

## Transmutacja. Dziecko alchemii, osiągnięcie chemii.

<sup>1</sup>Michał Główka

<sup>1</sup>*Wydział Farmaceutyczny z O.A.M., Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu*

*e-mail: chemik5@onet.pl*

Alchemia jest obecnie uznawana za protonaukę. Powstała w starożytności, a pełnoprawną nauką była aż do czasów oświecenia. Analiza wpływu alchemii na kulturę współczesną może pokazać nam, jak nasza kultura się rozwijała i w jaki sposób ustalił się jej obecny kształt. Ponadto warto przyjrzeć się jednemu z kluczowych pojęć alchemii, jakim jest transmutacji .

### 1. Powstanie teorii transmutacji

Początków idei transmutacji możemy doszukiwać się w starożytnym Egipcie, w którym już od około 3000 roku p.n.e. wydobywano i przetwarzano metale, w tym złoto. Egipt starożytny miał szeroki dostęp do złotego kruszcu, szerszy nawet niż do srebra, dlatego było ono metalem bardziej cenionym od złota. Biorąc pod uwagę wartość srebra nie należy się dziwić, że ówczesni metalurzy, wówczas kapłani zajmujący się obróbką złota, zaczęli poszukiwać sposobów na otrzymanie metalu cenniejszego ze składników mniej cennych. Przy czym, Egipcjanie nie widzieli początkowo nic złego w użyciu zamiennika zamiast oryginalnego materiału. Procesy prowadzące do otrzymania zamiennika nazywano wówczas barwieniem, czyli tyngowaniem. W ówczesnym okresie transmutacja nie miała wymiaru duchowego, była to tylko rzemieślnicza praca, polegająca głównie na stapianiu ze sobą odpowiednich metali, często miedzi i cyny [1].

Wraz z upływem czasu transmutacja zyskiwała wytłumaczenia, pochodzące z różnych źródeł, najpierw od filozofów greckich, a następnie myślicieli arabskich. Alchemicy początkowo oparli się na greckiej teorii żywiołów, aby wyjaśnić proces transmutacji. Arystoteles i Platon sądzili, że żywioły mogą wzajemnie w siebie przechodzić, a jako że ciała składają się z żywiołów, daje to na drodze dedukcji wniosek, że jeżeli pierwiastki mogą zmieniać się w siebie nawzajem, tak też i ciała da się zmieniać w

inne ciała, metale [2]. Rozumowanie oparte na filozofii greckiej daje wytłumaczenie, że metale można przeprowadzać w inne, stwarzając im odpowiednie do tego warunki, tak by mogła zajść przemiana żywiołów, która nie jest przypadkowa, ma swoje własne reguły. Po okresie dominacji myśli greckiej arabscy myśliciele mieli swój wkład w wytłumaczenie mechanizmu transmutacji na podstawie myśli antycznej. Dżabir Ibn Hajjan zwany Geberem, znany arabski alchemik, oparł się na teorii żywiołów i wprowadził do niej dwie "zasady bezpośrednie"- siarkę i rtęć. Według Gebera wszystkie metale miały w swoim składzie siarkę i rtęć, dlatego manipulowanie stosunkiem siarki i rtęci prowadziło do transmutacji [1].

Transmutacja była traktowana jako czynność czysto rzemieślnicza, taka sama jak barwienie tkanin [1]. Dopiero z czasem zyskała większą wartość, stała się procedurą kształtowania materii zgodnie z jej naturą, zgodnie z naturą żywiołów, przeprowadzania metali w inne poprzez manipulację dwoma parametrami-siarką i rtęcią. Transmutacja stała się narzędziem kształtowania materii [1].

Dalsze rozważania nad transmutacją przyniosły trzecią zasadę do pary siarka-rtęć. Żyjący na przełomie XV i XVI w. Theophrastus Bombastus von Hohenheim, czyli Paracelsus, wprowadził do koncepcji Gebera trzecią "zasadę pośrednią"- sól. W ten sposób powstała koncepcja trójzasadowa, która mocno wpłynęła na kształt alchemii w renesansie- ostatniej epoce, w której miała ona duże znaczenie [1].

Pierwiastek duchowy przemiany osoby przeprowadzającej proces transmutacji jest mocno zaznaczony w alchemii renesansowej. Wpływ na dodanie do procesu transmutacji pierwiastka duchowego miała zapewne filozofia grecka, idee myślicieli arabskich, ale także chrześcijaństwo. Łatwym do odnalezienia, a zarazem przekonującym dowodem wpływu chrześcijaństwa jest słowo: laboratorium, które powstało z dwóch słów: *labor* (łac.) – praca i *oratorium* (łac.) - kaplica. Opierając się na obrazach przedstawiających laboratorium alchemika widzimy, że często były to pomieszczenia z częścią techniczną i, znajdującą się w tej samej przestrzeni, ale oddaloną od strefy pracy przestrzenią przeznaczoną do modlitwy.

Pojęcie transmutacji zmieniło się: od okresu przed przyswojeniem go sobie na dobre przez alchemię, było zwykłą procedurą rzemieślniczą dla metalurga w starożytnym Egipcie [1]. Następnie grecka filozofia próbowała podjąć się wytłumaczenia tego zjawiska, czyniąc z niego manifestację praw rządzących żywiołami. W okresie rozwoju i rozkwitu kultury

arabskiej, dzięki dziedzictwu antyku, transmutacja stała się metodą manipulowania zawartością kluczowych dla metalu składników, co umożliwiło zmianę jego właściwości. Po okresie świetności kultury arabskiej Europejczycy dalej rozwijali teorie transmutacji, korzystając z całości dotychczasowych osiągnięć. Wraz z przemianą transmutacji od procesu rzemieślniczego do rangi obrzędu procedura nabrała coraz bardziej duchowego wydźwięku, gdzie nie tylko człowiek zmienia metal, ale metal zmienia człowieka. Do przeprowadzenia transmutacji potrzebne były odpowiednie przymioty i cechy, takie jak ciepłota, biegłość w terminologii i pismach oraz jasność umysłu.

### 2. Upadek alchemii

Wraz z prężnym rozwojem nauk przyrodniczych i ścisłych w baroku, za sprawą między innymi Newtona i Leibniza, nadszedł czas oświecenia i upadku alchemii. W roku 1661 Robert Boyle wydał dzieło pt. *The Skeptical Chymist*, co umownie uznawane jest za początek chemii i koniec alchemii jako nauki. Boyle zmienił spojrzenie na pierwiastki chemiczne, oparł się na doświadczeniu, które wykazuje, że istnieje wiele substancji niedających rozłożyć się na prostsze składowe, czym Boyle dowiódł istnienia więcej niż sześciu pierwiastków. Pracując zgodnie z empirycznym poglądem Boyla, Antoine Lavoisier w 1779 roku ogłosił istnienie tlenu jako substancji podtrzymującej spalanie, co obaliło teorie flogistonu<sup>IX</sup>. Rozpowszechnił też informacje na temat azotu jako części powietrza niepodtrzymującej spalania. Lavoisier sformułował i udowodnił prawo zachowania masy, odkrył istnienie wodoru jako składowej wody, a wraz z Claude-Louisem Bertholletem opracował nomenklaturę chemiczną, z której część nazw jest używana do dziś. Lavoisier zajmował się też rolą tlenu w korozji metali oraz oddychaniu organizmów żywych, wydał dzieło uważane za pierwszy nowoczesny podręcznik chemii, *Traité Élémentaire de Chimie*, który podaje listę pierwiastków: tlen, wodór, azot, fosfor, rtęć, cynk i siarka, a także światło i ciepło, uznane przez autora za substancje [2].

Oświecenie, opierając się na doświadczeniu i obserwacji obaliło możliwość przeprowadzenia transmutacji w sposób wybrany przez alchemików. Stało się jasnym, że nie można otrzymać złota, posługując się jedynie rtęcią, siarką, solą, ołowiem i innymi

---

<sup>IX</sup> Teoria flogistonu—tłumaczy proces spalania. Powstała w XVII wieku, prawdopodobnie inspirowana była alchemią. Zakłada obecność w materii składnika, flogistonu, odpowiedzialnego za proces spalania. Tlen uznawany był za nośnik flogistonu. Obalona została doświadczeniem- obserwacją ubytku tlenu podczas spalania, objawiającym się jako podciśnienie.

substancjami złota w swym składzie niezawierającymi. Prace Lavoisiera ostatecznie obaliły teorię żywiołów oraz stworzyły podstawy nowoczesnej chemii, z których część stanie się przybliżeniami, światło i ciepło znikną z listy pierwiastków i przestaną być uznawane za materie, by, poniekąd, stać się nią powtórnie w czasach współczesnych, dzięki rozwojowi fizyki i chemii kwantowej.

### 3. Rozwój chemii i fizyki atomu, geneza sztucznej przemiany pierwiastków

Okres, w którym transmutacje uważano za niemożliwą trwał aż do wieku XX, chociaż pod koniec XIX w. odkryto rozpad atomów i promieniotwórczość, co jest niewątpliwie związane z transmutacją, jaką znamy dziś. Rozpad pierwiastków odkryli w roku 1898 Maria Skłodowska-Curie i jej mąż, Pierre Curie. Odkrycie Marii i Pierra jest istotne nie tylko dlatego, że kładzie podwaliny pod badania przemian jądrowych, ale także zburzyło dotychczasowe przekonania o niepodzielności atomu i, jak się zdawało, opisanie wszystkich istniejących pierwiastków.

Odkrycie rozpadu promieniotwórczego przez Marię Skłodowską-Curie zostało poprzedzone odkryciem Henriego Becquerela, który dwa lata wcześniej w 1896 roku zaobserwował zjawisko promieniowania. Był to przypadek. Becquerel zajmował się zagadnieniem fosforescencji<sup>X</sup>. Badania polegały na wystawieniu próbki na działanie światła, a następnie zawinięciu jej w kliszę fotograficzną, by sprawdzić, czy zachodzi zjawisko fosforescencji. Jednak pewnego dnia pogoda nie pozwalała na naświetlenie próbki rudy uranowej, dlatego Becquerel schował ją do kieszeni fartucha, w której była także klisza. Po kilku dniach badacz przypomniał sobie o pozostawionej próbce i wyjął ją. Zauważył, że część kliszy jest zaciemniona, dokładnie ta, która stykała się z próbką. Próba wytłumaczenia faktu przez Becquerela była hipoteza, że próbka emituje promieniowanie podobne do promieniowania X. Była to jednak błędna interpretacja. Nie udało mu się również w zadowalający sposób opisać zależności między aktywnością promieniotwórczą a zawartością uranu. Jedynym instrumentem pomiarowym były wówczas niedokładne, w dużym stopniu narażone na błędy, klisze fotograficzne. Becquerel zlecił zbadanie zjawiska Marii Skłodowskiej- Curie, w ramach pracy doktoranckiej [2].

---

<sup>X</sup> Fosforescencja—zjawisko polegające na emisji światła widzialnego (i nie tylko), po naświetleniu substancji promieniowaniem o odpowiedniej energii. Zjawisko jest często na tyle długotrwałe, że jest obserwowalne gołym okiem.

Praca Skłodowskiej- Curie opierała się na obserwacji różnic w promieniotwórczości różnych rud uranowych. Niektóre rudy dawały znacznie większe promieniowanie od innych, co doprowadziło noblistkę do wniosku, że część rud zawiera nieznaną jeszcze składnik. Podjęła się wyodrębnienia go metodami chemicznymi. Okazało się, że przyczyną większej intensywności promieniowania był inny pierwiastek, rad, o wiele bardziej promieniotwórczy od uranu.

Kolejnym ważnym odkryciem było sformułowanie i dowiedzenie słuszności hipotezy o istnieniu jądra atomowego, które skupia zdecydowaną większość masy atomu. Dokonał tego Ernest Rutherford. Przed wprowadzeniem przez Rutherforda nowego modelu atomu obowiązywał model Thomsona, zwany także ciastem z rodzynkami (w oryginale "plum pudding model"). Model ciasta z rodzynkami zakładał, że atom jest dodatnio naładowaną sferą, wewnątrz której znajdują się bezładnie rozrzucone elektrony o ładunku ujemnym. W modelu takim elektrony, analogicznie do rodzynek w cieście, rozmieszczone są bezładnie. Jednak nie jest to do końca prawdą, gdyż ładunki na nich występujące porządkowałyby je tak, że elektrony rozłożyłyby się równomiernie i jedynie chwilowo, w skoordynowany sposób, zmieniałyby swoje miejsce. Logiczną konsekwencją wspomnianego modelu jest równomierna gęstość atomu- w każdym jego punkcie moglibyśmy spodziewać się w miarę identycznego rozmieszczenia elektronów. Rutherford, badając promieniowanie  $\alpha$ , przeprowadził, w roku 1909, doświadczenie, które obaliło model Thomsona. Eksperyment polegał na naświetleniu folii wykonanej ze złota promieniowaniem  $\alpha$ . Zakładając, według ówczesnego modelu, że atom jest homogeniczny, promieniowanie powinno przejść przez folię nie zmieniając swojego kierunku. W rzeczywistości zaobserwowano liczne refleksy, a nawet odbice promieniowania od powierzchni złota. Obserwacje te pozwoliły na udowodnienie, że atom nie jest jednorodny, jak dotychczas zakładano. Dodatkowo informacje o ładunku<sup>XI</sup> niesionym przez promienie  $\alpha$  pozwoliły wywnioskować, że skupiające znaczną część masy jądro atomowe jest dodatnio naładowane [2].

Przełom XIX i XX wieku przyniósł wiele odkryć związanych z pierwiastkami. Odkrycia te stały się podwalinami dla rozwoju współczesnej chemii i fizyki kwantowej, a także umożliwiły zrozumienie i przeprowadzenie procesu przemiany jądrowej, transmutacji. Spośród wielu ważnych odkryć można wyróżnić osiągnięcie Becquerela,

---

<sup>XI</sup> Promieniowanie  $\alpha$  ma ładunek dodatni- do stwierdzenia tego faktu wystarczy obserwacja zachowania cząstek  $\alpha$  w polu elektrycznym. Dodatnio naładowana elektroda odpycha cząstki  $\alpha$ , więc są one dodatnio naładowane.

który zaobserwował rozpad promieniotwórczy i, choć nie zinterpretował wyników swej obserwacji w taki sposób, w jaki dziś je rozumiemy, było to ważne odkrycie, które ukierunkowało kolejnych badaczy. Jednym z naukowców zaangażowanych w badanie zjawiska odnotowanego przez Becquerela była Maria Skłodowska-Curie. Jej badania są ważne ze względu na zwrócenie uwagi na przemiany promieniotwórcze i odkrycie nowych pierwiastków, co zaprzeczyło panującemu wówczas przekonaniu o odkryciu wszystkich pierwiastków oraz ich stabilności. Ostatni z wymienionych, Ernest Rutherford, udowadnia w toku swojej pracy istnienie jądra atomowego, co obala dotychczasowy model ciasta z rodzynkami. Liczne odkrycia na przełomie wieków stały się podstawą dla rozwoju współczesnych teorii dotyczących materii i jej budowy na poziomie atomowym i subatomowym, pozwoliły one także spojrzeć na materię jak na twór zmienny, a więc możliwy do przemiany [2][4].

Dodać można, że pierwsza udokumentowana przemiana jądrowa została przeprowadzona w roku 1919 przez Rutherforda. Podczas naświetlania powietrza promieniowaniem  $\alpha$  naukowiec zauważył dziwne promieniowanie. Następnie, używając czystego azotu, dokonał przemiany azotu-14 w tlen-17. Produktem ubocznym przemiany atomu azotu w atom tlenu przy zderzeniu z cząstką  $\alpha$  są protony. To one były tymże „dziwnym promieniowaniem” [4].

#### 4. Transmutacja w wieku XX

Odkrycia z przełomu XIX i XX wieku stanowiły fundament pod stworzenie teorii kwantowych, które dały możliwość zrozumienia przemian i procesów zachodzących w świecie w skali nano, w tym także przemiany nie ołowiu, lecz bizmutu w złoto. Wiele osiągnięć ważnych dla chemii i fizyki kwantowej nie zostanie tu opisanych. Byłby to opis długi i niekoniecznie istotny dla całości tekstu, gdyż dotyczą one bardziej elektronów, a te są bardzo małe w porównaniu do jądra atomowego, którego przemiana warunkuje przemianę pierwiastków i dlatego należy je opisywać w odmienny sposób. Udokumentowana transmutacja miała miejsce w roku 1941. Autorami pracy opisującej to dokonanie są R. Sherr i K. T. Bainbridge [4]. Do przeprowadzenia tego procesu użyto szybkich neutronów, uzyskanych w reakcji litu z deuterem<sup>XII</sup> (zderzenie litu z

---

<sup>XII</sup> Deuter—nazwa dla izotopu wodoru o masie atomowej 2. Tylko izotopy wodoru mają indywidualne nazwy, ze względu na znaczące różnice we właściwościach; izotop o masie 1u to prot, 2u- deuter, 3u- tryt.

rozpędzonymi jądrami deuteru) uzyskując złoto i platynę. Niestety złoto otrzymane przez badaczy było niestabilne i rozpadało się do innych, bardziej stabilnych, pierwiastków. Możliwe jest, że opisanego eksperymentu dokonał znacznie wcześniej badacz japoński Hantaro Nagaoka już w roku 1921 [6]. Początkowe odkrycia związane z otrzymywaniem "sztucznego" złota nie były zachęcające. Sama metoda otrzymania kruszcu była kosztowna, wymagała drogiej aparatury i charakteryzowała się niską wydajnością, ale o ile z takimi problemami należy się liczyć, to uzyskany produkt był niestabilny.

Badania nad reakcjami jądrowymi ciężkich jonów doprowadziły Gleen T. Seborga do opracowania metody uzyskiwania złota w przemianie jądrowej, zwanej metodą Seborga. Metoda ta umożliwia uzyskanie złota z bizmutu poprzez bombardowanie go jonami powszechnego węgla  $^{12}\text{C}$  i neonu  $^{20}\text{Ne}$ , posiadającymi odpowiednie energie. W doświadczeniu użyto folii z bizmutu, bombardowano ją wiązkami, odpowiednio jonów wspomnianego węgla lub neonu. Następnie folię taką roztwarzano w mieszance stężonych kwasów: solnego i azotowego (1:2). W kolejnym etapie prowadzono pomiar intensywności promieniowania przez rok. Jak wynika z wyliczeń przedstawionych w pracy opisującej ten eksperyment, możliwe jest otrzymanie stabilnego izotopu złota  $^{197}\text{Au}$ . Zawartość stabilnego izotopu wyniosłaby od około 1 do około 4 procent. Samo doświadczenie było kosztowne, a uzyskiwanie złota taką metodą- zupełnie nieopłacalne [7].

Dynamiczny rozwój chemii i fizyki kwantowej zapoczątkowany u schyłku wieku XIX, a intensywnie kontynuowany w wieku XX, umożliwił wytworzenie sztucznego złota. Początkowo realne było uzyskanie niemal wyłącznie niestabilnych izotopów, jednak wraz z postępami w prowadzeniu reakcji jądrowych powszechniejszym stało się otrzymywanie większej ilości stabilnego izotopu złota. Pomimo możliwości produkcji złota, nie jest to proces opłacalny. Prawdopodobnie w przyszłości metal ten będzie odzyskiwany ze zużytych prętów paliwowych z reaktorów razem z innymi pierwiastkami, co mogłoby uczynić proceder ten rentownym, jednak na ten moment produkcja złota jest niekorzystnym ekonomicznie popisem ludzkiej wiedzy.

### 5. Faktografia

Początkowo transmutacja nie była uważana za czynność nadzwyczajną, nie towarzyszyły jej rytuały i wiedza tajemna. Możliwe nawet, że był to proces odkryty przypadkiem i wykorzystywany z powodu zapotrzebowania na złoto. Prawdopodobnie wytwarzaniem złota mógł początkowo zająć się każdy metalurg posiadający wiedzę na temat odpowiednich procesów. Stapianie miedzi z cyną daje brąz cynowy, w barwie szary i możliwe, że właśnie to kolor tego stopu z dodatkiem innych metali był w starożytnym Egipcie uznawany za złoto. Kolejnym stopem miedzi będącym wynikiem transmutacji mógł być tombak- połączenie miedzi z cynkiem. Stopy zawierające cynk znane są od starożytności, tak też możliwe jest, że użycie odpowiednich rud zawierających cynk, świadome lub nie, mogło dać stopy podobne do dzisiejszego tombaku, popularnej imitacji złota. W starożytnym Egipcie takie procesy mogły uchodzić za uzyskanie metalu z innego, ze względu na brak metod analizy składu stopów. Wraz z rozwojem wiedzy chemicznej i odkryciem kwasów możliwe stało się poznanie składów próbek metalu przez traktowanie ich kwasem. Szybko okazało się, że wiele metali roztwarza<sup>XIII</sup> się w kwasach, ale część metali nie chce roztwarzać się w części, a nawet większości kwasów i złoto rozpuszcza się tylko w wodzie królewskiej. Odkrycie odporności złota na działanie większości kwasów pozwala na rozróżnienie go od tombaku, umożliwia też odróżnienie innych metali od ich imitacji[1][4].

Inwazja grecka na Egipt i rozrastające się wpływy filozofii greckiej spowodowały, że filozofowie zaczęli szukać wytłumaczenia dla fenomenu transmutacji, tak jak szukali wyjaśnień dla innych zjawisk i otaczającego nas świata. Rozważania nad mechanizmem transmutacji mogły od początku opierać się na greckiej teorii żywiołów, gdyż powstała ona prawdopodobnie przed zetknięciem się filozofii greckiej ze zjawiskiem transmutacji. Zgodnie z opracowanym systemem przemiany żywiołów szybko mogła zostać postawiona hipoteza co do mechanizmu przemiany metali. Dominacja myśli greckiej trwała pomimo rozwoju Rzymu i podbicia Grecji, jednak po upadku Rzymu tematem transmutacji i alchemii zajęły się raczej ludy arabskie niż mieszkańcy Starego Kontynentu. Arabowie zasymilowali część kultury i dotychczas wypracowanej wiedzy. Nie poprzestali jednak na tym i dalej rozwijali opis transmutacji, która była procesem ciekawym i obiecującym,

---

<sup>XIII</sup> Roztwarzanie-"rozpuszczanie się" próbki w roztworze, któremu towarzyszy reakcja. Różnicą między roztwarzaniem a rozpuszczaniem- przy rozpuszczaniu substancja nie podlega nieodwracalnej reakcji chemicznej, natomiast podczas roztwarzania tworzy się nowy związek w reakcji i to on dopiero się rozpuszcza.



niezależnie od ilości posiadanego złota. Geber wprowadził dwie zasady bezpośrednie, prawdopodobnie dokonując przekształcenia teorii żywiołów, tak jak miało to już kilka razy miejsce np. przy opracowaniu teorii humoralnej (inspirowanej teorią żywiołów). Dodanie soli do pary siarka- rtęć i stworzenie koncepcji trójzasadowej przez Paracelsusa spowodowane mogło być dużym znaczeniem soli dla procesów chemicznych. Z soli kamiennej uzyskiwano kwas solny, używano i nadal używa się jej do wytrącania substancji z roztworu przez tzw. wysalanie – dodanie soli do roztworu w celu wytrącenia osadu substancji rozpuszczonej. Przykładem użycia jest także zastosowanie soli przy produkcji mydła [1].

Średniowiecze było okresem, kiedy zaczęto coraz bardziej interesować się transmutacją. Możliwe, że przyczyn tego zjawiska było kilka. Po pierwsze: w średniowiecznej Europie brakowało kruszcu do produkcji monet, gdyż starożytni byli na tyle dobrymi górnikami, że wydobyli wszystkie złoża dostępne w owym czasie. Brak złota na monety spowodował wzrost wartości pieniędzy złotych i samego metalu, co nie dziwi przy rosnącej populacji i "feudalności" Europy. Z czasem pojawiło się coraz więcej możnych, drabina feudalna rozrosła się, a każdy posiadacz majątku zapewne chciał zdobyć ten jakże cenny metal. Drugim czynnikiem, który mógł wpłynąć na zainteresowanie przemianą metali, jest chrześcijaństwo. W czasie mszy dochodzi do przemiany chleba w ciało i wina w krew, analogicznie przemienianie metali jest czymś tajemniczym, co dotyka niemalże Boga. Jest to także porównanie mogące ściągnąć gniew Kościoła na człowieka zajmującego się tym tematem, gdyż zmiana metali, tak podobna do mszalnej przemiany, może rodzić zarzuty o bluźnierstwo i świętokradztwo oraz konkurowanie z Bogiem, co w wielu przypadkach, jak choćby wieża Babel, kończyło się tragicznie. Możliwe, że obawy przed takimi właśnie zarzutami spowodowały, że złoty czas dla alchemii nadszedł dopiero w renesansie, gdy zaczęto interesować się światem i naturą, a odrzucono tak dużą bojaźń przed karą bożą. Transmutacja nabrała nowego wymiaru, nie była to już tylko przemiana metalu, ale także przemiana człowieka, który ten proces prowadzi. Taka zmiana charakteru zjawiska miała miejsce zapewne pod wpływem rozwoju nauk humanistycznych, a samo uzyskanie złota straciło na znaczeniu przez fakt założenia koloni w Ameryce i importu dużych ilości złota przez flotę hiszpańską i portugalską z „Nowego Świata”.

Nie dziwi również, że wraz z postępem nauki alchemia straciła na znaczeniu, a ostatecznie stała się pseudonauką, jeżeli opracowane zostały nowe metody opisu świata i zjawisk; nowe, lepsze przyrządy, oraz metodyka naukowa. Poza rozwojem narzędzi upadek

alchemii spowodowany jest zmianą myślenia. Hipotezy tworzone dotychczas w celu wyjaśnienia zjawisk i świata mogą być obecnie łatwo poddane próbie. Badacze nie zadowolają się już samą teorią, chcą ją udowodnić i tak przeprowadzony zostaje eksperyment, w którym rzekomo dokonano przemiany żywiołów wody w powietrze, ogień i ziemię. Jak się jednak okazało, doświadczenie było prowadzone błędnie, a interpretacja wyników niewłaściwa. Dobrym przykładem ilustrującym połączenie zadowolenia z teorii i autorytetu jest twierdzenie, które mówi, że cięższy obiekt spada szybciej. Zostało sformułowane w starożytności, a zakwestionowane zostało dopiero przez Galileusza. Około roku 1600 Galileusz wykonał doświadczenie obalające wspomniany pogląd- zrzucił dwa, różniące się masą obiekty – kulę muszkietową i armatnią z Krzywej Wieży w Pizie. Doświadczenie to było ryzykowne, ale udowodniło zdanie badacza i ukazało od dawna utrzymywaną teorię jako błędne rozumowanie. Galileusz dowiódł że czas spadania swobodnego obiektu nie zależy od jego masy. Prawdopodobnie, pomimo "uniemożliwienia" transmutacji, ciągle trwały próby uzyskania złota z ołowiu, jednak musiały to być marginalne przypadki [3].

Od czasu "upadku" alchemii do prawie połowy XX wieku transmutacja była tylko symbolem kulturowym. Jednak dynamiczny rozwój wiedzy o "świecie kwantowym" i zmiana myślenia spowodowały, że przemiana pierwiastków w złoto staje się możliwa. Zagadnienie przemian jądrowych, chociaż ciekawe, jest zbyt rozległe by omówić je tu szczegółowo, dlatego poruszę tylko problem przemiany pierwiastków w złoto.

Wiele pierwiastków występuje w przyrodzie w postaci mieszaniny izotopów, odmian tego samego pierwiastka różniących się masą, właściwościami fizycznymi i często trwałością. Złoto jest jednym z pierwiastków występujących tylko w postaci jednego izotopu  $^{197}\text{Au}$ . Wszystkie pozostałe formy są niestabilne, najdłużej utrzymującą się z nich jest izotop  $^{195}\text{Au}$ - czas jego połowicznego rozpadu wynosi 182 dni. Oznacza to, że po takim czasie połowa próbki rozpada się w inny pierwiastek. Izotopy  $^{195}\text{Au}$  i  $^{196}\text{Au}$  rozpadają się do platyny (odpowiednio  $^{195}\text{Pt}$  i  $^{196}\text{Pt}$ ), natomiast  $^{198}\text{Au}$  i  $^{199}\text{Au}$ , po samorzutnej przemianie, dają rtęć ( $^{198}\text{Hg}$  i  $^{199}\text{Hg}$ ) [8][9]. Przemiana do platyny jest związana z wychwytem elektronu, co oznacza, że jeden z protonów (cząstek w jądrze naładowanych dodatnio) reaguje z ujemnym elektronem, w wyniku czego powstaje obojętny neutron, a uzyskany produkt jest "o jedno miejsce w lewo" względem pierwiastka wyjściowego w układzie okresowym [4]. Natomiast przemiana w rtęć łączy się z odwrotnym procesem, rozpadem  $\beta$ , w trakcie którego neutron rozpada się na dodatni proton i elektron. Produkt rozpadu  $\beta$  jest

"o jeden w prawo" w tablicy Mendelejewa. W obu procesach powstają jeszcze inne, trudno wykrywalne, cząstki- neutrino i antyneutrino elektronowe (wychwyt  $e^-$  i rozpad  $\beta$ ) [4]. Stabilność tylko jednego izotopu i mała żywotność izotopów nietrwałych jest przyczyną naturalnego występowania tylko jednego izotopu i trudności z uzyskaniem sztucznego złota. Szukając atomów, z których można by uzyskać złoto należy przyjrzeć się pierwiastkom leżącym w tym samym szeregu (okresie) co złoto, gdyż ich masa i liczba atomowa (liczba protonów) jest podobna. Jest to ważne dlatego, że dodanie kilku jednostek masy do atomu nie jest aż tak dużym problemem, jak dodanie kilkunastu. W okresie szóstym, zajmowanym przez złoto, widzimy (w nawiasie — zawartość w skorupie ziemskiej w ppm, czyli części na milion, czyli 1ppm=1/1 000 000, tu masy skorupy ziemi, jeśli zawartość pierwiastka wynosi 1 ppm, to po wykopaniu 1 000 000 kg skorupy ziemskiej uzyskamy 1 kg tego pierwiastka.): Hafn (5,3), Tantal (2), Wolfram (1,25), Ren (0,0004), Osm (0,0001), Iryd (0,001), Platynę (0,004), Złoto (ok. 0,024), Rtęć (0,05), Tal (0,6), Ołów (0,6), Bizmut (0,048), Polon (jest go tak mało, że opłaca się uzyskiwać go przemysłowo z bizmutu), Astat (nie występuje naturalnie, zbyt nietrwały) i Radon (jest gazem, powstaje podczas rozpadu uranu i toru, szybko ulega przemianom, ale ma znaczenie dla zdrowia np. w kopalniach, gdzie może koncentrować się i znacząco podnosić poziom promieniowania) [4]. Pomijając koszt i trudności związane z wydobyciem, możemy powiedzieć, że hafn, tantal i wolfram są dobrymi kandydatami do przemiany w złoto, gdyż ich zawartość w skorupie ziemskiej jest większa od zawartości złota. Ilość wymienionych pierwiastków wpływa na ich korzyść, natomiast na negatywnie wpływa ich oddalenie od złota w układzie okresowym. Znacznie bliżej znajdują się platyna, rtęć, iryd i tal, różniące się liczbą atomową odpowiednio o jeden i o dwa. Ze względu na ilość platyna i iryd są mniej pospolite od złota, natomiast rtęć i tal wręcz przeciwnie. Biorąc pod uwagę ilość i łatwość produkcji, wydaje się, że ołów również jest świetnym kandydatem na substrat reakcji. Uwzględniając zarówno bliskość pierwiastka względem złota, jak i jego zawartość w skorupie ziemskiej, możemy powiedzieć, że wygrywa rtęć. Rzeczywiście- pierwszy przypadek transmutacji z wymienionych wykorzystywał rtęć i szybkie neutrony, co pozwalało uzyskać złoto. Uzyskano jednak tylko niestabilne izotopy  $^{198}\text{Au}$  i  $^{199}\text{Au}$  [5]. Otrzymanie złota z rtęci polegało na wybiciu neutronem, rozpędzonym do odpowiedniej energii, protonu z jądra złota, co spowodowało "przesunięcie w lewo". Metoda Seborga używa natomiast jako substancji wyjściowej bizmutu- jego zawartość jest dwa razy większa niż złota, ale znajduje się on „cztery miejsca w prawo od złota”. Różnicę w liczbie atomowej równą cztery udało się jednak zniwelować, używając w tym celu nie szybkich

neutronów, ale jąder węgla  $^{12}\text{C}$  i neonu  $^{20}\text{Ne}$  rozpędzonych do odpowiednich energii [7]. Jest możliwe uzyskanie stabilnego izotopu złota  $^{197}\text{Au}$ , jednak wydajność takiego procesu będzie mieściła się w najlepszym wypadku w przedziale od ok. 1% do 4%. Powstanie atomu złota w tym procesie wiąże się, podobnie jak podczas użycia prędkich neutronów, z usunięciem protonu, tym razem nie jednego, lecz czterech. Istnieją również inne metody prowadzące do uzyskania złota, np. uzyskanie niestabilnego izotopu rozpadającego się do złota, jednak aby je opisać, należałoby porzucić wszelki rys historyczny.

### 6. Wnioski

Przypuszczam, że termin "transmutacja" został sformułowany bez wiedzy o chemii kwantowej, a następnie potwierdzony w wyniku pewnej kombinatoryki. W przeszłości powstawało wiele pojęć i teorii, nie wszystkie się sprawdziły, ale część zyskało potwierdzenie po upływie dłuższego czasu. Sama przemiana metalu w złoto jest pomysłem tak kuszącym, że dziwnym wręcz byłoby dla mnie, gdyby ktoś nie spróbował osiągnąć czegoś takiego dla zysku.

Uzyskanie sztucznie złota jest drogie i skomplikowane, dlatego wydaje się, że ludzkość nieprędko sięgnie po przemiany jądrowe, by je otrzymać. Może się jednak okazać, że wprowadzenie nowych reaktorów jądrowych da nam sposobność do pozyskiwania, sztucznie, mieszanki pierwiastków cennych, w tym złota i wówczas sztuczne uzyskiwane złota może stać się prawdopodobne, a nawet opłacalne.

Transmutacja jest tematem ciekawym kulturowo i psychologicznie. Sam jej rys historyczny przedstawiony tu jest dość wąski, a samo zagadnienie zasługuje na obszerne omówienie, w kontekście kultury i psychologii (co zostało poczynione przez Junga).

## Bibliografia

1. Bugaj, R. (1991). *Hermetyzm*. Wrocław, Warszawa, Kraków: Zakład narodowy im. Ossolińskich
2. Hassa, R., Mrzigod, J., Nowakowski, J. (2004). *Podręczny słownik chemiczny*. Katowice: Videograf
3. Tatariewicz, W. (2005). *Historia Filozofii*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN
4. Bielański, A. (2010). *Podstawy chemii nieorganicznej*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN
5. Sherr, R., Bainbridge, K., Anderson, H. (1941). Transmutation of Mercury by Fast Neutrons. *The Physical Review*, Vol. 60 No.7, 473-479
6. Miethé, A. (1924). Der Zerfall des Quecksilberatoms. *Naturwissenschaften*, 12(29), 597-598.
7. Loveland, W., McGaughey, P. L., & Seaborg, G. T. (1981). Energy dependence of Bi 209 fragmentation in relativistic nuclear collisions. *Physical Review C*, 23(3), 1044.
8. PubChem. (2017). Złoto(CID: 23985). Pobrano z:  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/23985>, Dnia (2017, 07, 27).
9. Polskie Wydawnictwo Naukowe PWN. (2017). Złoto. Pobrano z:  
<https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/zloto;4001784.html>, Dnia (2017, 07, 27).

### **Alchemy origins and chemistry realization of transmutation.**

Alchemy is one of protosciences but it was science until the Enlightenment, when the chemistry was formed. History of alchemy didn't end in the Enlightenment, but it influences art and culture until today. One of the most basic alchemy terms "transmutation", means transforming metals like lead into gold, have been developed and then abandoned with alchemy fall, but return in today science. Term transmutation was developed in ancient Egypt as effect of metallurgy procedures. From about 3000 b.c. Egyptians were forging metals, they had more gold than silver so silver was more valuable for them, so they were trying to obtain silver and gold from less valuable metals. They manage to obtain gold-like alloys. Process of obtaining was similar for them to dyeing, so they used to name it so. Then Greeks conquered Egypt and Greek philosophy tried to describe mechanism of transmutation using the elements' theory. In medieval Arabs tried to describe and develop alchemy using ancient knowledge, forgotten by medieval Europe. One of the Arabic alchemist named Geber formed theory of two crucial ingredients sulfur and mercury — their combination should give any metal. After Arab gold era and after end of medieval Europeans start to care about science and rediscovered alchemy. Then after medieval era alchemy had strong, not only physical, but also spiritual element.

We can say that in 1661 alchemy became protoscience because in that year R. Boyle published "The Sceptical Chymist" what is seen as beginning of chemistry and the end of the alchemy, as a science. With beginning of chemistry transmutation were seen as legend but after many years we know that turning one element into another is possible. Science manages to perform transmutation using knowledge, about quantum mechanics, from end of XIX and XX century. Today we still try to use process of transmutation to obtain more and more energy from atomic fission. Our chance for it can be development of nuclear reactors, named 4th and 5th generation.