

## Artykuł Marii Skłodowskiej-Curie pt. „Radium & Radioactivity” oraz artykuł Ernesta Merritta pt. „New Element Radium” w czasopiśmie *Century Magazine* z 1904 r.

Joel O. Lubenau<sup>1</sup>, Richard F. Mould<sup>2</sup>

Niniejszy artykuł jest pełną wersją (przedrukiem) artykułu Marii Curie, który ukazał się w styczniowym numerze „*Century Magazine*” z 1904 r. Ponadto omówiony jest poprzedzający go artykuł Ernesta Merritta, profesora fizyki na Uniwersytecie Cornella (USA) również na temat radu. Dołączono do tego materiał biograficzny na temat prof. Merritta. Był on jednym z pierwszych fizyków w USA, który w lutym 1896 r. wykonał zdjęcie rentgenowskie ręki. Zdjęcie to znajduje się w Jego artykule z 1904 r. Omówiono również zdjęcia rentgenowskie wykonane w USA w okresie styczeń-luty 1896 r. Podano listę fizyków, inżynierów elektryków i osób innych specjalności, którzy wykonywali tzw. „cieniogramy” („shadowgraphs” lub „skiagraphs”) i wreszcie zdjęcia rtg, wraz z odpowiednimi odnośnikami do pism takich jak *Science* czy *Electrical Engineer*.

### “Radium & Radioactivity” by Maria Skłodowska-Curie & “The New Element Radium” by Ernest Merritt from the *Century Magazine* of 1904

Marie Curie’s January 1904 article in the *Century Magazine* is republished in full. In addition, the preceding article in the *Century Magazine* which is also about radium, written Ernest Merritt, Professor of Physics at Cornell University, is commented upon. Biographical material on Merritt is also included. He was one of the first in the USA {in February 1896} to make an X-ray photograph of a hand. This radiograph is contained in his 1904 paper. Commentary is also given on X-ray pictures made in the USA in January/February 1896 and the physicists, electrical engineers and other professions who took these shadowgraphs/skiagraphs/X-ray pictures are listed with references from journals such as *Science* and *Electrical Engineer*.

**Słowa kluczowe:** Maria Skłodowska-Curie, Pierre Curie, Antoine-Henri Becquerel, Eugene Demarçay, rad, promieniotwórczość, teoria dezintegracji, polon, aktyn, tor, promienie rtg, pierwsze zdjęcia rtg w USA, uran, smółka uranowa, Ernest Merritt, promienie rtg, Carl Auer von Welsbach, torowa koszulka gazowa (tzw. koszulka Auera)

**Key words:** Maria Skłodowska-Curie, Pierre Curie, Antoine-Henri Becquerel, Eugene Demarçay, radium, radioactivity, disintegration theory, polonium, actinium, thorium, X-rays, X-ray imaging priority in the USA, uranium, pitchblende, Ernest Merritt, X-rays, Carl Auer von Welsbach, thorium gas mantles

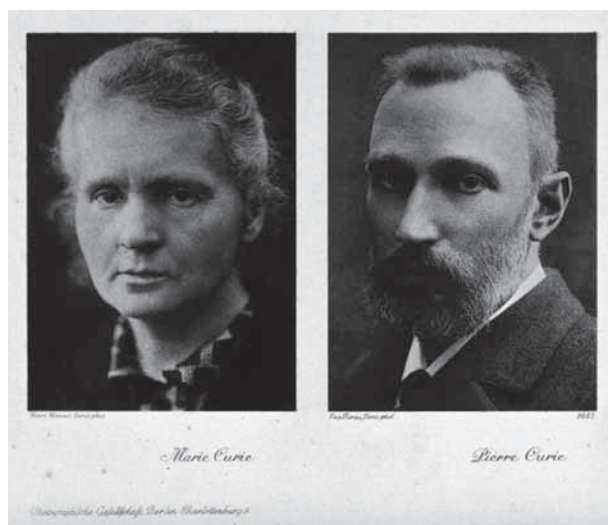
### Wstęp

Rok 1904

Celem niniejszego artykułu jest przedrukowanie pewnego artykułu Marii Skłodowskiej-Curie pt. *Radium & Radioactivity* [1] ze styczniowego numeru pisma *Century Magazine* z 1904 r. oraz omówienie innego artykułu autorstwa Ernesta Merritta z Uniwersytetu Cornella (USA) pt. *The New Element Radium* [2]. Małżonkowie Curie donieśli o swoich pracach w *Comptes rendus de l’Académie des sciences* [3] 26 grudnia 1898 r. i dlatego na początku 1904 r. świat nauki wiedział o istnieniu

<sup>1</sup> Emeritus Certified Health Physicist  
Lititz  
USA

<sup>2</sup> Cartmel, Grange-over-Sands  
Cumbria  
United Kingdom



**Ryc. 1.** Prawdopodobnie ostatnie wspólne fotografie Marii i Piotra Curie. Piotr zmarł w 1906 r. Ze słów zamieszczonych na dole obu portretów wynika, że zostały one zrobione w Charlottenburgu w Berlinie

radu dopiero od pięciu lat (**Rycina 1** niniejszej pracy). Rok 1904 jest ważny również z tego względu, że był on rokiem wydania pierwszego numeru pisma *Le Radium*, jak również początku dostaw radu przez firmę Armet de Lisle z fabryki w miejscowości Nogent-sur-Marne niedaleko Paryża. A co więcej, był to rok, w którym opublikowano wiele książek (udało się ustalić ich liczbę na 21) na temat radu [4-24]. Niewiele książek na ten temat wydano w latach 1902-1903, łącznie mniej niż pięć. Prawdopodobnie przyczyną było to, że większość autorów czekała na publikację pracy doktorskiej Marii Curie w 1903 r. i na 5. rocznicę odkrycia radu.

#### Artykuły popularno-naukowe na temat radu

Trudno jest znaleźć w języku angielskim artykuły popularno-naukowe autorstwa Marii Curie lub Piotra Curie (tzn. takie, które mają jako odbiorców nie tylko ogół społeczeństwa, ale także osoby o zainteresowaniach naukowych) w zwykłych czasopismach w odróżnieniu od czasopism naukowych typu *Comptes rendus de l'Académie des sciences* lub znaleźć artykuły o charakterze wywiadów przeprowadzanych przez dziennikarzy z małżonkami Curie. Najbardziej znany wywiad, jakiego udzielił Piotr Curie w 1903 r. Clevelandowi Moffetowi z czasopisma *Strand Magazine* [27, 28], zawiera trzy artystycznie wykonane rysunki, przedstawiające Piotra Curie na Sorbonie w trakcie prowadzenia doświadczeń, w trakcie stosowania źródła radowego do czytania w zaciemnionym pokoju oraz przy badaniu diamentów w czasie przyjęcia w Lille.

#### *The Strand Magazine*

Słynne pismo *The Strand Magazine* ukazywało się od stycznia 1891 r. do marca 1950 r. Pismo to od lipca 1891 r. publikowało wiele z serii opowiadań detektyw-

wistycznych z udziałem Sherlocka Holmesa autorstwa Conana Doyle'a. Na łamach *The Strand Magazine* ogłaszali swoje prace H. G. Wells, Edith Nesbit i W. W. Jacobs. Dzięki związkom z opowiadaniem o Sherlocku Holmesie wielu innych autorów, takich jak Agatha Christie i Dorothy Sayers, publikowało tu również swoje powieści kryminalne. Wreszcie regularnymi współpracownikami pisma byli inni znani autorzy, np. S. Maughan, R. Kipling, E. Wallace, W. Churchill, P. G. Wodehouse i G. K. Chesterton.

#### Maria Curie w USA w 1921 r.

Istnieją dwa popularno-naukowe artykuły Marii Curie. Jeden został opublikowany w mało znanym technicznym piśmie *Chemical & Metallurgical Engineering*, w 1921 r. w Nowym Jorku. Pismo to na swojej okładce wyjaśniało, że „jest to tygodnik poświęcony sprawom technicznym, zajmujący się zagadnieniami związanymi z przemysłem elektrotechnicznym i metalurgicznym oraz zagadnieniami związanymi z żelazem i stalą”. Ów pierwszy artykuł został opublikowany w czasie zjazdu oddziału Chicagowskiego Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego 4 czerwca 1921 r., kiedy to Maria Curie otrzymała Medal Willarda Gibbsa [27, 28]. Drugi artykuł, również z okresu Jej wizyty w USA w 1921 r., jest przemówieniem samej Marii Curie, wygłoszonym podczas odwiedzin w Vassar College [27, 28].

#### Maria Curie i Edward Merritt

W niespodziewany sposób odkryliśmy artykuł Marii Curie we styczniowym numerze *Century Magazine*, dostępny na stronie internetowej Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles [1, 30]. Inną niespodzianką było znalezienie w tym samym numerze artykułu poprzedzającego artykuł Marii Curie, napisanego przez Ernesta Merritta, profesora fizyki Uniwersytetu Cornella, pt. *The New Element Radium* [2].

#### *The Century Magazine*

Pismo *The Century Magazine* było wydawane w Nowym Jorku od 1881 r. do 1930 r.; zastąpiło ono pismo *W Scribner's Monthly Magazine*. Zawartość tego pisma była dość eklektyczna: znalazły się w nim artykuły poświęcone podróżom, polityce, sprawom bieżącym, jak i zagadnieniom ogólnym z dziedziny poezji i beletrystyki. Przykładowo, w numerze zawierającym artykuły Marii Curie i Edwarda Merritta opublikowano również pierwszy odcinek 11-odcinkowej powieści Jacka Londona pt. *The Sea Wolf (Wilk morski)*.

#### Nagroda Nobla w dziedzinie chemii z 1911 r.

W 2011 r. przypada stulecie przyznania Marii Curie Nagrody Nobla z dziedziny chemii, jak również z powodu wcześniej publikowanych materiałów biograficznych

związanych z Marią i Piotrem Curie oraz Henri Becquerelem na temat polonu i sztucznej promieniotwórczości [2, 31-35] wydaje się rzeczą odpowiednią, aby w niniejszym numerze *Nowotworów* przedrukować ów artykuł Marii Curie z 1904 r.

### **Maria Skłodowska-Curie, *Century Magazine* 1904 r.**

Czcionka pogrubiona (lub tytuły podrozdziałów) nie była stosowana w oryginalnym tekście z 1904 r., my użyliśmy jej w niniejszym artykule w *Nowotworach*, aby uwypuklić pewne aspekty tego artykułu, łącznie z nazwiskami uczonych np. Pierre Curie, Antonie-Henri Becquerel, Eugène Demarçay i André Debierne, jak również zastosowania, np. do obrazowania.

“The discovery of the phenomena of radioactivity adds a new group to the great number of invisible radiations now known, and once more we are forced to recognize how limited is our direct perception of the world which surrounds us, and how numerous and varied may be the phenomena which we pass without a suspicion of their existence until the day when a fortunate hazard reveals them.

The radiations longest known to us are those capable of acting directly upon our senses; such are the rays of sound and light. But it has also long been recognized that, besides light itself, warm bodies emit rays in every respect analogous to luminous rays, though they do not possess the power of directly impressing our retina. Among such radiations, some, the infrared, announce themselves to us by producing a measurable rise of temperature in the bodies which receive them, while others, the ultra-violet, act with specially great intensity upon photographic plates. We have here a first example of rays only indirectly accessible to us.

Yet further surprises in this domain of invisible radiations were reserved for us. The researches of two great physicists, **Maxwell** and **Hertz**, showed that electric and magnetic effects are propagated in the same manner as light, and that there exist “electromagnetic radiations,” similar to luminous radiations, which are to the infrared rays what these latter are to light. These are the electromagnetic radiations which are used for the transmission of messages in wireless telegraphy. They are present in the space around us whenever an electric phenomenon is produced, especially a lightning discharge. Their presence may be established by the use of special apparatus, and here again the testimony of our senses appears only in an indirect manner. If we consider these radiations in their entirety – the **ultra-violet**, the luminous, the **infra-red**, and the electromagnetic – we find that the radiations we see constitute but an insignificant fraction of those that exist in space. But it is human nature to believe that the phenomena we know are the only ones that exist, and whenever some chance discovery extends the limits of our knowledge we are filled with amazement. We cannot become accustomed to the idea that we live in a world that is revealed to us only in a restricted portion of its manifestations.

Among recent scientific achievements which have attracted most attention must be placed the discovery of **cathode rays**, and in even greater measure that of **Roentgen rays**. These rays are produced in vacuum-tubes when an electric discharge is passed through the rarefied gas. The prevalent opinion among physicists is that cathode rays are formed by extremely small material particles, charged with negative electricity, and thrown off with great velocity from the cathode, or negative electrode, of the tube. When the cathode rays meet the glass wall of the tube they render it vividly fluorescent. These rays can be deflected from their straight path by the action of a magnet. Whenever they encounter a solid obstacle, the emission of Roentgen rays is the result. These latter can traverse the glass

and propagate themselves through the outside air. They differ from cathode rays in that they carry no electric charge and are not deflected from their course by the action of a magnet. Everyone knows the effect of **Roentgen rays** upon photographic plates and upon fluorescent screens, the radiographs obtainable from them, and their **application in surgery**.

The discovery of **Becquerel rays** dates from a few years after that of Roentgen rays. At first they were much less noticed. The world, attracted by the sensational discovery of Roentgen rays, was less inclined to astonishment. On all sides a search was instituted by similar processes for new rays, and announcements of phenomena were made that have not always been confirmed. It has been only gradually that the positive existence of a new radiation has been established. The merit of this discovery belongs to **M. Becquerel**, who succeeded in demonstrating that uranium and its compounds spontaneously emit rays that are able to traverse opaque bodies and to affect photographic plates.

It was at the close of the year 1897 that I began to study the compounds of uranium, the properties of which had greatly attracted my interest. Here was a substance emitting spontaneously and continuously radiations similar to Roentgen rays, whereas ordinarily Roentgen rays can be produced only in a vacuum-tube with the expenditure of energy. By what process can **uranium** furnish the same rays without expenditure of energy and without undergoing any modification? Is uranium the only body whose compounds emit similar rays? Such were the questions I asked myself, and it was while seeking to answer them that I entered into the researches which have led to the discovery of radium.

First of all, I studied the radiation of the compounds of **uranium**. Instead of making these bodies act upon photographic plates, I preferred to determine the intensity of their radiation by measuring the conductivity of the air exposed to the action of the rays. To make this measurement, one can determine the speed with which the rays discharge an electroscope, and thus obtain data for a comparison. I found in this way that the radiation of uranium is very constant, varying neither with the temperature nor with the illumination. I likewise observed that all the compounds of uranium are active, and that they are more active the greater the proportion of this metal which they contain. Thus I reached the conviction that the emission of rays by the compounds of uranium is a property of the metal itself – that it is an atomic property of the element uranium independent of its chemical or physical state. I then began to investigate the different known chemical elements, to determine whether there exist others, besides uranium, that are endowed with atomic radioactivity – that is to say, all the compounds of which emit Becquerel rays. It was easy for me to procure samples of all the ordinary substances – the common metals and metalloids, oxides and salts. But as I desired to make a very thorough investigation, I had recourse to different chemists, who put at my disposal specimens – in some cases the only ones in existence – containing very rare elements. I thus was enabled to pass in review all the chemical elements and to examine them in the state of one or more of their compounds. I found but one element undoubtedly possessing atomic radioactivity in measurable degree. This element is **thorium**. All the compounds of **thorium** are radioactive, and with about the same intensity as the similar compounds of uranium. As to the other substances, they showed no appreciable radioactivity under the conditions of the test.

I likewise examined certain minerals. I found, as I expected, that the minerals of uranium and thorium are radioactive; but to my great astonishment I discovered that some are much more active than the oxides of uranium and of thorium which they contain. Thus a specimen of pitch-blende (oxide of uranium ore) was found to be four times more active than oxide of uranium itself. This observation astonished me greatly. What explanation could there be for it? How could an ore, conta-

ining many substances which I had proved inactive, be more active than the active substances of which it was formed? The answer came to me immediately: The ore must contain a substance more radioactive than uranium and thorium, and this substance must necessarily be a chemical element as yet unknown; moreover, it can exist in the pitch-blende only in small quantities, else it would not have escaped the many analyses of this ore; but, on the other hand, it must possess intense radioactivity, since, although present in small amount, it produces such remarkable effects. I tried to verify my hypothesis by treating pitch-blende by the ordinary processes of chemical analysis, thinking it probable that the new substance would be concentrated in passing through certain stages of the process. I performed several experiments of this nature, and found that the ore could in fact be separated into portions some of which were much more radioactive than others.

To try to isolate the suspected new element was a great temptation. I did not know whether this undertaking would be difficult. Of the new element I knew nothing except that it was radioactive. What were its chemical properties? In what quantity did it appear in pitch-blende? I began the analysis of pitch-blende by separating it into its constituent elements, which are very numerous. This task I undertook in conjunction with **M. Curie**. We expected that perhaps a few weeks would suffice to solve the problem. We did not suspect that we had begun a work which was to occupy years and which was brought to a successful issue only after considerable expenditure.

We readily proved that pitch-blende contains very radioactive substances, and that there were at least three. That which accompanies the **bismuth** extracted from pitchblende we named **Polonium**; that which accompanies **barium** from the same source we named **Radium**; finally, **M. Debierne** gave the name of **Actinium** to a substance which is found in the rare earths obtained from the same ore.

Radium was to us from the beginning of our work a source of much satisfaction. **Demarçay**, who examined the **spectrum** of our radioactive barium, found in it new rays and confirmed us in our belief that we had indeed discovered a new element.

The question now was to separate the polonium from the bismuth, the radium from the barium. This is the task that has occupied us for years, and as yet we have succeeded only in the case of radium. The research has been a most difficult one. We found that by crystallizing out the chloride of radioactive barium from a solution we obtained crystals that were more radioactive, and consequently richer in radium, than the chloride that remained dissolved. It was only necessary to make repeated crystallizations to obtain finally a pure chloride of radium.

But although we treated as much as **50 kilograms** of primary substance, and crystallized the chloride of radiferous barium thus obtained until the activity was concentrated in a few minute crystals, these crystals still contained chiefly chloride of barium; as yet radium was present only in traces, and we saw that we could not finish our experiments with the means at hand in our laboratory. At the same time the desire to succeed grew stronger; for it became evident that radium must possess most intense radioactivity, and that the isolation of this body was therefore an object of the highest interest.

Fortunately for us, the curious properties of these radium-bearing compounds had already attracted general attention and we were assisted in our search.

A **chemical factory** in Paris consented to undertake the extraction of radium on a large scale. We also received certain pecuniary assistance, which allowed us to treat a large quantity of ore. The most important of these grants was one of **20,000 francs**, for which we are indebted to the **Institute of France**.

We were thus enabled to treat successively about seven tons of a primary substance which was the residue of pitch-blende after the extraction of uranium. Today we know that a ton of this residue contains from 2-3 decigrams (from 4/10,000 to 7/10,000 of a pound) of radium. During this treatment, and as

soon as I had in my possession a decigram of chloride of radium recognized as pure by the **spectroscope**, I determined the atomic weight of this new element, finding it to be **225**, while that of barium is **137**.

The properties of radium are extremely curious. This body emits with great intensity all of the different rays that are produced in a vacuum-tube. The radiation, measured by means of an **electroscope**, is at least a million times more powerful than that from an equal quantity of uranium. A charged electroscope placed at a distance of several meters can be discharged by a few centigrams of a radium salt. One can also discharge an electroscope through a screen of glass or lead 5 or 6 cm thick. Photographic plates placed in the vicinity of radium are also instantly affected if no screen intercepts the rays; with screens, the action is slower, but it still takes place through very thick ones if the exposure is sufficiently long. Radium can therefore be used in the **production of radiographs**.

The compounds of radium are spontaneously luminous. The chloride and bromide, freshly prepared and free from water, emit a light which resembles that of a **glow worm**. This light diminishes rapidly in moist air; if the salt is in a sealed tube, it diminishes slowly by reason of the transformation of the white salt, which becomes colored, but the light never completely disappears. By redissolving the salt and drying it anew, its original luminosity is restored.

A glass vessel containing radium spontaneously charges itself with electricity. If the glass has a weak spot, – for example, if it is scratched by a file, – an electric spark is produced at that point, the vessel crumbles like a Leiden jar when overcharged, and the electric shock of the rupture is felt by the fingers holding the glass.

Radium possesses the remarkable property of **liberating heat spontaneously and continuously**. A solid salt of radium develops a quantity of heat such that for each gram of radium contained in the salt there is an emission of 100 calories per hour. Expressed differently, radium can melt in an hour its weight in ice. When we reflect that radium acts in this manner continuously, we are amazed at the amount of heat produced, for it can be explained by no known chemical reaction. The radium remains apparently unchanged. If, then, we assume that it undergoes a transformation, we must therefore conclude that the change is extremely slow; in an

hour it is impossible to detect a change by any known methods.

As a result of its emission of heat, radium always possesses a higher temperature than its surroundings. This fact may be established by means of a thermometer, if care is taken to prevent the radium from losing heat.

Radium has the power of communicating its radioactivity to surrounding bodies. This is a property possessed by solutions of radium salts even more than by the solid salts. When a solution of a radium salt is placed in a closed vessel, the radioactivity in part leaves the solution and distributes itself through the vessel, the walls of which become radioactive and luminous. The radiation is therefore in part exteriorized. We may assume, with **Mr. Rutherford**, that radium emits a radioactive gas and that this spreads through the surrounding air and over the surface of neighboring objects. This gas has received the name **emanation**. It differs from ordinary gas in the fact that it gradually disappears.

Certain bodies – bismuth, for instance – may also be rendered active by keeping them in solution with the salts of radium. These bodies then become atomically active, and keep this radioactivity even after chemical transformations. Little by little, however, they lose it, while the activity of radium persists.

The nature of radium radiations is very complex. They may be divided into **three** distinct groups, according to their properties. **One group** is composed of radiations absolutely analogous to **cathode rays**, composed of material particles called electrons, much smaller than atoms, negatively charged, and

projected from the radium with great velocity – a velocity which for some of these rays is very little inferior to that of light. The **second group** is composed of radiations which are believed to be formed by material particles the mass of which is comparable to that of atoms, charged with positive electricity, and set in motion by radium with a great velocity, but one that is inferior to that of the electrons. Being larger than electrons and possessing at the same time a smaller velocity, these particles have more difficulty in traversing obstacles and form rays that are less penetrating. Finally, the radiations of the **third group** are analogous to **Roentgen rays** and do not behave like projectiles.

The radiations of the first group are easily deflected by a magnet; those of the second group, less easily and in the opposite direction; those of the third group are not deflected. From its power of emitting these three kinds of rays, radium may be likened to a complete little **Crookes tube** acting spontaneously.

Radium is a body which gives out energy continuously and spontaneously. This liberation of energy is manifested in the different effects of its radiation and emanation, and especially in the development of heat. Now, according to the most fundamental principles of modern science, the universe contains a certain definite provision of energy, which can appear under various forms, but cannot be increased.

Without renouncing this conception, we cannot believe that radium creates the energy which it emits; but it can either absorb energy continuously from without, or possess in itself a reserve of energy sufficient to act during a period of years without visible modification. The first theory we may develop by supposing that space is traversed by radiations that are as yet unknown to us, and that radium is able to absorb these radiations and transform their energy into the energy of radioactivity. Thus in a vacuum-tube the electric energy is utilized to produce cathode rays, and the energy of the latter is partly transformed, by the bodies which absorb them into

the energy of Roentgen rays. It is true that we have no proof of the existence of radiations which produce radioactivity; but, as indicated at the beginning of this article, there is nothing improbable in supposing that such radiations exist about us without our suspecting it.

If we assume that radium contains a supply of energy which it gives out little by little, we are led to believe that this body does not remain unchanged, as it appears to, but that it undergoes an extremely slow change. Several reasons speak in favor of this view. First, the emission of heat, which makes it seem probable that a chemical reaction is taking place in the radium. But this can be no ordinary chemical reaction, affecting the combination of atoms in the molecule. No chemical reaction can explain the emission of heat due to radium. Furthermore, radioactivity is a property of the atom of radium; if, then, it is due to a transformation this transformation must take place in the atom itself. Consequently, from this point of view, the atom of radium would be in a process of evolution, and we should be forced to abandon the theory of the invariability of atoms, which is at the foundation of **modern chemistry**.

Moreover, we have seen that radium acts as though it shot out into space a shower of projectiles, some of which have the dimensions of atoms, while others can only be very small fractions of atoms. If this image corresponds to a reality, it follows necessarily that the atom of radium breaks up into subatoms of different sizes, unless these projectiles come from the atoms of the surrounding gas, disintegrated by the action of radium; but this view would likewise lead us to believe that the stability of atoms is not absolute.

Radium emits continuously a radioactive emanation which, from many points of view, possesses the properties of a gas. **Mr. Rutherford** considers the emanation as one of the results of the disintegration of the atom of radium, and believes it to be an unstable gas which is itself slowly decomposed.

**Professor Ramsay** has announced that radium emits helium gas continuously. If this very important fact is confir-

med, it will show that a transformation is occurring either in the atom of radium or in the neighboring atoms, and a proof will exist that the **transmutation of the elements** is possible.

When a body that has remained in solution with radium becomes radioactive, the chemical properties of this body are modified, and here again it seems as though we have to deal with a modification of the atom. It would be very interesting to see whether, by thus giving radioactivity to bodies, we can succeed in causing an appreciable change in their atoms. We should thus have a means of producing certain transformations of elements at will.

It is seen that the study of the properties of radium is of great interest. This is true also of the other strongly radioactive substances, polonium and actinium, which are less known because their preparation is still more difficult. All are found in the **ores of uranium and thorium**, and this fact is certainly not the result of chance, but must have some connection with the manner of formation of these elements. **Polonium**, when it has just been extracted from pitch-blende, is as active as radium, but its radioactivity slowly disappears; **actinium** has a persistent activity. These two bodies differ from radium in many ways; their study should therefore be fertile in new results. **Actinium** lends itself readily to the study of the emanation and of the radioactivity produced in inactive bodies, since it gives out emanation in great quantity. It would also be interesting, from the chemical point of view, to prove that polonium and actinium contain new elements. Finally, one might seek out still other strongly radioactive substances and study them.

But all these investigations are exceedingly difficult because of the obstacles encountered in the preparation of strongly radioactive substances. At the present time we possess only about a gram of pure salts of radium. Research in all branches of experimental science – physics, chemistry, physiology, medicine – is impeded, and a whole evolution in science is retarded, by the lack of this precious and unique material, which can now be obtained only at great expense. We must now look to individual initiative to come to the aid of science, as it has so often done in the past, and to facilitate and expedite by generous gifts the success of researches the influence of which may be far-reaching.”

### **Ernest Merritt, *Century Magazine* 1904 r.**

Artykuł Marii Curie jest poprzedzony historycznym przeglądem autorstwa Ernesta Merritta, poświęconym temu, jak doszło do odkrycia radu i ewentualnemu naukowemu znaczeniu tego odkrycia. W przeciwieństwie do artykułu Marii Curie, artykuł Merritta jest bogato ilustrowany 9 rysunkami odnoszącymi się do doświadczeń z radem i jedną fotografią Henri Becquerela oraz jedną fotografią Marii i Piotra Curie z córką Ireną w ogrodzie ich domu w Sèvres w czasie, kiedy Piotr Curie był profesorem fizyki na Sorbonie, a Maria uczyła w École Normale w Sèvres.

Notatki z wykładów Marii Curie w tym czasie zostały wykonane przez Isabelle Chavannes w 1907 r. [36]. Angielskie tłumaczenie pracy doktorskiej Marii Curie z 1903 r. [25] zostało niedawno opublikowane w 2002 r. [37].

Rysunki i podpisy pod rysunkami są dla nas w XXI wieku najciekawszym aspektem tego artykułu. Ilustracja 1 oryginału przedstawia „Cieniową (*shadow*) fotografię wykonaną przez Becquerela [za pomocą zaczerpnienia kliszy], przedstawiającą promienie wysyłane przez rad. Pokazana odbitka jest pozytywem. Jaśniejsze części wska-

zują miejsca, w których promieniowanie Becquerela jest najsilniejsze”.

Ilustracja 2 oryginału przedstawia „Fotografię ilustrującą sposób wykonania Ilustracja 3 oryginału. Rad zawarty jest w małej szklanej rurce tuż nad środkiem płyty fotograficznej (przyciętej za pomocą drewnianego stojaka do probówek). Płyta fotograficzna jest zawinięta w czarny papier, całkowicie nieprzezroczysty dla zwykłego światła”.

Ilustracja 3 oryginału przedstawia „Zdjęcia radiograficzne ręki. Zdjęcie lewe zostało wykonane przy użyciu promieni Becquerela; czas naświetlania wyniósł 1 godzinę. Zdjęcie prawe zostało wykonane przy użyciu promieni Roentgena. Zdjęcia wykonał dr B. Walter z Państwowego Laboratorium w Hamburgu w Niemczech.

Bernhard Kurt Walter (1861-1950) był fizykiem, zaś zdjęcie rentgenowskie pokazane przez Merritta znajdowało się w archiwach British Institute of Radiology, w broszurce wydanej w 1896 r. i napisanej przez Augusta Dietmara, gdzie figuruje ono na tzw. frontspisie, to jest stronie poprzedzającej kartę tytułową książki [38]. Istotnie było to bardzo dawno wykonane zdjęcie rtg, jak wskazuje sam podpis: „Ręka żyjącej osoby sfotografowana za pomocą promieni X wg prof. Röntgena z Państwowego Laboratorium Fizyki w Hamburgu (17 stycznia 1896 r.). Płyta fotograficzna znajdowała się w drewnianym pudełku tak, aby promienie mogły przechodzić przez rękę i drewnianą pokrywkę”. Wydawca „F. Bauermeister, Foreign Bookseller of Glasgow”, ofiarowywał na sprzedaż komplet sześciu zdjęć rentgenowskich za 4 szylingi i 6 pensów lub po 1 szylingu za sztukę (20 szylingów odpowiadało 1 funtowi brytyjskiemu). Oznaczało to, że zdjęcia były jak na owe czasy niezmiernie kosztowne, np. tygodniowy zarobek robotnika wynosił jedynie jeden szyling. Te sześć zdjęć to (1) Ręka żyjącej osoby (Cieniowa (*shadow*) – fotografia wykonana przez Bernharda Waltera). (2) pokrywka pudełka z ołówkami, z pokazanymi mosiężnymi zawiasami wewnątrz pudełka. Zawartość zamkniętego futerału na przyrządy matematyczne. (3) Złamanie kości ramienia, wygojone po przemieszczeniu. (4) Ryba (leszcz). (5) Prawa stopa, zdeformowana przez nastąpienie przez konia. (6) Młoda świnka (jednodniowa). [Zdjęcia wykonane przez prof. dr L. Graeza z Instytutu Fizyki na Uniwersytecie Monachijskim; zdjęcia 1-5 zostały wykonane w Hamburgu]. Ernest Merritt najprawdopodobniej nabył swoją kopię za jednego szylinga.

Ilustracja 4 oryginału przedstawia „Fotografię cieniową (*shadow photograph*) wykonaną przy zastosowaniu promieni Becquerela, wysyłanych przez tlenek uranu (*uranium oxid*). Materiałem tym w formie proszku posypano klucz, tworząc małą kupkę w środku płyty fotograficznej. Czarny papier uniemożliwił bezpośredni kontakt z płytą fotograficzną. Czas ekspozycji wyniósł 48 godzin. Odbitka jest pozytywem”.

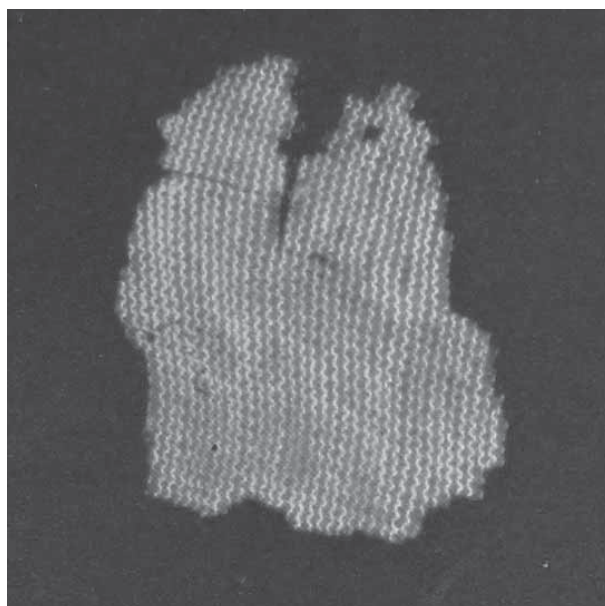
Ilustracja 5 oryginału „Fotografia kawałka koszulki żarowej Auera, wykonana za pomocą promieni Becquerela. Koszulkę położono bezpośrednio na płycie foto-



**Ryc. 2.** Koszulka żarowa Auera zawierająca tor. Jarząca się koszulka zawierająca tor została wynaleziona w 1884 r. przez Carla Auera von Welsbacha. W wynalazku tym po raz pierwszy zastosowano handlowo radioaktywny pierwiastek tor. W USA koszulki były sprzedawane przez firmę Coleman i stąd pochodziła ich nazwa koszulki żarowe Colemana. Ocenia się, że roczna produkcja i sprzedaż w USA w 2000 r. wyniosła 50 milionów. Około 1990 r. firma Colemana zastąpiła tor przez pierwiastek itr. (za zgodą dr Paul Frame, Oak Ridge Associated Universities, 1999)

graficznej i pozostawiono ją przez 48 godzin w ciemni. Odbitka jest pozytywem.”

Firma Carla Auera von Welsbacha w Atzgersdorf (obecnie dzielnica Wiednia) była jedną z pierwszych, które oczyszczały smółkę (blendę) uranową i produkowały źródła radowe dla celów handlowych w 1904 r. Inne firmy to firma Buchlera z Braunschweig i firma de Haën z List, niedaleko Hannoveru [39-41] oraz Urangelbfabrik w St. Joachimsthal [42]. Koszulki żarowe Auera zawierają tor (**Rycina 2** niniejszej pracy). W USA tego typu koszulki żarowe sprzedawano jako koszulki Colemana: do tego celu w USA stosowano około 65% toru. Wedle najlepszej naszej wiedzy powyższe zdjęcie radiograficzne koszulki



**Ryc. 3.** Fotografia koszulki żarowej Auera, wykonana za pomocą promieni Becquerela



**Ryc. 4.** Według Edwarda Marritta [2] jest to fotografia kawałka smółki uranowej, wykonana za pomocą promieni Becquerela, która pokazuje jedynie „żyły radowe”. Merritt nie podaje czasu ekspozycji. Nigdy wcześniej nie widzieliśmy tego rodzaju „radografii smółki uranowej”. Należy stwierdzić, iż zważywszy na niewielką ilość radu stanowiącego część kawałka smółki uranowej, fotografia ta jest niezwykle

torowej jest jedynym, które było kiedykolwiek publikowane. W niniejszej pracy jest reprodukowana jako **Rycina 3**.

Ilustracja 6 oryginału (A-C) jest to „Seria trzech fotografii pokazująca, jak promienie radu są odchylane przez magnes. Rad znajdował się w cylindrycznym otworze w bloku mosiężnym. Promienie wychodziły przez dwie wąskie szczeliny w metalu, biegnąc na prawo i na lewo, ledwie „ocierając” się o powierzchnię płyty fotograficznej. Zdjęcie A wykonano bez udziału magnesu, zdjęcie B z jednym biegunem elektromagnesu pod płytą fotograficzną, bezpośrednio pod samym radem. W przypadku zdjęcia C magnes był silniejszy. Warto zauważyć, że promienie biegnące na prawo są zakrzywione do góry, natomiast promienie biegnące na lewo są skierowane w dół”.

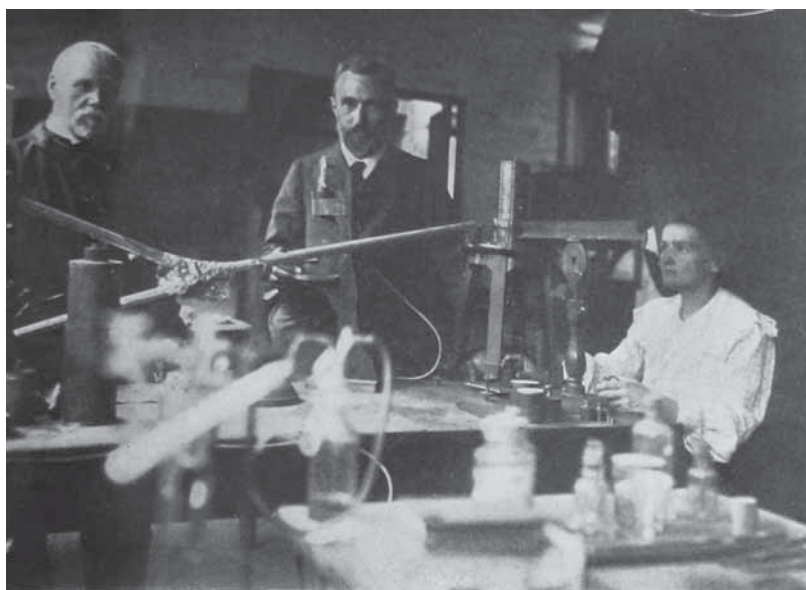
Ilustracja 7 oryginału przedstawia fotografię kawałka radioaktywnego minerału zwanego gummitem i kawałka uranu, wykonaną przez samego Becquerela. Oba kawałki były położone bezpośrednio na płycie i pozostawione w ciemności przez 48 godzin”.

Ilustracja 8 oryginału jest to „Próbka smółki uranowej, minerału z którego otrzymuje się rad.

Ilustracja 9 oryginału jest to „Fotografia wykonana za pomocą promieni Becquerela, pochodzących ze smółki pokazanej na Ilustracji 8 oryginału. Próbką została umieszczona płaską powierzchnią w bezpośrednim kontakcie z płytą fotograficzną. Fotograficzne zdjęcie tworzą jedynie żyły w rudzie radowej. Fotografia ta jest w niniejszej pracy reprodukowana jako **Rycina 4**.

Fotografia Piotra i Marii Curie w laboratorium opublikowana przez Ernesta Merritta [2] jest tą samą fotografią, która pojawiła się na okładce pierwszego numeru pisma *Le Radium* w styczniu 1904 r. i od tego czasu była wielokrotnie reprodukowana wiele razy w różnych publikacjach. Fotografia przedstawia Pokój Pomiarowy Fizyki w Laboratorium przy ulicy Lhomond w 1898 r., pokazując nie tylko Małżonków Curie, ale także Gustawa Bémonta [3], szefa Wydziału Chemii w École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris (ESPCI). W 1898 r. Piotr Curie został mianowany Profesorem Fizyki Ogólnej i Teorii Elektryczności w ESPCI. Widoczne na zdjęciu urządzenie pomiarowe to elektrometr Curie (**Rycina 5** niniejszej pracy). Biorąc pod uwagę fakt, że Ernest Merritt pisał prawdopodobnie swój artykuł w 1903 r., ponieważ opublikował go w styczniu 1904 r. [2], następujące dwa ustępy (reprodukowane poniżej) na końcu jego przeglądu wykazują niezwykle zdolność przewidywania autora.

„Zmiany substancji promieniotwórczych zachodzą ogromnie powoli i to jest główną przyczyną tego, że tak trudno jest je wykryć. Prawdopodobnie rad traci na



**Ryc. 5.** Małżonkowie Curie i Gustav Bémont, który był szefem Wydziału Chemii w École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris (ESPCI). Urządzenie pomiarowe pokazane na fotografii jest tzw. elektrometrem Curie [43]

wadze. Większość fizyków jest o tym przekonana. Ale jeśli proces ten trwa tysiące lat, musi upływać całe życie, zanim wystąpi jakokolwiek mierzalna strata na wadze.

Trudno jest wyobrazić sobie pojęcie ekstremalnie małych cząsteczek emitowanych przez rad. Ich zachowanie wskazuje na to, że muszą być one mniejsze od najmniejszego atomu. Ale Madame Curie odkryła, że ciężar atomowy radu wynosi 225, a zatem atom ten jest jednym z najcięższych znanych atomów. Jak to jest, że pierwiastek ten produkuje cząsteczki mniejsze niż jego własny atom? Wydaje się, że istnieje tylko jedno wyjaśnienie tej trudności, a mianowicie trzeba założyć, że sam atom jest w stanie ulec podziałowi na mniejsze części. Przypuszcza się, że rad jest przykładem powolnej dezintegracji atomowej, że następuje w nim jakieś gwałtowne poruszenie, w którym małe części samego atomu uwalniają się i są wystrzeliwane z ogromną prędkością do otaczającej przestrzeni. Gdyby przyszłe badania potwierdziły tę prawdę, trudno byłoby przecenić znaczenie tego faktu dla chemii. Jeżeli atomy mogą być rozerwane, dlaczego nie mogłyby one zostać znów połączone ze sobą? A może można byłoby połączyć je w taki sposób, aby otrzymać z początkowego atomu nowy inny atom? Jeżeli tak, zrealizowane byłoby marzenie alchemików.”

### Ernest Merritt (1865-1948)

Ernest George Merritt (1865-1948) jest postacią znaczącą w fizyce amerykańskiej. Ukończył Uniwersytet Cornella w mieście Ithaca w stanie Nowy Jork, ze specjalnością inżynier elektryk i w 1889 r. został członkiem zespołu nauczycielskiego tego uniwersytetu. Objął funkcję Kierownika Fizyki, a następnie został Dziekanem Studiów Magisterskich (podyplomowych). Na emeryturę przeszedł w 1935 r. Był współzałożycielem i jednym z pierwszych redaktorów *Physical Review*, jak również współzałożycielem Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego (American Physical Society).

Promieniowanie rentgenowskie (Promienie X) w USA w styczniu i lutym 1896 r.

**Tablica I** przedstawia listę osób, które, jak uważa biograf Rentgena, Otto Glasser (1895-1964) [44], wykonały pierwsze radiogramy (zdjęcia rtg) w USA w styczniu i na początku lutego 1896 r. Między nimi znajduje się nazwisko Ernesta Merritta. Glasser nie podał odnośników do literatury dla Merritta i Molera, ale stwierdził, że otrzymał od nich osobiście tę informację i opublikował to w książce [44], podpisując ją jako „Zdjęcie ręki żywej osoby, wykonane przez G. S. Molera w styczniu 1896 r. w mieście Ithaca w stanie Nowy Jork”.

Otto Glasser [44] podaje również, że w liście od Ernesta Merritta z 26 września 1929 r. „... Znalazłem w naszym muzeum wydziałowym trzy wczesne zdjęcia rtg, dwa zrobione przez Profesora Molera i jedno przeze mnie. Zdjęcia Prof. Molera są to zdjęcia cieniowe (*shadow pictures*) różnych przedmiotów metalowych, np. kluczy i łańcuchów, zawiniętych w czarny papier lub umieszczonych wewnątrz tekturowego pudełka, a następnie sfotografowanych. Nie mamy danych co do dokładnej daty, ale Profesor Moler napisał na odwrocie zdjęć, że zostały one wykonane po otrzymaniu wiadomości telegraficznej o odkryciu Röntgena, zanim jeszcze nadeszło pierwsze zdjęcie wykonane przez samego Röntgena... Zdjęcia te zrobiono przy pomocy starej rurki Crooksa, która znajdowała się w laboratorium od około 20 lat. Promienie X powstały na końcu rurki, gdzie wystąpiła jasna fluorescencja. Chcąc otrzymać ostrzejsze obrazy, zarówno Profesor Moler jak i ja umieściliśmy kawałek ołowiu z otworem o średnicy 1/2 cala tak, aby przesłonić większą część powierzchni fluoryzującej. Moje zdjęcie ręki wymagało naświetlenia ok. 15 minut z odległości ok. 8 cali...”.

O ile wiemy, Ernest Merritt opublikował w 1896 r. tylko jedno doniesienie na temat promieni X. Tytuł tego doniesienia brzmiał: *On the influence of light upon discharge of electrified bodies* [58]. Termin „light”

**Tab. I. Osoby, które wykonywały radiogramy (zdjęcia rtg) w styczniu i lutym 1896 r. Dane otrzymane od Glassera [44] i Griega [45]. Osoby podane na liście bez odnośników komunikowały się z Otto Glaserem osobiście**

---

Florian Cajori (1859-1930) matematyk z Colorado College [46]
Thomas Alva Edison (1847-1931) i jego asystenci [47]
Edwin Brant Frost (1866-1935) astronom, który wykonał radiogramy w Dartmouth College, Hanover [48]
Arthur Willis Goodspeed (1860-1943) fizyk z University of Pennsylvania [49]
Daniel Webster Hering (1850-1938) fizyk z New York University [50]
Edwin James Houston (1847-1914) & Arthur Edwin Kennelly (1861-1939) inżynierowie elektrycy z General Electric X-Ray Company [51]
Edward Clifford Jerman (1865-1936) inżynier elektryk z Chicago
Ernest George Merritt & George Sylvanus Moler (1851-1932) fizycy z Cornell University, Ithaca
Dayton Clarence Miller (1866-1941) fizyk z Case School, Cleveland [52]
Charles Ladd Norton (1870-1939) fizyk z Bostonu [53]
Michael Idvorsky Pupin (1858-1935) fizyk z Columbia University, New York [54]
James Powell Cocke Southall (1871) fizyk z Miller School, Albermarle
Morris Wilbur Stine (1863-1934) fizyk z Armour Institute of Technology, Chicago [55]
John Trowbridge (1843-1923) fizyk z Harvard University [56]
Arthur Williams Wright (1836-1915) fizyk z Yale University [57]

---



lub „X-light” lub też „the new light” używany był w 1896 r. zamiennie dla promieni X czy promieni rentgenowskich.

**Joel O. Lubenau BCE, MS**  
Emeritus Certified Health Physicist  
88 South Heck Road  
Lititz  
PA 17543-8560  
USA  
e-mail: JL1016441@dejazzd.com

## Piśmiennictwo

- Curie M. Radium and radioactivity. *Century Magazine* January 1904; 461-6.
- Merritt E. The new element radium. *Century Magazine* January 1904; 451-60.
- Curie P, Curie M, Bémont G. Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende. *Comptes rendus de l'Académie des sciences* 28 December 1898; 127: 1215-8.
- Beckenhaupt C. *Die Urkraft im Radium und die Sichbarkeit de Kraftzustände*. Heidelberg: C Winter, 1904.
- Becquerel H. *Recherches sur une propriété nouvelle de la matière*. Paris: Gauthier Villars, 1904.
- Berget A. *Le Radium et les Nouvelles Radiations: Rayons X et Rayons N*. Paris: Librairie Universelle, 1904.
- Besson P. *Le Radium et la Radioactivité*. Leipzig: JA Barth, 1904.
- Blanc GA. *Radioattività*. Milan: U Hoepli, 1904.
- Bottone SR. *Radium and All About It*. London: Whittaker, 1904.
- Cleaves MA. *Light Energy: its Physics, Physiological Action & Therapeutic Applications*. {Includes a 57-page chapter on Radium} New York: Rebman, 1904.
- de Courmelles F. *Les Applications Médicales du Radium*. Paris: Henry Farjas, 1904.
- Danne J. *Le Radium sa Préparation et ses Propriétés*. Paris: Librairie Polytechnique Charles Béranger, 1904. {German edn. *Das Radium seine Darstellung und seine Eigenschaften*. Leipzig: Viet, 1904}
- Dessauer R, Wiesner B (red.). *Radiotreatment*. Berlin: von Vogel & Krienbrink, 1904.
- Hammer WJ. *Radium & Other Radio-active Substances; Polonium, Actinium & Thorium, with a Consideration of Phosphorescent & Fluorescent Substances, the Properties & Applications of Selenium & the Treatment of Disease by Ultra-violet Light*. New York: D van Nostrand & London: Sampson Low, 1903. {Wyd. II, London: Paul 1904}
- Himstedt F. *Über die radioaktive Emanation der Wasser à Quellen*. Leipzig: Fock, 1904.
- Hioffmann KA. *Die radioactiven Stoffe nach dem neuesten Stand der wissenschaften Erkenntnis*. Leipzig: JA Barth, 1904. {Wyd. II, 1904}
- Levy LA, Willis HG. *Radium & Other Radio-active Elements: a Popular Account Treated Experimentally*. London: Percival Marshall, 1904.
- Niewengowski MH. *Le Radium*. Paris: Desforges, 1904 & Leipzig: Fock, 1904.
- Reuterdahl A. *The Radioactive Atom*. Providence: Franklin Press, 1904.
- Righi A. *Modern Theory of Physical Phenomena, Radioactivity, Ions, Electrons*. New York: Macmillan, 1904. {Italian edn. *La Moderna Teoria dei Fenomeni Fisici: Radioattività, Ioni, Elettroni*. Bologna: N Zanichelli, 1904}
- Ruhmer E. *Radium und andere radioaktive Substanzen*. Berlin: M Harrwitz, 1904.
- Rutherford E. *Radio-activity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1904.
- Soddy F. *Radioactivity: an Elementary Treatise from the Standpoint of the Disintegration Theory*. London: "The Electrician" Printing & Publishing Co., 1904. {German edn. *Die Radioaktivität vom Standpunkt der Desaggregations-theorie elementar dargestellt*. Leipzig: JA Barth, 1904}
- Strutt RJ. *The Becquerel Rays & the Properties of Radium*. London: Edward Arnold, 1904. {German edn. Leipzig: Fock, 1904}
- Curie M. *Recherches sur les Substances Radioactive*. Thèse. Faculté des Sciences de Paris. Paris: Gauthier-Villars, 1903. {English edn. New York: D van Nostrand, 1904}
- Moffett C. Illustrated interview: M. Curie the discoverer of radium. *Strand Magazine* January 1904; 27: 65-73.
- Mould RF. *Radium History Mosaic*. Warsaw: *Nowotwory J Oncol* 2007; supl. 1.4.
- Curie M. Presentation of the Gibbs Medal to Madam Curie. Report of the meeting of the Chicago Section, American Chemical Society, 14 June 1921. *Chem Metallurgical Eng* 1921; 24: 1132-40.
- Curie M. The discovery of radium. Address by Madam M. Curie at Vassar College 14 May 1921. *Ellen S. Richards Monograph* No. 2, Vassar College, 1921.
- <http://cwp.library.ucla.edu/articles/curie.htm>. Also available at <http://catalog.hathitrust.org/Record/006057380>
- Towpik E, Mould RF (red.). *Maria-Sklodowska Memorial Issue of the Nowotwory Journal of Oncology*. Warsaw: *Nowotwory*, 1998.
- Mould RF, Pierre Curie 1859-1906. *Nowotwory J Oncol* 2006; 56: 147-55.
- Mould RF. Polonium: 110<sup>th</sup> anniversary of its discovery. *Nowotwory J Oncol* 2008; 58: 193e-6e. [http://www.nowotwory.edu.pl/files/pdf/2008/plik\\_193eMould%20-%20Polonium.pdf](http://www.nowotwory.edu.pl/files/pdf/2008/plik_193eMould%20-%20Polonium.pdf)
- Mould RF. Antoine-Henri Becquerel 1852-1908. *Nowotwory J Oncol* 2008; 58: 258e-70e. [http://www.nowotwory.edu.pl/files/pdf/2008/plik\\_s%20258e%20Mould.pdf](http://www.nowotwory.edu.pl/files/pdf/2008/plik_s%20258e%20Mould.pdf)
- Mould RF. 75<sup>th</sup> anniversary of the artificial production of radioactive elements by Irène & Frédéric Joliot-Curie. *Nowotwory J Oncol* 2010; 60: 46e-9e. [http://www.nowotwory.edu.pl/files/pdf/2010/plik\\_Mould\\_2\\_2010.pdf](http://www.nowotwory.edu.pl/files/pdf/2010/plik_Mould_2_2010.pdf)
- Chavannes I. *Le ons de Marie Curie. Recueillies par Isabelle Chavannes en 1907. Physique élémentaire pour les enfants de nos amis*. Les Ulis: EDP Sciences, 2003.
- Curie M. *Radioactive Substances*. Mineola, New York: Dover Publications, 2002.
- Dittmar A. *Prof. Röntgen's "X" RAYS and their Applications in the NEW PHOTOGRAPHY with 11 Illustrations & One Shadowgraph, being a Compilation from Various Sources of the Results Obtained, with a Popular Exposition of the Same*. Glasgow: F Bauermeister & London: Whittaker & Co., 1896.
- Robison R. Eugen de Haën, Carl Auer von Welsbach & radium sources 1899-1904. *Nowotwory J Oncol* 2011; 62: w druku.
- Adloff JP, MacCormick HJ. The dawn of radiochemistry. *Radiochimica Acta* 1995; 70/71: 13-22.
- de Haën E. Über eine radioaktive Substanz. *Annalen der Physik und Chemie (Leipzig)* 14 July 1899; 68: 902.
- Marshall JL. Uranium mining & refining in St. Joachimsthal/Jáchymov. *Nowotwory J Oncol* 2011; 61: 11e-5e.
- Farjas H. Directeur. *Le Radium*. January 1904; 1(no.1): front cover.
- Glasser O. *Wilhelm Conrad Röntgen and the Early History of the Roentgen Rays*. London: John Bale, Sons & Danielsson, 1933.
- Grigg ERN. *The Trail of the Invisible Light*. Springfield: Charles C Thomas, 1965.
- Cajori F, Striely W. Coin distortions by Roentgen rays. *Science (NY)* 24 April 1896; 3: 901.
- Edison TA. Experiments with Roentgen rays. *Electrical Engineer (NY)* 25 March 1896; 21: 305.
- Frost EB. Experiments on the X-rays. *Science (NY)* 14 February 1896; 3: 235.
- Goodspeed AW. Experiments on the Roentgen rays. *Science (NY)* 14 February 1896; 3: 237.
- Hering DW. The Roentgen rays. *Electrical World (NY)* 7 March 1896; 27: 255.
- Houston EJ, Kennelly AE. Edison's Roentgen ray experiments. *Electrical Engineer (NY)* 18 March 1896; 21: 281.
- Miller DC. Roentgen ray experiments. *Electrical World (NY)* 21 March 1896; 27: 309.
- Norton CL. X-rays in medicine and surgery. *Science (NY)* 15 May 1896; 3: 730.
- Pupin M. Roentgen rays. *Science (NY)* 14 February 1896; 3: 231.
- Stine WM. Skiagraphic experiments. *Electrical Engineer (NY)* 11 March 1896; 21: 253.
- Trowbridge J. Triangulation by means of the cathode photography. *Am J Science* March 1896; 151(1): 245.
- Wright AW. Cathodographs. *Electrical Engineer (NY)* 5 February 1896; 21: 132.
- Merritt E. On the influence of light upon discharge of electrified bodies. *Science (NY)* 11 December 1896; 4: 853.

Otrzymano i przyjęto do druku: 16 lutego 2011 r.