization chamber
- E - central electrode
- Z - celluloid windows
- B - diaphragm limiting the X-ray beam
- b - amber insulators
- Q - quartz fibre string
- H - electrostatic cylindrical amber charger with a crank (K)
- L - press-button with a contact rod (S) to transfer the electric charge to the central electrode
- f - flat spring linking the rod (S) with the contacts (e) or (l)
- k - metal support linking the electrode (E) with the electrostatic charger
- M - cylinder made of electron alloy to which the radium sources are introduced
- T - glass container for a vapour absorbing material

Standard radium source

- G - glass tube with the radium material
- K - plug protecting the radium tube
- L - cover of the radium material made of electron alloy
- g - handle of the cover enabling to place it in cylinder (M)
- m - lead container to store the radium material

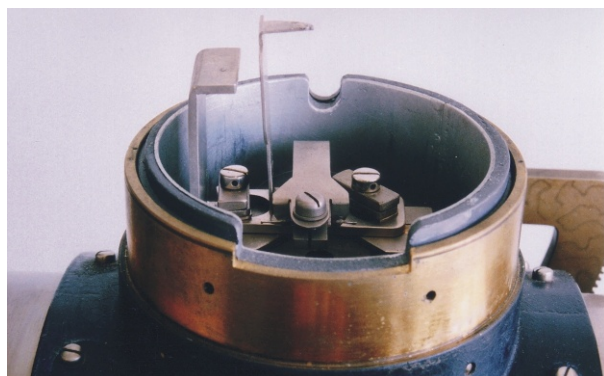
Elektrometr strunowy umieszczony jest nad komorą jonizacyjną. W dolnej części elektrometru osłoniętej blachą ołowianą znajduje się stojak metalowy z rozpiętą na nim struną (Q), znajdującą się w polu widzenia mikroskopu zaznaczonym kółkiem na Rycinie 2. W górnej części elek-



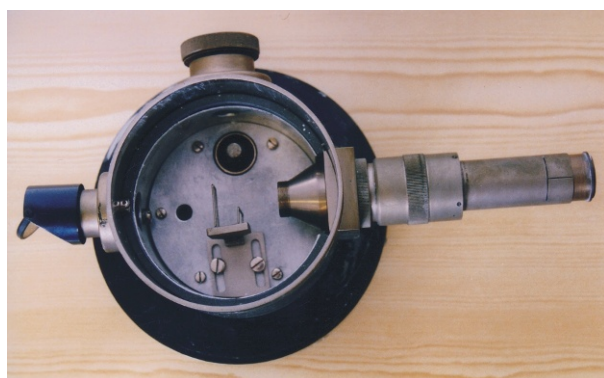
Rycina 3. Wnętrze komory jonizacyjnej z widoczną elektrodą wewnętrzną wykonaną z drutu 0.5 mm Al.

Figure 3. Interior of the standard chamber with a 0.5 mm aluminium wire electrode.

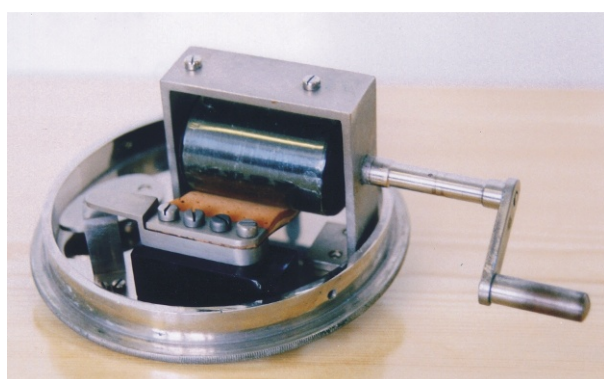
trometru umieszczona jest maszynka elektrostatyczna. Rozpięta pionowo struna elektrometru wykonana jest z włókna kwarcowego grubości 0.06 mm, powleczonego szlachetnym metalem [4]. Dla uzyskania wymaganej elastyczności dolna część struny przymocowana jest do strzemiączka wykonanego również z włókna kwarcowego niewidocznego na podanym przekroju elektrometru. Z prawej strony stojaka znajduje się uziemiony pręt metalowy (G), chroniący strunę przed nadmiernym wychyleniem mogącym doprowadzić do jej zerwania. Naciśnięcie przycisku (L) przerywa połączenie izolowanego bolca (S) z ziemią, łącząc go z maszynką elektrostatyczną (styki sprężynujące: f, e, l) oraz z elektrodą (E) poprzez zwarcie pręta (S) ze wspornikiem (k). Ładunki elektrostatyczne powstające w wyniku tarcia obracającego się bursztynowego walca (H) o powierzchnię skóry pokrytej amalgamatem rtęci, doprowadzane są do elektrometru i elektrody wewnętrznej. Obrót walca zapewnia korbka (K) wyprowadzona na zewnątrz elektrometru. Powiększony obraz nici na tle skali widoczny jest w mikroskopie. Pole widzenia mikroskopu oświetlane jest z dowolnego zewnętrznego źródła światła za pomocą



Rycina 4a. Dolna część elektrometru z metalowym stojakiem do zawieszania struny.
Figure 4a. Lower part of the electrometer with a metal construction for fixing the string.



Rycina 4b. Środkowa część elektrometru z układem optycznym.
Figure 4b. Middle part of the electrometer with a microscope and a mirror illuminating the field of view.



Rycina 4c. Górna część elektrometru z maszynką elektrostatyczną.
Figure 4c. Upper part of the electrometer with an electrostatic charger.

ruchomego lusterka przymocowanego do zewnętrznej obudowy elektrometru.

Szczegóły konstrukcji elektrometru przedstawione są na *Rycinach 4a, 4b, 4c*. W części dolnej elektrometru umocowanego na komorze jonizacyjnej (*Rycina 4a*) znajduje się stojak z rozpiętą struną połączoną z elektrodą wewnętrzną

komory. Część środkowa elektrometru (*Rycina 4b*) zawiera układ optyczny (mikroskop i lustro oświetlające skalę), izolowany bolec (S) oraz otwór zewnętrzny zakryty metalową nakrętką. W części górnej (*Rycina 4c*) będącej jednocześnie przykrywą elektrometru znajduje się maszynka elektrostatyczna z walcem obrotowym (H), podkładka skórzana oraz wewnętrzna część przycisku (L). Podane oznaczenia literowe zgodne są z oznaczeniami na *Rycinie 2*.

Dawkomierz wyposażony jest w standardowy preparat radowy o aktywności około 0.25 mgRa. Przekrój budowy tego preparatu znajduje się w prawym górnym rogu *Ryciny 2*. Szklana fiolka z preparatem radowym (G) otoczona warstwą korka (K) znajduje się w szczelnej tulei z elektronu (L) zakończonej gwintowaną śrubą metalową (g). Preparat nieużywany należy trzymać w ołowianym pojemniku (m) [2].

Możliwość nachylania komory pod różnymi kątami zapewnia mechanizm ślimakowy, będący częścią obudowy żeliwnej, do której przymocowany jest dawkomierz. Ma to na celu uzyskanie zgodności położenia osi komory wyznaczonej przednią i tylną diafragmą z osią wiązki promieniowania X.

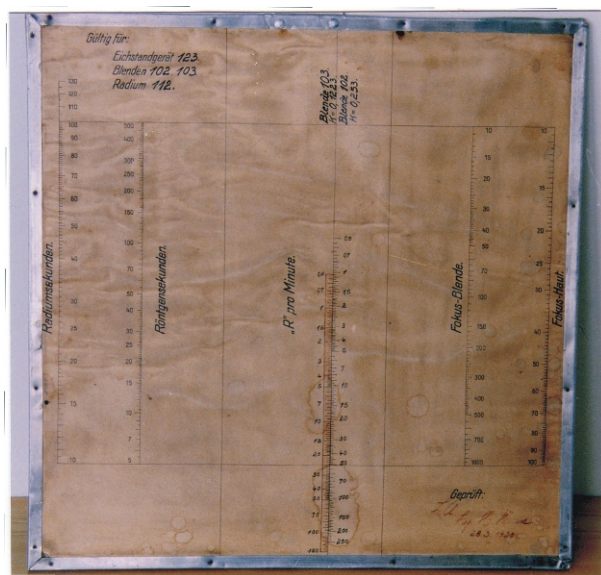
Dawkomierz „Kuestner” można wykorzystywać również jako urządzenie do ładowania i odczytu małych, indywidualnych komór jonizacyjnych. Służy do tego celu dodatkowy otwór w obudowie elektrometru zakryty metalową nakrętką.

Działanie

Konstrukcja dawkomierza „Kuestner” zapewnia pomiar jonizacji powietrza w wiązce promieniowania X, przechodzącej przez objętość czynną komory w zakresie nasycenia prądu jonizacji z wykorzystaniem wszystkich wtórnych elektronów oraz pominięciem oddziaływań promieniowania ze ściankami komory. Uzyskuje się to przepuszczając silnie skolimowaną wiązkę promieniowania X, wychodzącą z aparatu rentgenowskiego przez oba otwory w przedniej i tylnej diafragmie komory jonizacyjnej. Precyzyjne ustawienie komory wymaga dodatkowego sprawdzenia równoległości wiązki w odniesieniu do osi komory. W tym celu, w miejsce tylnej diafragmy należy wstawić diafragmę z ekranem fluorującym, na którym skrzyżowane linie wyznaczają położenie wiązki na wyjściu z komory. Padająca na ekran fluorujący wiązka widoczna jest w postaci jasnej plamki, której środek powinien pokrywać się z punktem przecięcia linii na ekranie. Obraz wiązki, z uwagi na ochronę radiologiczną, należy obserwować pod kątem 45°, a nie bezpośrednio. Do tego celu służy ruchome lustro, zdejmowane z układu optycznego elektrometru i zakładane na tuleję przymocowaną do obudowy diafragmy. W razie niezgodności należy przeprowadzić korekcję położenia wiązki.

Użytkowanie

Przed rozpoczęciem pomiarów należy sprawdzić upływność komory, która uwidacznia się zmianą położenia nici



Rycina 5. Świadectwo kalibracji wraz z monogramem dawkomierza "Kuestnera" nr 123 z 1928 r.

Figure 5. Calibration protocol of a Kuestner standard dosimeter dated 28.03.1928.

w czasie na skali elektrometru. Stwierdzenie znaczącej upływności wymaga oczyszczenia izolatorów.

Pierwszy pomiar przeprowadza się mierząc czas rozładowania elektrometru w możliwie pełnym zakresie skali, stosując jako źródło promieniowania standardowy preparat radowy. W drugim pomiarze źródłem promieniowania jest aparat rentgenowski. Pomiar czasu rozładowania elektrometru należy przeprowadzić również w pełnym zakresie skali. Dawkę w rentgenach oblicza się z zależności [2]:

$$D = K [t(\text{rad}) : t(\text{rtg})]$$

2. DAWKOMIERZ "HAMMER" THE "HAMMER" DOSIMETER

produkcja: Physikalische Technische Werkstatte, (PTW), Freiburg, Niemcy

Wstęp

Dawkomierz „Hammer” był jednym z pierwszych przyrządów dozymetrycznych dostosowanym do rutynowych pomiarów całkowitej dawki otrzymywanej przez pacjentów w radioterapii. Pomiar polegał na rejestrowaniu impulsów przychodzących z przekaźnika połączonego z komorą jonizacyjną. Suma wszystkich impulsów odpowiadała zaplanowanej dawce, po ustaleniu wielkości dawki przypadającej na jeden impuls dla używanej komory. Impulsowe pomiary dawek terapeutycznych wykorzystano w wielu późniejszych modelach i typach dawkomierzy. Jednym z pierwszych rozwiązań konstrukcyjnych było zastosowanie przekaźników elektrostatycznych w produkcji dawkomierzy „Hammer”. Wczesne modele tego dawkomierza zapewniały pomiar dawki całkowitej, dawki w dowolnym czasie ekspozycji

gdzie:

t(rad) - czas rozładowania elektrometru od źródła radowego (sek.).

t(rtg) - czas rozładowania elektrometru od wiązki promieniowania X (sek.).

K - stała wzorcowa podawana przez producenta dla każdej komory.

Dawka określana jest w punkcie padania wiązki promieniowania X na komorę.

Pomiary przeprowadza się w odległości 1 do 1.5 metra od ogniska lampy rentgenowskiej. Wyniki pomiarów należy poprawić na temperaturę i ciśnienie powietrza. Wymaganą dawkę dla odległości ogniska lampy – powierzchnia skóry pacjenta, wyznacza się z nomogramu załączonego do protokołu kalibracyjnego posiadanej komory [5]. Nomogram wraz z świadectwem kalibracji dawkomierza „Kuestner” z roku 1928 przedstawia Rycina 5.

Piśmiennictwo

1. Liechti A, Minder W. Röntgenphysik, Zweite Auflage. Springer Verlag, Wien 1955;217-32.
2. Kuestner H. Das Gottinger Eichstandardgerät, ein neues transportsicheres Dosimeter zeitlich konstanter Empfindlichkeit. Strahlentherapie 1927;24:501-16.
3. Jasiński W. Fizyczne podstawy promienioleczenia nowotworów. Warszawa: PZWL; 1950:175-92.
4. Pawłowski C. Notatki z wykładów: Miernictwo promieniowania rentgenowskiego i ciał promieniotwórczych. Politechnika Warszawska; 1950/51.
5. Protokół kalibracji dawkomierza „Kustnera”, egzemplarz nr 123, z dnia 28.03.1928. Zbiory Zakładu Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie.

oraz mocy dawki. Dawka całkowita była odczytywana bezpośrednio na urządzeniu rejestrującym w przyjętych jednostkach [rentgen (R)] bez konieczności stosowania dodatkowych przeliczeń. Wadą metody impulsowej jest mała dokładność pomiarów określana dawką na jeden impuls. W dawkomierzu „Hammer” wynosiła ona 5 R.

Dawkomierze „Hammer” produkowały Zakłady „Physikalische Technische Werkstatte GmbH” we Freiburgu (Niemcy) już od 1924 r. W zależności od roku produkcji wprowadzono kolejne zmiany w konstrukcji dawkomierza rozszerzające zakres badań klinicznych.

Zakład Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie posiadał dwa egzemplarze dawkomierza „Hammer”. Zostały one prawdopodobnie zakupione na otwarcie Instytutu Radowego w Warszawie przed rokiem 1932. Po zburzeniu i spaleniu Instytutu w czasie Powstania Warszawskiego

odnalezione i naprawione dawkomierze przez wiele lat pracowały w Zakładzie Fizyki Medycznej. W roku 1970 zostały przekazane do Składnicy Odpadów Promieniotwórczych w Świerku z uwagi na znaczącą aktywność standardów radowych.

Introduction

The Hammer dosimeter was one of the first devices used for routine measurements of doses received by patients in radiotherapy. The measurement was performed by registering the pulses representing certain doses characteristic for each ionization chamber. The sum of all registered pulses represents the measured dose. The method of pulse registration was later used in many types of dosimeters. One of the first methods of pulse counting was the use of electrostatic transmitters, which was applied in Hammer dosimeters. The early models of the dosimeter allowed for the measurement of the total dose, the dose during a certain time interval, and of the dose rate. The dose value was read directly from the device in predefined units (rentgen R) without the necessity of additional calculations. A drawback of the pulse method is limited accuracy of the dose value per pulse. In the case of the Hammer dosimeter and the standard chamber, the dose per pulse was 5 R.

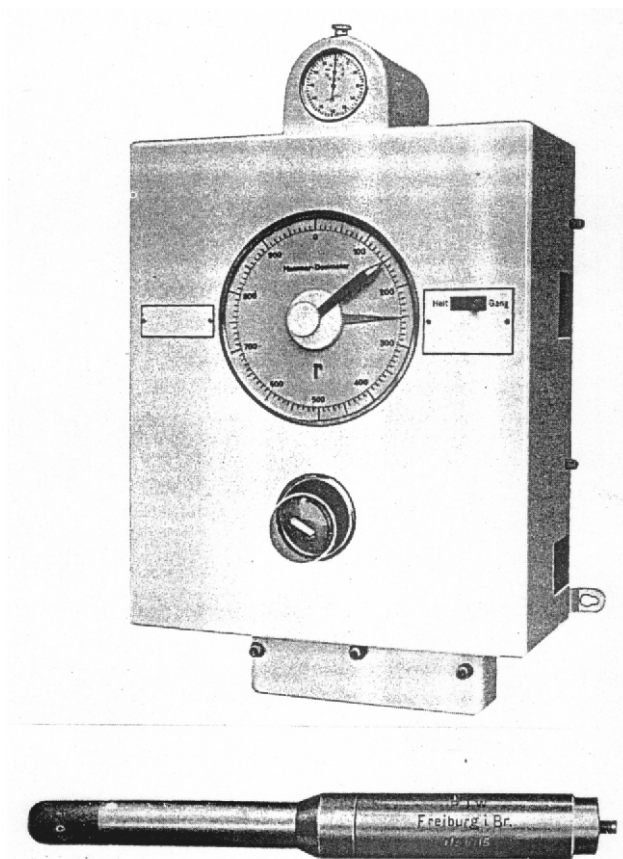
The Hammer dosimeters were manufactured at the Physikalische Technische Werkstaette (PTW) GMBH in Freiburg (Germany) already in 1924. The subsequent models of Hammer dosimeters were redesigned and equipped with additional accessories and with ionization chambers increasing the range of their clinical applications.

The Medical Physics Department had two Hammer dosimeters, most probably acquired at the time of opening of the Radium Institute prior to 1932. After the destruction of the Institute during the Warsaw Uprising, the dosimeters were recovered from the ruins. They were repaired and were in clinical use for a number of years. In the 1970's they had to be transferred to the Radioactive Waste Management Plant at Świerk because of the relatively high activity of the standard radium sources.

Budowa

Ryciny 1 i 2 przedstawiają fotografię jednego z modeli dawkomierza „Hammer”, oraz rysunek techniczny przedniej płyty obudowy dawkomierza z oznaczonymi elementami konstrukcyjnymi. Rycinę 1 uzupełniono widokiem przekaźnika elektrostatycznego połączonego z komorą jonizacyjną. Na Rycinie 2 widoczna jest taśma papierowa z wydrukowanymi punktami, połączona z drukarką umieszczoną wewnątrz obudowy, zaznaczoną szczeliną.

Dawkomierz składa się z bloku zasilającego (prostownik sieciowy i mechanizm tarczowy rejestrujący impulsy powstałe w wyniku pomiaru dawki) oraz przekaźnika elektro-



Rycina 1. Dawkomierz "Hammer" - fotografia wybrana z dokumentacji technicznej. Przeznaczony do zawieszenia na ścianie. Widoczna tarcza ze wskazówkami do nastawiania dawki. Z boku wyłącznik sieciowy. Poniżej wystająca część lampy prostowniczej. Na górnej obudowie stoper do pomiaru czasu ekspozycji. W dolnej części ryciny komora jonizacyjna wraz z przekaźnikiem elektrostatycznym we wspólnej obudowie metalowej.

Figure 1. A photograph of the Hammer dosimeter from the technical documentation of the apparatus. The dosimeter is designed to be hung on the wall. There is a dial to set-up the dose value and the mains switch on its side. Below the dial, part of the rectifier lamp is visible. There is a timer measuring the time of exposition on top of the panel. An ionization chamber with an electrostatic relay transmitter in a common metal casing is presented at the bottom of the figure.

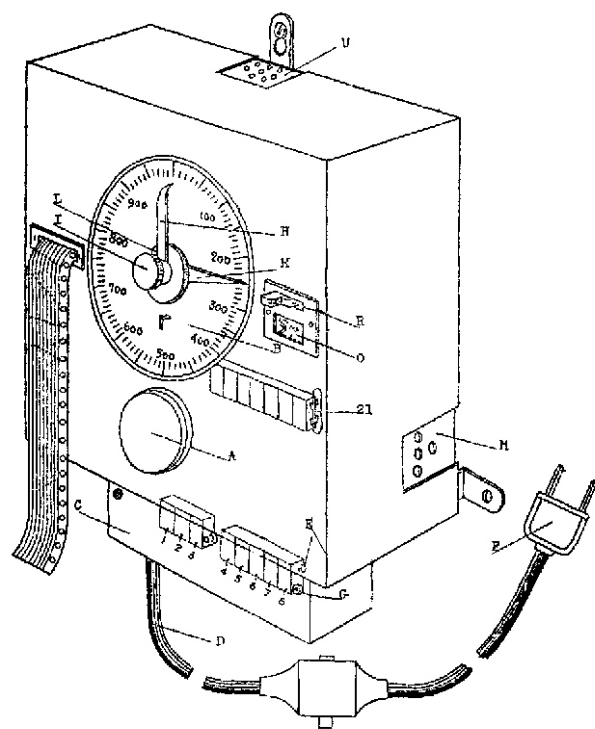
statycznego wraz z komorą jonizacyjną. Obie części łączą się ze sobą cztero przewodowym kablem.

Blok zasilający umieszczony jest w obudowie metalowej dostosowanej, w zależności od modelu, do zawieszania na ścianie lub ustawiania na stole. Na przedniej płycie obudowy znajduje się tarcza mechanizmu rejestrującego impulsy ze skalą dawek od 0 do 1000 R i podziałką co 10 R czemu odpowiadają dwa impulsy po 5 R dla komory normalnej. Tarcza mechanizmu rejestrującego wyposażona jest w dwie ruchome wskazówki ustawiane na zaplanowaną dawkę. W czasie pracy jedna z nich pozostaje nieruchoma, druga przesuwa się skokowo w miarę rejestrowanych impulsów. Po dojściu ruchomej wskazówki do zera, włącza się sygnalizacja akustyczna informująca o zakończeniu napromieniowania pacjenta. Jednocześnie następuje wyłączenie aparatu rentgenowskiego. W niektórych dawkomierzach na obudowie umieszczony jest stoper do pomiarów mocy

dawki. Na przedniej płycie obudowy znajduje się również wyłącznik sieciowy dawkomierza [1,2].

Przełącznik elektrostatyczny znajduje się w tulei metalowej wyłożonej grubą warstwą ołowiu stanowiącą ochronę przed promieniowaniem. Przełącznik połączony jest z jednej strony wtykiem z kablem wychodzącym z bloku zasilania, z drugiej strony posiada gniazdo do podłączenia wybranej komory jonizacyjnej. W nowszych rozwiązaniach wprowadzono wtyki i gniazda koncentryczne.

Dawkomierz „Hammer” poza komorą do terapii głębokiej



Rycina 2. Rysunek przedniej płyty obudowy dawkomierza „Hammer”

- A - osłona lampy prostowniczej
- B - tarcza do nastawiania zaprogramowanej dawki
- C - osłona metalowa listwy montażowej
- D - kabel sieciowy zakończony wtykiem (F)
- G - śruba mocująca listwę montażową (E)
- H - wskaźówka ruchoma ustawiana pokrętle (I)
- K - wskaźówka nieruchoma ustawiona pokrętle (L)
- M - gniazdo dla połączenia bloku zasilającego dawkomierza z przełącznikiem
- O - wskaźnik wartości dawki impulsowej
- R - wyłącznik sieciowy
- U - gniazdo do podłączenia dodatkowego wyposażenia
- 21 - wewnętrzna listwa izolacyjna

Figure 2. Schematic view of the front panel of the Hammer dosimeter

- A - cover of the rectifier lamp
- B - dial for setting-up dose value
- C - metal cover of the mounting bar
- D - mains cable with a plug (F)
- G - screw fixing the mounting bar (E)
- H - moving dial hand to be positioned with a handle (I)
- K - stationary handle to be positioned with a handle (L)
- M - socket for linking the power supply device of the dosimeter with the relay transmitter
- O - indicator of the dose value per pulse
- R - mains switch
- U - socket for attaching additional accessories
- 21 - internal installation bar

posiada również komory do specjalistycznej terapii dermatologicznej, półgłębokiej, do jam ciała i do pomiarów promieniowania rozproszonego dla potrzeb ochrony radiologicznej [2,3].

Kalibrację komory jonizacyjnej przeprowadza się korzystając ze standardu radowego znajdującego się na wyposażeniu dawkomierza. Wyposażenie uzupełniające dawkomierza:

Zegar połączony elektrycznie z dawkomierzem pozwala na pomiar czasu pomiędzy dwoma impulsami względnie dowolną ich liczbą. Służy do kalibracji komór jonizacyjnych ze standardem radowym [2].

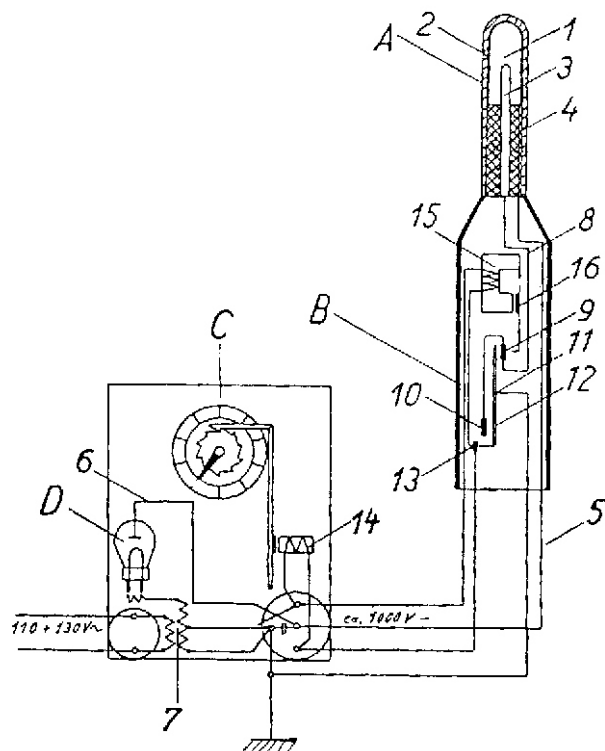
Drukarka drukuje na taśmie papierowej (w postaci punktów) impulsy przekazywane z przełącznika, kolejno przez 10 niezależnych, działających punktowo pisaków. Jednocześnie mechanizm napędowy przesuwają taśmę ruchem jednostajnym z ustaloną prędkością. Jeden rząd punktów odpowiada dawce $10 \times 5 R = 50 R$, a jego nachylenie wyznacza czas ekspozycji [2,3]. Odcinek taśmy z wydrukiem punktów dołączony do dokumentacji klinicznej pacjenta jest potwierdzeniem otrzymanej dawki, która została nastawiona na tarczy zegarowej.

Fantom wodny i fantom suchy służą do pomiaru dawki w ośrodku absorbującym. Komorę jonizacyjną w fantomie wodnym można ustawiać na dowolnej głębokości w fantomie suchym wypełnionym ryżem na głębokości 5, 10 i 15 cm. Komorę jonizacyjną wraz z przełącznikiem, przed umieszczeniem jej w fantomie wodnym należy zabezpieczyć cienką folią gumową. Położenie komory w stosunku do powierzchni wody rejestruje mechaniczny wskaźnik przymocowany do boku fantomu [2].

Działanie

Praca dawkomierza „Hammer” wynika z impulsowego działania przełącznika elektrostatycznego połączonego bezpośrednio z komorą jonizacyjną. Zasadę działania ilustruje Rycina 3. Komora jonizacyjna (A) wyznaczona jest jej objętością czynną (1). Wewnętrzna powierzchnia ścianek komory pokryta jest przewodzącą warstwą grafitu (2) połączoną bezpośrednio przewodem (5) z anodą (6) lampy prostowniczej (D). Elektroda wewnętrzna (3) przechodzi przez walec bursztynowy (4) izolujący ją od wewnętrznych ścianek komory (2). Lampa prostownicza z gorącą katodą (D) i transformatorem (7) wytwarza stałe napięcie około 1500 V. Elektroda wewnętrzna komory jest połączona przewodem (8) z płytkami (9 i 10) przełącznika elektrostatycznego (B). Listwa metalowa (12) umocowana na osi (11) może odchylić się w kierunku płytek, pomiędzy którymi się znajduje. Jest ona na stałe połączona z ziemią.

Umieszczenie komory w wiązce promieniowania X powoduje w wyniku jonizacji powietrza gromadzenie się ładunków elektrycznych na elektrodzie wewnętrznej. Ładunki te przewodem (8) przenoszone są na płytki (9 i 10) przełącznika elektrostatycznego. Przy wystarczająco dużym ła-



Rycina 3. Przekrój i schemat połączeń dawkomierza "Hammer"

- A - komora jonizacyjna
- B - przekaźnik elektrostatyczny
- C - układ mechaniczny do rejestracji dawek
- D - lampa prostownicza
- 1 - wnętrze komory jonizacyjnej
- 2 - grafitowana wewnętrzna powierzchnia komory
- 3 - elektroda wewnętrzna komory
- 4 - izolator przepustowy elektrody wewnętrznej komory
- 5 - przewód łączący anodę lampy prostowniczej z wewnętrzną powierzchnią komory
- 6 - anoda lampy prostowniczej
- 7 - transformator prostownika sieciowego
- 8 - przewód łączący elektrodę wewnętrzną z płytkami przekaźnika
- 9 - płytka przekaźnika elektrostatycznego
- 10 - płytka przekaźnika elektrostatycznego
- 11 - oś obrotu metalowej listwy
- 12 - listwa metalowa
- 13 - styk zamykający obwód elektromagnesu (14)
- 14 - elektromagnes mechanizmu zegarowego (C)
- 15 - elektromagnes powodujący uziemianie płytek (9 i 10)
- 16 - płytka przyciągana przez elektromagnes (15)

Figure 3. Cross-section and circuitry of the Hammer dosimeter

- A - ionization chamber
- B - electrostatic relay transmitter
- C - mechanical system of dose value registering
- D - rectifier lamp
- 1 - inner volume of the ionization chamber
- 2 - graphite cover of the inner surface of the thimble chamber
- 3 - central electrode
- 4 - insulator of the central electrode
- 5 - circuit linking the anode of the rectifying lamp with the inner surface of the thimble chamber
- 6 - anode of the rectifying lamp
- 7 - transformer of the mains rectifier
- 8 - circuit linking the central electrode to the contacts of the relay transmitter
- 9 - contacts of the relay transmitter
- 10 - contacts of the relay transmitter
- 11 - rotation axis of the metal bar
- 12 - metal bar
- 13 - contact closing the circuit of the electromagnet (14)
- 14 - electromagnet of the clock mechanism (C)
- 15 - electromagnet switching the contacts to the earth potential (9 i 10)
- 16 - contact attracted by the electromagnet (15)

dunku zgromadzonym na płytkach następuje przyciąganie metalowej listwy przez płytki i zwarcie styku (13), doprowadzając do zamknięcia obwodu elektromagnesu (14) przesuwającego mechanizm zegarowy o jedną działkę. Jednocześnie umieszczony w tym samym obwodzie elektromagnes (15) powoduje zwarcie styku (16), co prowadzi do usunięcia ładunków z płytek (9 i 10) i powrót listwy metalowej do stanu wyjściowej równowagi. Przekaznik jest tak ustawiony, że wielkość ładunku przyciągająca listwę metalową do płytek odpowiada dawce 5 R. Cała procedura powtarzana jest wielokrotnie, aż do uzyskania zaplanowanej dawki lub wyłączenia aparatu rentgenowskiego [1,2].

Piśmiennictwo

1. Voltz F. Die Strahlenbehandlung der weiblichen Genitalcarcinome, Methoden und Ergebnisse., Berlin: Urban & Schwarzenberg; 1930;50-4.
2. Dokumentacja techniczna firmy PTW Freiburg dotyczące dawkomierza „Hammer”. W zbiorach Zakładu Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie.
3. Dokumentacja techniczna Le Dosimetre de Hammer, Electra S.A.R.L. W zbiorach Zakładu Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie.