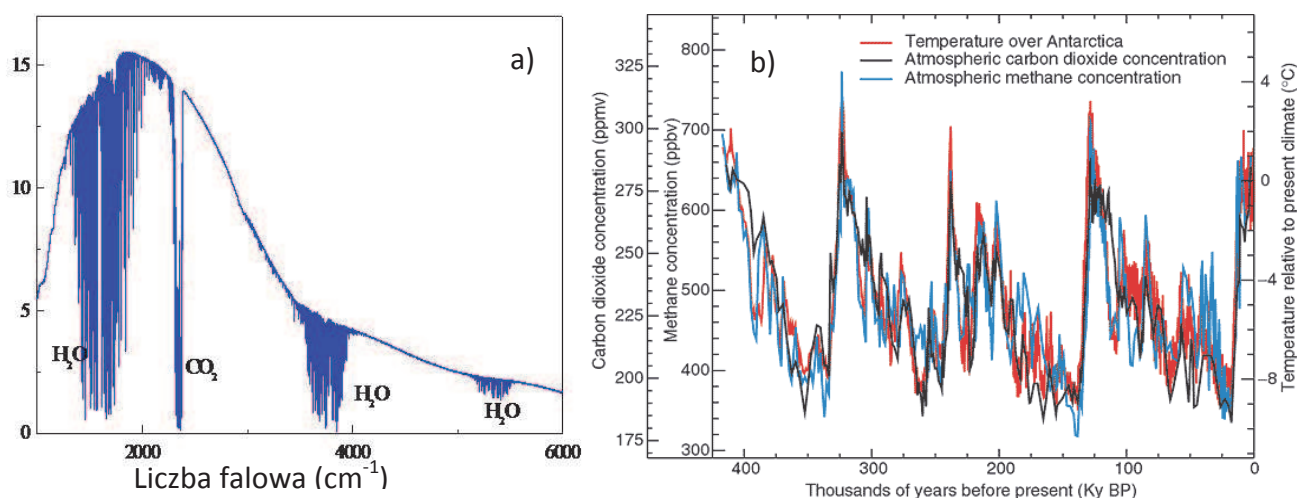


Rozdział VI. Zastosowania fizyki

6.1. Czy grozi nam efekt cieplarniany?

Dyskusja na temat występowania lub nie efektu cieplarnianego w odniesieniu do globalnego klimatu na Ziemi jest bardzo gorąca, jak na klimat przystało. Konieczność dostosowania się do regulacji prawnych Unii Europejskiej oznacza dodatkowe podatki, tzw. „carbon tax”, które obciążają ceny paliw, gazu, a także wszystkich innych dóbr, szczególnie tych energochłonnych, jak materiały budowlane. Przeciwnicy tych uregulowań prawnych podnoszą argument o występowaniu *naturalnego* efektu cieplarnianego. Tak! Występuje on rzeczywiście, i to dużo większy niż efekt spowodowany działalnością człowieka.

Naturalny **efekt cieplarniany** jest jednym z mechanizmów, dzięki któremu istnieje życie na Ziemi. Mimo ogromnej ilości energii docierającej do Ziemi ze Słońca (1340 W na każdy metr kwadratowy powierzchni prostopadłej do padania promieni) średnia temperatura na Ziemi wynosiłaby, bez atmosfery, zaledwie -15°C . Główne składniki atmosfery, azot N_2 , tlen O_2 , argon Ar (1%) są dla światła słonecznego prawie w całym zakresie widma przezroczyste. Inaczej jest z gazami w postaci cząsteczek wieloatomowych, jak para wodna (H_2O), dwutlenek węgla CO_2 , a także spotykane w śladowych ilościach w atmosferze ziemskiej podtlenek¹ azotu N_2O , metan CH_4 . Wieloatomowa struktura pozwala tym gazom efektywnie pochłaniać promieniowanie podczerwone (którego niesie około 40% energii w widmie Słońca). Promieniowanie podczerwone dociera do powierzchni Ziemi, ale w swej powrotnej drodze w kosmos jest pochłaniane przez gazy wieloatomowe², zob. rys.3.10. W skutek tego, średnia temperatura na Ziemi jest wyższa niż to wynikałoby z danych „astronomicznych”, aż o 33 K, i wynosi $+18^{\circ}\text{C}$. Dla życia opartego na wodzie, zasadnicza różnica!



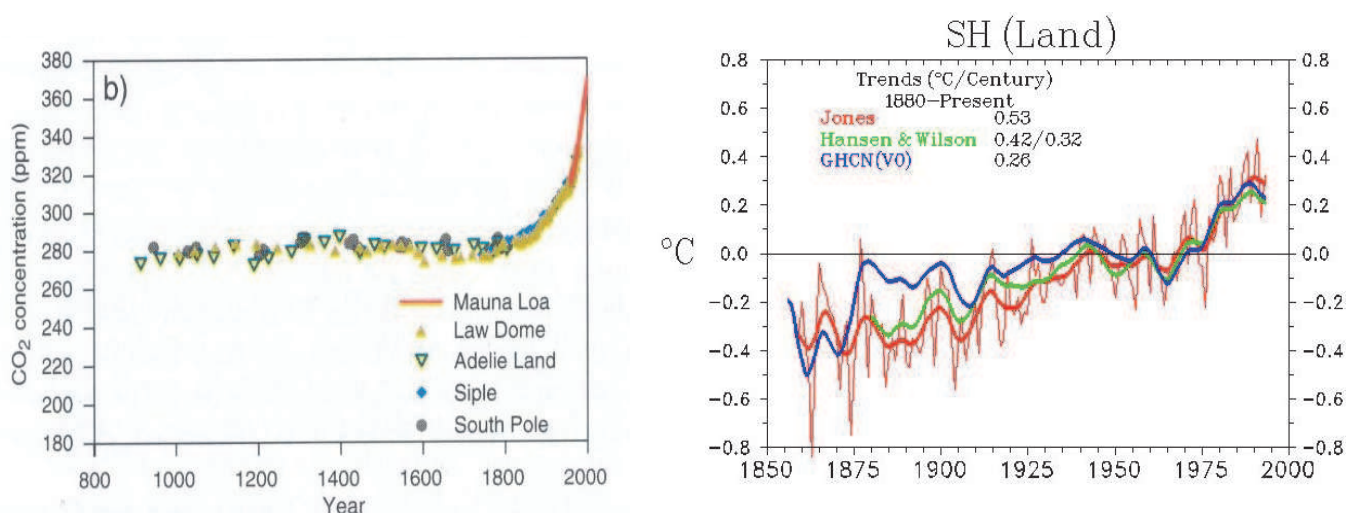
Ryc. 6.1. Mechanizmy efektu cieplarnianego: **a)** widmo (natężenie, jednostki względne) promieniowania elektromagnetycznego w temperaturze 290 K ma maksimum w zakresie podczerwieni (długość fali około $9\text{ }\mu\text{m}$); N_2 i O_2 w tym zakresie długości fal nie pochłaniają energii, więc atmosfera jest „przezroczysta”; energia jest jednak dobrze pochłaniana przez H_2O i CO_2 – ich zakresy absorpcji się uzupełniają; CO_2 „zamyka” skutecznie możliwe okno ucieczki ciepła z Ziemi (pomiar autor); **b)** w ciągu ostatnich 400 tys. lat temperatura na Antarktydzie (linia czerwona) i zawartość CO_2 w atmosferze (linia czarna) były ściśle skorelowane (źródło: NAOA)

¹ Poprawne chemicznie nazwy tych związków przedstawiliśmy w rozdziale III; tu stosujemy nazwy tradycyjne.

² Ta dziwna pozornie zależność jest konsekwencją prawa Plancka. Docierające do Ziemi promieniowanie ma „temperaturę” 5700 K a wysyłane przez Ziemię w kosmos około 300 K. W konsekwencji, większość energii cieplnej powracającej z Ziemi w kosmos jest unoszona przez promieniowanie podczerwone. Gazy cieplarniane przeszkadzają w tej ucieczce, co w konsekwencji podnosi średnią temperaturę na Ziemi.

Mechanizmy efektu cieplarnianego nie są proste, stąd i jego skutki nie są bezpośrednie. W szczególności, o ile zawartość dwutlenku węgla w atmosferze nie zależy od temperatury³, to ilość pary wodnej zależy niezwykle silnie: od zawartości prawie 0% w temperaturze 0°C do zawartości 100% w temperaturze 100°C⁴. Mały wzrost temperatury na Ziemi powoduje znaczny wzrost ilości H₂O w atmosferze, co potęguje efekt cieplarniany. Jest to rodzaj *dodatniego* sprzężenia zwrotnego, jak piszczące głośniki, kiedy w pobliżu jest mikrofon!

Ilość CO₂ w atmosferze, w przeciągu ostatnich setek tysięcy lat zmieniała się niewiele, co potrafimy udokumentować badając głębokie pokłady lodu na Antarktydzie, zob. ryc. 6.1a. Okazuje się, że średnia temperatura na Ziemi (a tę znamy np. z badania osadów muszli skorupiaków) jest ściśle skorelowana z zawartością CO₂ (ryc. 6.1b). Zawartość CO₂ zmieniała się od 200 ppm (części na milion) – wówczas średnia temperatura spadała o 8°C, do nieco ponad 300 ppm – wówczas temperatura rosła o +2°C. Ryc. 6.2a przedstawia zmiany koncentracji CO₂ w ciągu ostatniego tysiąca lat. Od początku ery przemysłowej, tak około 1850 roku, obserwujemy wzrost CO₂ – do dziś naturalny poziom tego gazu w atmosferze (wynoszący około 280 ppm) został przekroczony prawie o 30%!



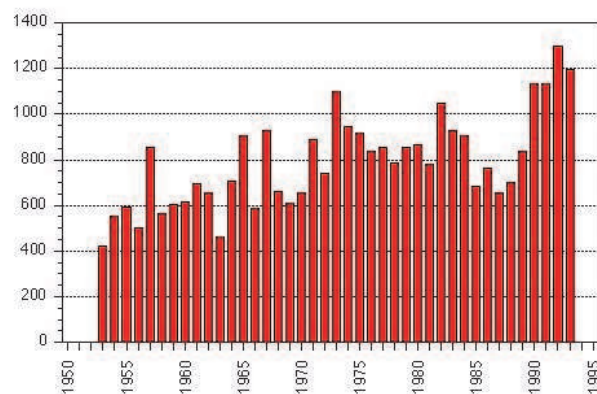
Ryc. 6.2.a) Wzrost CO₂ w atmosferze; **b)** zmiany temperatury na półkuli południowej (NOAA)

Wzrost poziomu CO₂ nie oznacza wzrostu temperatury *wszędzie* i *zawsze*. Efekt cieplarniany oznacza niekoniecznie większą temperaturę, ale większą ilość *ciepła* akumulowanego w atmosferze. Atmosfera, z prądami powietrznymi, wiatrami, opadami deszczu, burzami używa tego ciepła do napędzania wewnętrznych procesów. Stąd efekt cieplarniany może oznaczać nawet *niższe* temperatury latem i w dzień, pochmurne lata, ciepłe zimy ale z gwałtownymi prądami mroźnego powietrza znad bieguna.

Oceń sam, czy grozi nam dodatkowy efekt cieplarniany spowodowany spalaniem paliw przez człowieka, jakie może mieć skutki i jak można jemu zapobiec!

Ryc. 6.3. Liczba tornad w USA w okresie 1955-1995 (Źródło: NOAA, USA)

NUMBER OF OBSERVED TORNADOES - U.S.



³ Jak to pokazuje przykład Wenus z gigantycznymi ilościami CO₂ w atmosferze i ogromną temperaturą (do 500° C) ilość CO₂ w atmosferze nie zależy od temperatury tylko w „rozsądnym” zakresie temperatur.

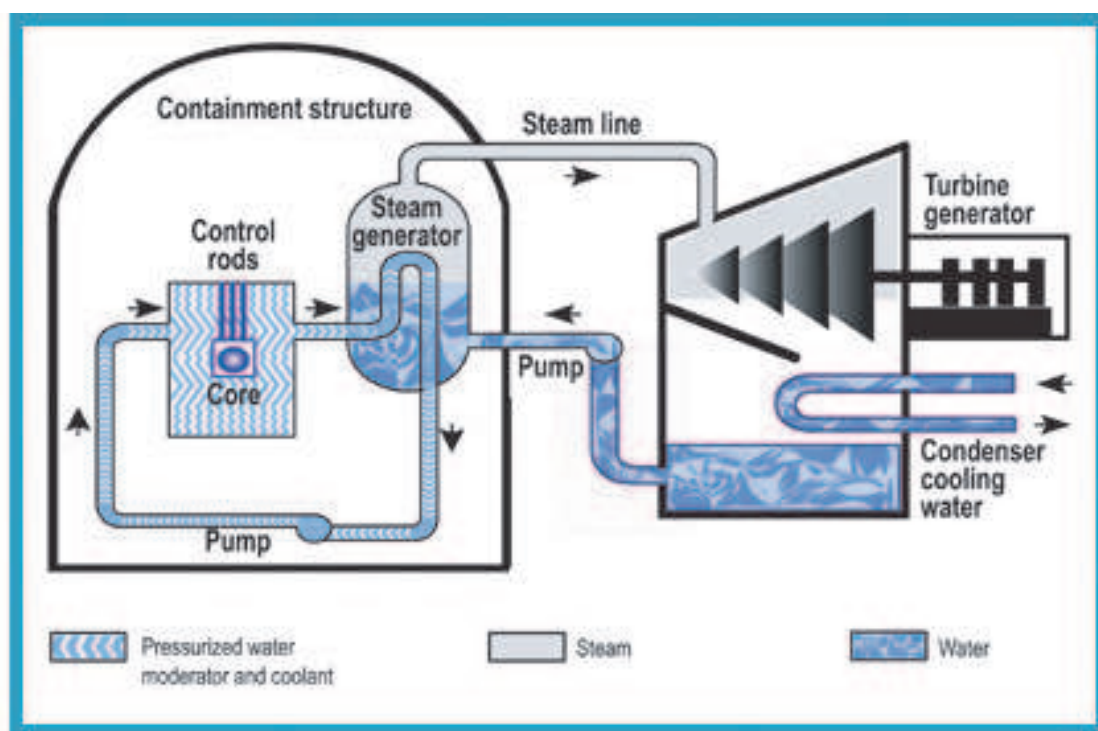
⁴ W saunie jest duszno z powodu małej zawartości tlenu – ciśnienie pary wodnej wypycha z sauny powietrze.

6.2. Problemy energetyki jądrowej

W rozdziale III poznaliśmy reakcje rozszczepienia jądra uranu ^{235}U . Odkrycie dokonane przez niemieckich uczonych, zostało opublikowane w lutym 1939 roku. Jak opowiadał polski noblista, fizyk, prof. Józef Rotblat⁵ „-My w Warszawie, po I Wojnie wiedzieliśmy, jakie niebezpieczeństwo niesie możliwa, nowa broń w niepowołanych rękach. I tak z kopią artykułu poleciałem 23 sierpnia do Chadwicka [odkrywcy neutronu]. Ten nie zastanawiając się, zapakował nas do Londynu. Churchill tylko spojrział i już siedzieliśmy w samolocie do Ameryki. Tak zaczął się Program <Manhattan>”⁶. W ramach tego programu został zbudowany pierwszy, eksperymentalny reaktor jądrowy. Pierwszy reaktor jądrowy dla celów wytwarzania energii elektrycznej został uruchomiony w 1954 w Związku Radzieckim.

Elektrownie jądrowe działają na zasadzie rozszczepienia uranu ^{235}U lub „półproduktu” reakcji jądrowych, plutonu ^{239}Pu (ten również ma zastosowania militarne). Reaktor jądrowy jest napełniany paliwem (np. w postaci tlenku uranu UO_2) a szybkość reakcji rozszczepiania jest kontrolowana przez wsuwanie i wysuwanie prętów z kadmu; kadm ma właściwość pochłaniania neutronów, przez co zapobiega nadmiernej szybkości reakcji.

Istotnym problemem kontrolującym przebieg reakcji jądrowej jest również tzw. moderator. Okazuje się, że jeśli neutrony mają małą prędkość, większa jest szansa na ich wychwyt przez jądro uranu⁷ a przez to prawdopodobieństwo reakcji rozszczepienia. Neutrony tracą efektywnie energię w zderzeniach z lekkimi jądrami, np. jądrem deuteru ^2H lub węgla ^{12}C . Stąd zastosowanie grafitu⁸ lub ciężkiej wody jako wypełnienie reaktora.



Ryc. 6.4. Schemat działania elektrowni jądrowej; paliwo jądrowe znajduje się w rdzeniu (*core*); pręty kontrolne (*control rods*) regulują prędkość reakcji, gorące chłodziwo (woda pod ciśnieniem) wytwarza parę wodną (*steam generator*) w wymienniku ciepła, gorąca para (*steam line*) napędza turbinę generatora (*turbine generator*), dodatkowa linia wody (*cooling water*) chłodzi parę po przejściu przez turbinę. (źródło: World Nuclear Association)

⁵ Zob. G. Karwasz Polak, *fizyk, noblista*, Głos Koszaliński, 2002

⁶ Program „Manhattan” to amerykańskie badania nad energią i bronią jądrową.

⁷ Jest tu pewna analogia z przekrojem czynnym na oddziaływanie elektronów z helem, zob. ryc. 2.59.

⁸ Awaria w Czernobylu na Ukrainie, 26.04.1996 roku polegała na zapaleniu się grafitu, w skutek nie zachowania elementarnych zasad bezpieczeństwa, co doprowadziło do przegrzania się reaktora.

W odróżnieniu od elektrowni napędzanych węglem, gazem lub ropą naftową, elektrownie jądrowe pozwalają na szybkie włączanie się do sieci, a tym samym reagowanie na zapotrzebowanie odbiorców. Wydobycie węgla wiąże się ze znacznymi zniszczeniami środowiska oraz kosztami zdrowotnymi dla osób zatrudnionych w górnictwie. Dodatkowym argumentem przeciw energetyce opartej na węglu (jak to ma miejsce w Polsce, w 90%) jest rosnąca presja dla ograniczania skutków efektu cieplarnianego.

Elektrownie jądrowe, w odróżnieniu od elektrowni napędzanych paliwami „kopalnymi” jak węgiel i ropa naftowa zużywają bardzo małe ilości wsadu. Elektrownia o mocy 1 GW zużywa dziennie 1 kg uranu lub plutonu; aby uzyskać podobną ilość energii z węgla trzeba spalić go 3 tys. ton (uwalniając do atmosfery tysiące ton CO₂). Całkowita moc elektrowni jądrowych na świecie to 340 GW. Francja wytwarza 79% energii elektrycznej w swoich 59 elektrowniach jądrowych; energia elektryczna we Francji należy do najtańszych w Europie.

Problemem pozostaje przechowywanie odpadów radioaktywnych, ale na kuli ziemskiej istnieją obszary geologicznie stabilne od 2-3 miliardów lat. Większym znacznie problemem jest natomiast wyczerpywanie się tradycyjnych paliw kopalnych: węgla kamiennego powinno wystarczyć na 200 lat, gazu ziemnego na 55 lat ale ropy naftowej na mniej niż 40 lat⁹. Bilans pokazujemy na ryc. 6.5.

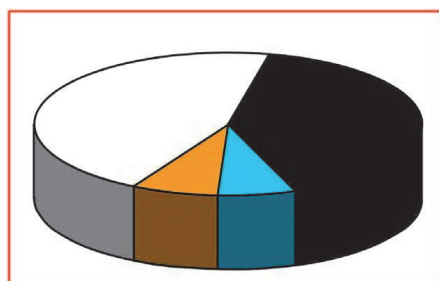
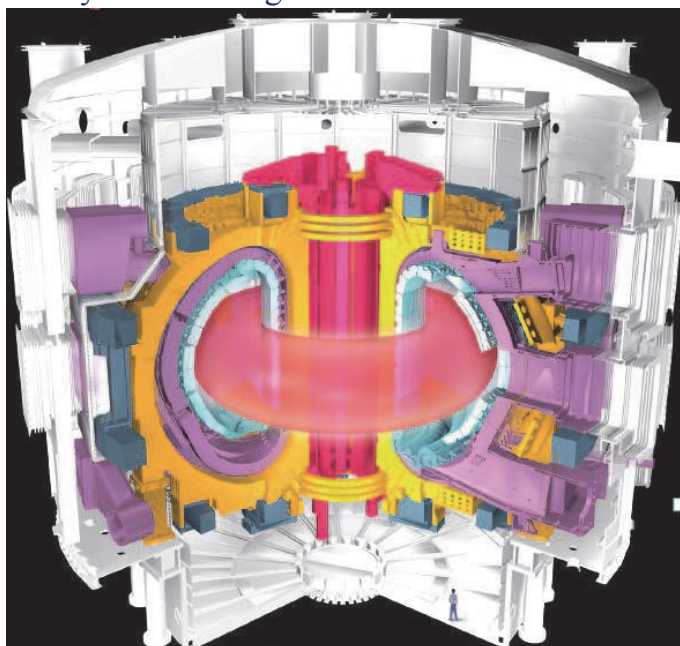


Fig. 6.5. Zasoby paliw kopalnych w skali świata: kolor czarny – węgiel kamienny (200 lat); niebieski – gaz ziemny (ok. 50 lat); żółty – ropa naftowa (ok. 40 lat); pozostała część zasobów już została przez ludzkość skonsumowana (Źródło: „Nature” 20.11.2002)

Oprócz różnorodnych „alternatywnych” źródeł energii elektrycznej, jak ogniwa foto-woltaiczne, bio-gaz, energia wiatrowa, intensywne prace są prowadzone nad kontrolowaną syntezą termojądrową. W procesie syntezy jąder helu z deuteru i trytu udało się już uzyskać produkcję netto energii (16 MW) a założonym celem nowego centrum ITER w południowej Francji jest produkcja 500 MW mocy. (Dla porównania, jest to moc 250 „wiatraków” o długości śmigieł 40 m). Koszt instalacji ITER to 13 mld euro ale trudno przecenić możliwe korzyści technologiczne.



Ryc. 6.6. Schemat próbnego reaktora do kontrolowanej syntezy termojądrowej ITER we Francji; sercem urządzenia zwanego „tokamak” jest sznur plazmy o temperaturze 150 mln K utrzymywanej w komorze z próżnią za pomocą gigantycznych magnesów nadprzewodzących; dla porównania rozmiarów – sylwetka człowieka w prawym dolnym rogu; koszt instalacji 13 mld euro (Źródło: ITER)

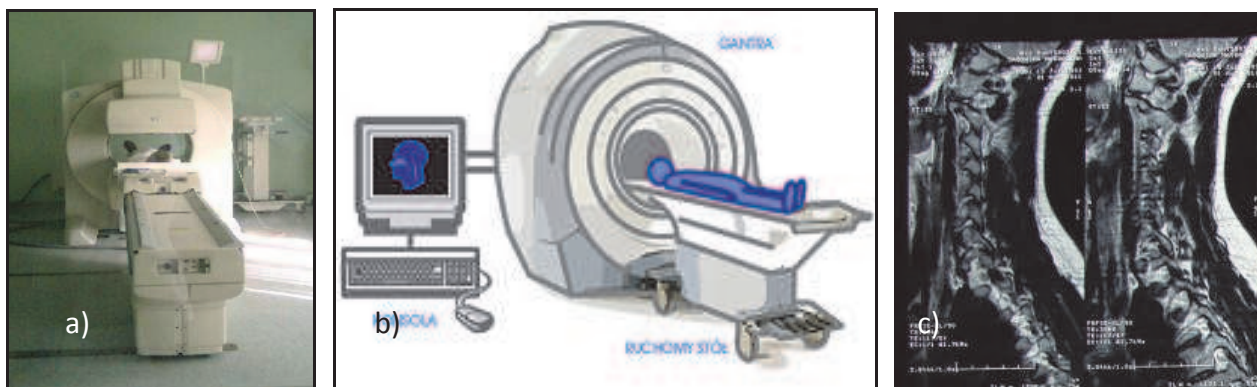
⁹ „Nature”, 20.11.2002

6.3. Fizyka w medycynie¹⁰

Jeszcze sto lat temu, po paru tysiącach lat rozwoju wiedzy medycznej, podstawowym narzędziem diagnozy było osłuchiwanie pacjenta za pomocą *stetoskopu*. W XX wieku fizyka zrewolucjonizowała medycynę - począwszy od medycznych zastosowań promieni Röntgena w czasie I Wojny Światowej¹¹, poprzez terapie nowotworów za pomocą izotopów promieniotwórczych, do nowoczesnych komputerowych metod diagnostycznych.

Rentgenowska tomografia komputerowa (CT¹²)

Promienie rentgenowskie są silniej absorbowane przez tkanki gęste jak kości. Rentgenowska tomografia komputerowa polega na wykonywaniu zdjęć rentgenowskich badanego narządu pacjenta w różnych płaszczyznach i pod różnym kątem. Komputerowa obróbka serii zdjęć pozwala uzyskać kilkuwarstwowy obraz, na którym można zaobserwować nawet niewielkie symptomy choroby, zob. ryc. 6.7c.



Ryc. 6.7. Rentgenowska tomografia komputerowa: **a)** stanowisko diagnostyczne w Centrum Onkologii w Bydgoszczy; **b)** schemat urządzenia; **c)** zdjęcie boczne kręgosłupa za pomocą tomografii komputerowej (źródło: AK)

Aparat rentgenowski składa się ze stołu, na którym leży pacjent, gantry czyli obrotowej obręczy zawierającej lampę rentgenowską i detektory dokonującej pomiaru co kilka stopni. Konsola pomiarowa i komputery znajdują się na zewnątrz sali. Dawka jaką otrzymuje pacjent podczas badania wynosi ok. 15 milisivertów, jest to więcej niż dawka promieniowania naturalnego w tym promieniowania kosmicznego wynoszącego 6 milisivertów. Narażenie na promieniowanie w tomografii komputerowej w największym stopniu zależy od parametrów technicznych badania i aparatu oraz od pacjenta. Dawki promieniowania w badaniu w tomografii komputerowej mogą być od 5 do 100 razy większe niż w konwencjonalnym badaniu radiologicznym tej samej okolicy ciała. Korzyści z badania są jednak znaczne.

Rezonans magnetyczny (MRI¹³)

Komplementarnym badaniem do tomografii rentgenowskiej jest *rezonans magnetyczny* (MRI). O ile CT służy głównie do badania tkanek twardych, MRI obrazuje tkanki miękkie, np. mózgu. Rezonans magnetyczny polega na umieszczeniu pacjenta w stałym polu magnetycznym wewnątrz aparatu, rzędu 1 tesli. Pod wpływem tego pola spiny (tj. momenty własne krętu) elektronów i jąder ustawiają się zgodnie z tym polem. Pod wpływem zmiennego *poprzecznego* pola magnetycznego (w postaci impulsu fali elektromagnetycznej)

¹⁰ Opracowała A. Kozłowska

¹¹ Maria Curie jest bohaterką narodową Francji głównie z powodu uratowania setek tysięcy żołnierzy w czasie I wojny światowej; z grupą kobiet, w zarekwirowanych na te cele od prywatnych właścicieli mini-ciężarówkach, przeprowadziła 1,5 mln badań rentgenowskich rannych na froncie żołnierzy.

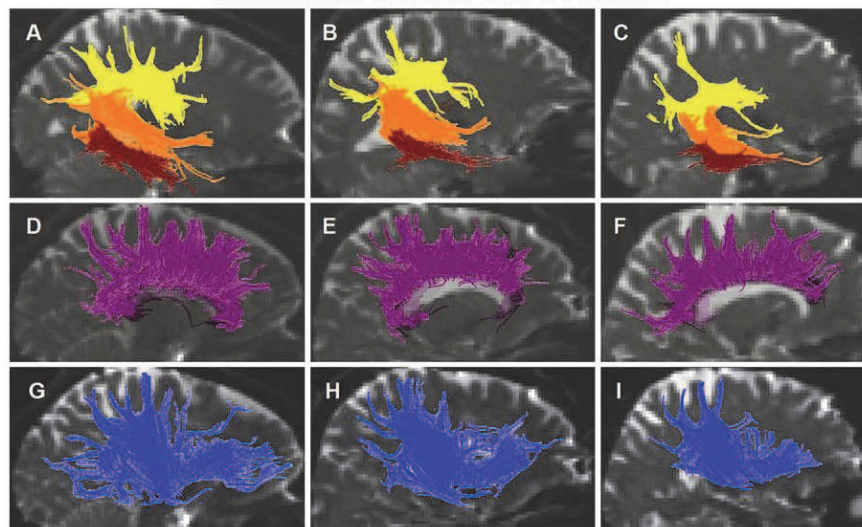
¹² ang. *computer tomography*

¹³ ang. *magnetic resonance imaging*

spiny zaczynają wykonywać precesję dookoła kierunku głównego pola magnetycznego, jak wirujący bąk pod wpływem zaburzenia (albo oś Ziemi, raz na 25 tys. lat). Częstotliwość tej precesji możemy mierzyć. Zmieniając natężenie pola magnetycznego, jego konfigurację, fazę i częstotliwość fali elektromagnetycznej możemy precyzyjnie obrazować poszczególne obszary wewnątrz ciała człowieka.

Nadzwyczajna czułość MRI do obrazowania tkanek miękkich, czyli zawierających dużo wody, wynika ze szczególnych własności magnetycznych jądra atomu wodoru (czyli protonu). Własności te wynikają ze spinu protonów ale również z tzw. współczynnika żyromagnetycznego. Dla elektronów współczynnik ten wynosi nieco ponad 2 a dla protonu aż 5,59, tj. pięciokrotnie więcej niż wynikałoby to z klasycznej fizyki¹⁴. Za pomocą MRI możemy obrazować nie tylko struktury w mózgu, zob. fot. 6.8, ale również *pracę* mózgu.

Representative sets of fiber-tracking results obtained in, A, D, G, a 25-year-old man; B, E, H, a 55-year-old man; and, C, F, I, an 81-year-old woman and depicted on sagittal sections of the DT data set measured with a b value of 0 sec/mm².



Stadlbauer A et al. Radiology 2008;247:179-188

Radiology

Fot. 6.8. Zmiany strukturalne w mózgu z wiekiem (Źródło: Radiology)

Tomografia anihilacji pozytonów (PET)¹⁵

Tomografia pozytonowa korzysta ze szczególnych własności anty-materii: anty-elektrony (czyli pozytony), emitowane z mini-źródła radioaktywnego wewnątrz organizmu, anihilują z elektronami tkanki. Powstające, przenikliwe promieniowanie gamma opuszcza tkankę pacjenta, jest rejestrowane przez detektory w gantrach, jak na rys. 6.7b i wskazuje dokładnie na miejsce anihilacji.

Niezwykle ważnym elementem dla rozwoju tej techniki była obserwacja, że tkanki nowotworowe mają zwiększone zapotrzebowanie na niektóre substancje, np. glukozę. Jeżeli w cząsteczce glukozy w miejsce atomu wodoru podstawia się np. sztuczny izotop fluoru ¹⁸F, to nowotwór absorbuje tę radioaktywną glukozę i zaczyna „świecić” promieniowaniem gamma.

Jądro fluoru ¹⁸F rozpada się tkance, z czasem połowicznego zaniku 110 minut, na jądro (nie-radioaktywnego) tlenu ¹⁸O, według reakcji

¹⁴ Ten sam współczynnik dla elektronu wynosi -2,002 319 304 3622 i jest jedną ze stałych fizycznych znanych z największą dokładnością; w fizyce klasycznej współczynnik ten powinien wynosić -1,0, w kwantowej -2,0; małe odchylenie od -2,0 jest wynikiem zjawisk opisanych przez *elektrodynamikę kwantową*. Dla neutronów czynnik żyromagnetyczny wynosi -3,83, ale nie wiemy dlaczego.

¹⁵ Ang. *positron emission tomography*



Powstały pozyton anihiluje w czasie 10^{-10} s, praktycznie w miejscu, gdzie powstał według reakcji

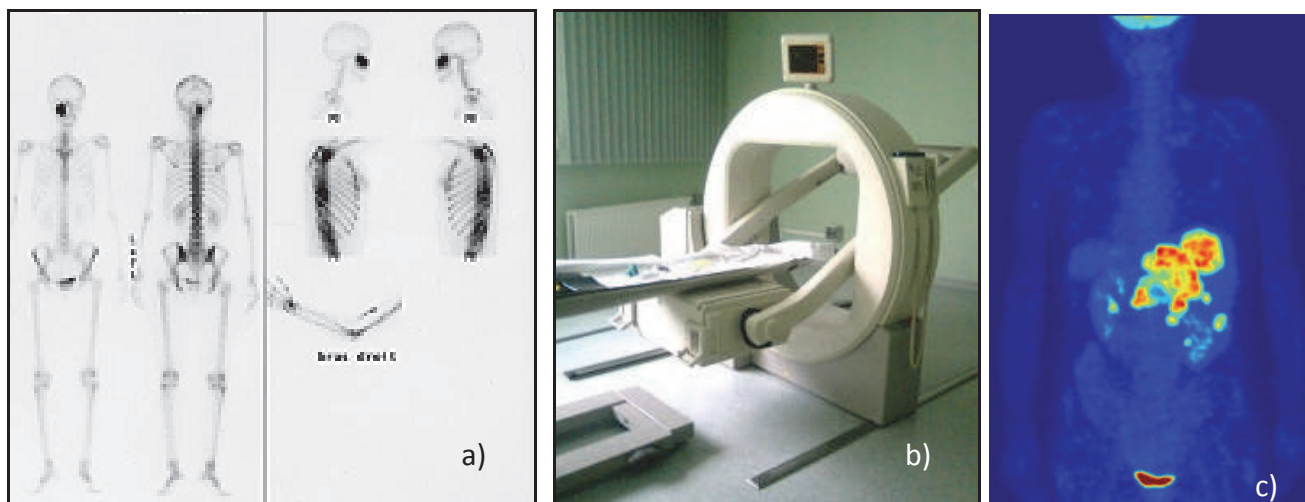


Przystępując do badania pacjenta wykonuje się tzw. topogram. Jest to krótki, bo 9 sekundowy skan rentgenowski sprawdzający prawidłowe ułożenie pacjenta. Kolejny etap to badanie CT dające obraz rentgenowski, stanowiący mapę anatomiczną dla obrazu PET. Dokładność metody pozwala na znalezienie nowotworów nawet o rozmiarach 2-3 mm. Jest przy tym nieinwazyjna – pochłonięta dawka promieniowania jest minimalna, jako że resztki izotopu są szybko wydalone z organizmu.

Scyntygrafia

Uzupełnieniem badania PET (pozytonowej tomografii emisyjnej) jest scyntygrafia, która polega na uzyskiwaniu obrazu narządów oraz oceny ich czynności za pomocą niedużych izotopów promieniotwórczych (radioizotopów). Jedną z jej zalet jest uzyskiwanie obrazów scyntygraficznych o znacznie lepszej rozdzielczości, dzięki rejestracji promieniowania związanego ze zjawiskiem anihilacji pozytonu i elektronu. Dzięki scyntygrafii ocenia się wielkość, kształt, położenie, ale także funkcjonowanie konkretnego narządu. Scyntygrafię stosuje się nie tylko w obrazowaniu zmian nowotworowych, ale i innych efektów typu anatomicznego i funkcjonalnego, np. w tkance kostnej i nerkach.

Izotop podawany jest pacjentowi doustnie w ilości zależnej od masy i powierzchni ciała pacjenta. Radioizotop najczęściej stosowany to technet ${}^{99}\text{Tc}$, rzadziej używa się jodu ${}^{131}\text{I}$, talu ${}^{201}\text{Tl}$ i galu ${}^{67}\text{Ga}$. Zaletą tej techniki jest też możliwość stosowania sztucznych izotopów w miejsce pierwiastków budujących organizmy żywe: węgla (${}^{11}\text{C}$), fluoru (${}^{18}\text{F}$) czy tlenu (${}^{15}\text{O}$). Izotopy łączy się z odpowiednimi związkami chemicznymi, które powodują gromadzenie się ich w konkretnym narządzie. Przykładowo, siarka wychwytywana jest przez komórki wątroby, kuleczki albumin zatrzymują się w naczyniach włosowatych płuc, fosforany gromadzą się w kościach itd. Używane w badaniach scyntygraficznych radioizotopy są mało szkodliwe dla organizmu.



Fot. 6.9. Nowoczesne techniki diagnostyczne a) scyntygraf jednogłowicowy znajdujący się w Centrum Onkologii w Bydgoszczy; b) obraz scyntygraficzny człowieka. (AK); c) tomografia anihilacji pozytonów (PET) – widoczna akumulacja radioizotopu w niektórych narządach (Wikipedia)

6.4. Fizyka w naukach o Ziemi¹⁶

Kształt Ziemi

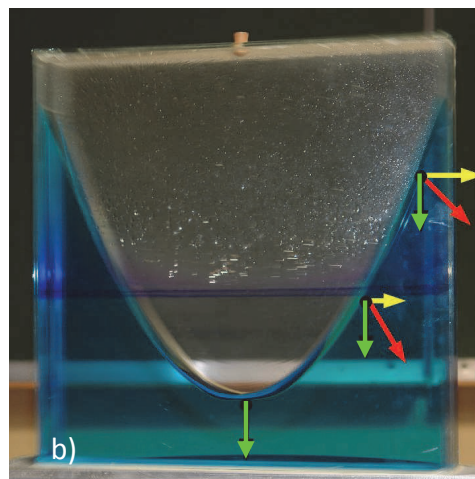
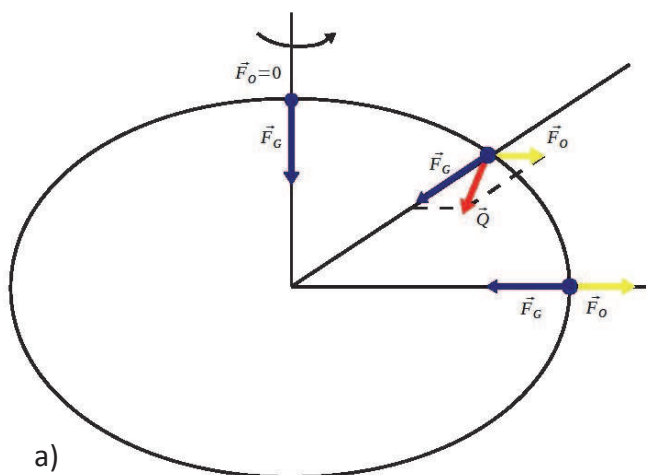
Kształt Ziemi nie jest zagadnieniem prostym. Określamy go często jako *geoida*. Niewiele to określenie jednak mówi: kształt Ziemi to *ziemio-kula*. Od rozważań o kształcie Ziemi zaczyna się dzieło Kopernika: „[...] Chociaż wyraźnej jej kulistości bezpośrednio widzieć nie można, z przyczyn wyniosłości gór i wklęsłości dolin, to przecież nierówności te bynajmniej nie zmieniają ogólnej jej okrągłości, co się daje tak uzasadnić. [...] Także i wody morskie układają się w postaci kulistej, o czym wiedzą żeglarze, dostrzegając z wysokości masztu łód stały, którego z pokładu okrętu jeszcze nie widać”.

Kulisty kształt Ziemi rodził nie byle problem: dlaczego woda nie spływa z takiej kuli? Kopernik, korzystając częściowo z wyjaśnienia Arystotelesa, według której ciała ciężkie dążą do środka Ziemi, bo tam jest ich „miejsce naturalne”. A woda? Jest przecież lżejsza niż skała, a lądy nad morza wystają. Kopernik pisze więc, że „[...] jako ląd i woda wspierają się na jednym *środku ciężkości* Ziemi, który jest zarazem *środkiem* jej objętości. Woda, będąc lżejszą, wypełnia rozpadliny ziemskie i dlatego mało jest wody w stosunku do lądu, chociaż może na powierzchni więcej widać wody”.

Jak wiemy, prawo powszechnego ciążenia sformułował dopiero Newton, 150 lat po Koperniku. Ale nasz Rodak był „na właściwym tropie” – kluczem do zrozumienia kształtu Ziemi jest *prawo ciążenia*. Geoida to nie kula geograficzna, ale *fizyczna*.

Geoida to idealny kształt (wirującej) Ziemi, który by przyjęła oblana w całości wodą.

Problem komplikuje fakt, że Ziemia wiruje, i to z dużą prędkością (kątową). Na wodę na kuli ziemskiej działa więc nie tylko siła ciężkości (skierowana do środka kuli) ale i siła odśrodkowa bezwładności (zob. par 1.5), skierowana „poziomo” na rys. 6.10. Woda nie przyjmuje kształtu kuli, ale jak to pokazujemy na rys. 6.10, kształt elipsoidy. Dla takiej elipsoidy, siła wypadkowa będąca sumą siły ciężkości i siły odśrodkowej jest zawsze *prostopadła* do powierzchni elipsoidy. Tak jak powierzchnia wody w talerzu jest prostopadła do (lokalnego) kierunku siły grawitacji.



Ryc.6.10. a) Rozkład sił na obracającej się Ziemi; elipsoida obrotowa jest „idealną” powierzchnią Ziemi - tylko w tym przypadku wektor siły nie ma składowej stycznej do powierzchni Ziemi; **b)** na wodę w wirującym akwarium działa siła grawitacji (pionowo w dół) i siła odśrodkowa (poziomo); powierzchnia wody jest prostopadła do wypadkowej z tych sił i przyjmuje kształt paraboli (fot. JCh).

¹⁶ Współpraca mgr Justyna Chojnacka. Materiał został szczegółowo omówiony w „Geografii w Szkole”, nr 3/2012, str. 28

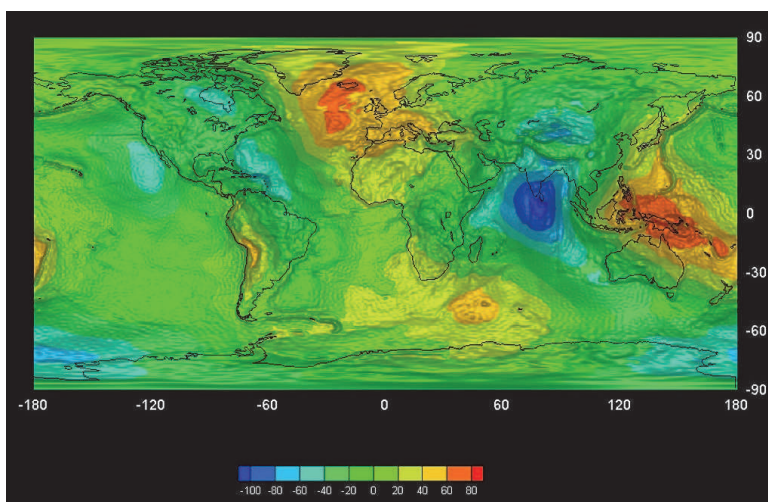
Różnice w gęstości poszczególnych sfer Ziemi a także rowy oceaniczne, wysokie pasma górskie i złoża surowców sprawiają jednak, że masa elipsoidy ziemskiej nie jest rozłożona równomiernie w całej jej objętości. Nie bez wpływu to pozostaje na pole grawitacyjne Ziemi. Konstrukcja mapy pola grawitacyjnego, pozwala na otworzenie prawdziwego kształtu geoidy. Geoida jest bryłą o powierzchni prostopadłej w każdym punkcie do (wypadkowego) wektora siły grawitacji. W fizyce taką powierzchnię nazywamy powierzchnią stałego potencjału grawitacyjnego. Nie wprowadzaliśmy tego pojęcia do tej pory, ale byliśmy blisko w równaniu (1.32). Potencjał grawitacyjny V w odległości R od masy punktowej M obliczamy ze wzoru

$$V(R) = -\frac{GM}{R} \quad (6.3)$$

Jak widzisz, wyznaczenie kształtu Ziemi nie jest proste. W dobie lotów kosmicznych mamy na to jednak nowe sposoby: sztuczny satelita Ziemi, który lata na niskiej wysokości (150 km) i mierzy precyzyjnie pole grawitacyjne, fot. 6.11a. W ten sposób powierzchnia geoidy została wyznaczona z dokładnością do kilkudziesięciu centymetrów, zob. ryc. 6.11b.



Fot. 6.11. a) Satelita do pomiarów grawitacji (GOCE) lata na niskiej orbicie (150 km) i używa silników jonowych na ksenon do korekty trajektorii lotu (Źródło: ESA)



Ryc. 6.11. b) Powierzchnia geoidy to powierzchnia stałego potencjału grawitacyjnego, z uwzględnieniem siły odśrodkowej; powierzchnia ta jest *pod* elipsoidą, np. w rejonie Himalajów. (Źródło: ESA)

W obszarze Himalajów teoretyczna, tj. określona przez potencjał grawitacji, powierzchnia geoidy wypada *pod* powierzchnią matematycznej elipsoidy. Himalaje zbudowane są bowiem z lekkich skał osadowych spoczywających niegdyś (100 mln lat temu) na dnie ciepłego morza. Powierzchnia geoidy „wybrzusza się” w górę w rejonie Islandii.

Tektonika płyt

Skorupa ziemska pozostaje w stałym ruchu, którego przyczyną jest „wewnętrzny ogień”. Znany jest fakt, że temperatura w miarę wzrostu głębokości rośnie. Przyczyny, że Ziemia jest gorąca wewnątrz (przypuszczalna temperatura w jej środku wynosi ok. 5000°C) są co najmniej dwie. Po pierwsze, Ziemia nie zdążyła wystygnąć – **4,567 mld lat** od jej uformowania się to w astronomicznej skali czasu zaledwie 1/3 czasu od Big Bangu, przewodność cieplna skał jest niska a ich ciepło właściwe duże. Po drugie, we wnętrzu Ziemi cały czas zachodzą rozpady promieniotwórcze, które wytwarzają duże ilości energii.

Uran, którego zawartość w skorupie ziemskiej, szacuje się na 0,0002 % rozpada się z okresem połowicznego zaniku 4,51 mld lat, porównywalnym z wiekiem Ziemi (mówimy o izotopie ^{238}U , którego zawartość w naturalnym uranie wynosi 99 %). Ciepło uzyskane w

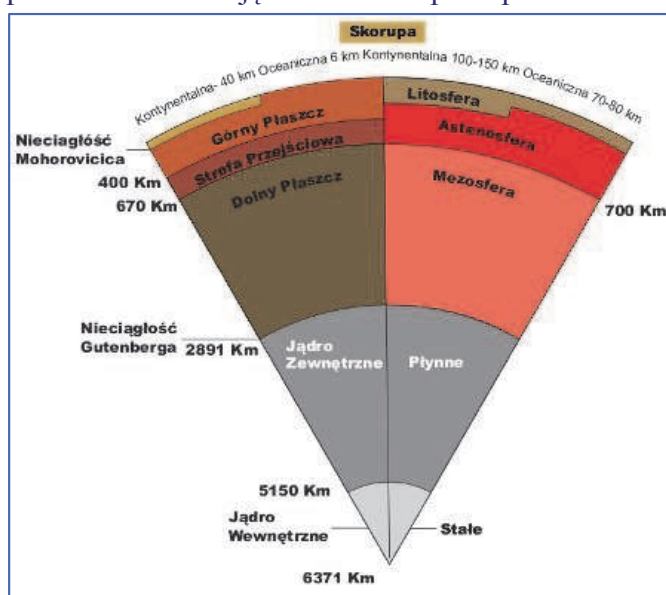
reakcji rozpadu 1 g uranu, poprzez długi szereg radioaktywny aż do ołowiu ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow ^{206}\text{Pb}$) dostarcza łącznie mocy rzędu 100 tys. kWh. Sumarycznie, jak wykazały ostatnio badania przeprowadzone przez japońskich fizyków zajmujących się cząstkami elementarnymi, neutronami, połowa bilansu cieplnego pochodzącego z wnętrza Ziemi pochodzi z rozpadów promieniotwórczych; druga połowa to stygnięcie wnętrza. Dokładniej, w skorupie i płaszczu Ziemi wydziela się około 8 TW (terawat) energii z rozpadów uranu (^{238}U), kolejne 8 TW z rozpadu toru (^{232}Th) i 4 TW z rozpadu potasu (^{40}K). Dla porównania, cała produkcja energii elektrycznej na Ziemi ze wszystkich źródeł to około 10 TW.

Ciepło wydzielone wewnątrz Ziemi powoduje wznoszenie się części materiału, czyli *konwekcję*. Konwekcja to ruch cieczy wskutek jej podgrzewania od dołu i wynikająca z tego podgrzewania różnica gęstości. Wykorzystuje się ją np: w kolorowych lampach, gdzie podgrzewana od spodu ciecz formuje bąble poruszające się do góry a po ostygnięciu spadające w dół (Fot.6.12a.).



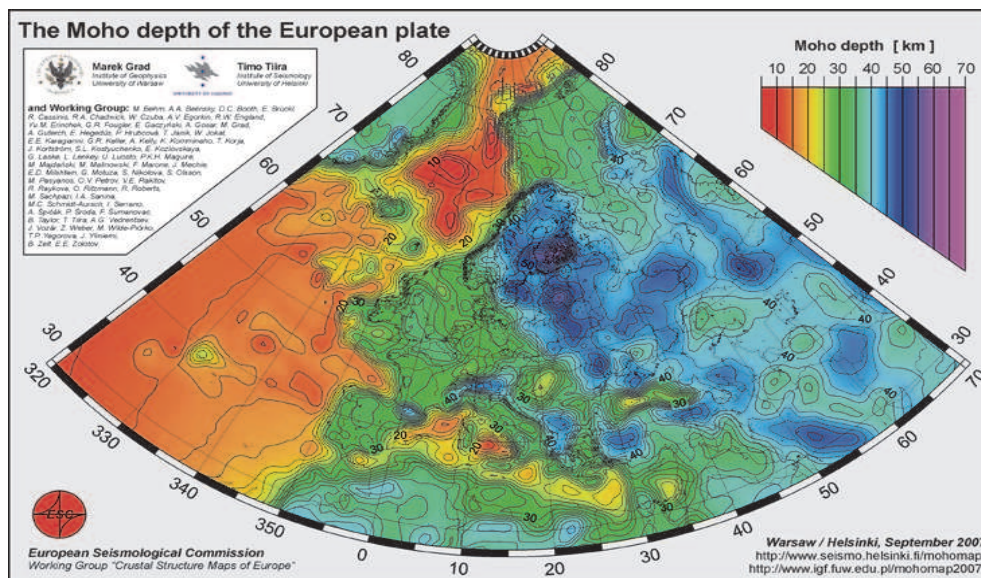
Fot. 6.12. a) Lampa typu „lawa”. Proces konwekcji wymusza ruch żółtej cieczy. Znajdujące się u dołu lampy źródło ciepła ogrzewa ciecz. Podczas podgrzewania objętość bąbli leżących na dnie rośnie, czyli maleje ich gęstość. Na skutek działania siły wyporu żółta ciecz wypychana jest ku górze. Bąble wędrując ku górze oddalają się od źródła ciepła – stają się chłodniejsze, ich gęstość rośnie i opadają na dno. Wznoszenie się i opadanie cieczy przypomina konwekcję materiału pod powierzchnią Ziemi.

Ryc. 6.12. b) Przekrój przez planetę Ziemię. Żelazowo - niklowe jądro sięga mniej więcej do połowy promienia, w zewnętrznej swej części jest płynne; płaszcz składa się z krzemu, tlenu i innych lekkich pierwiastków chemicznych; zawiera również uran



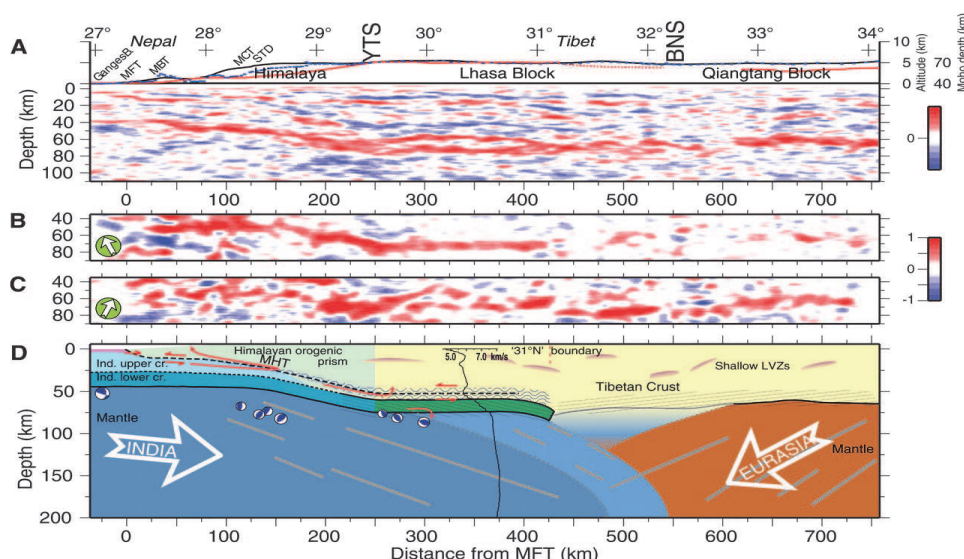
Proces konwekcji dotyczy również Ziemi. Za jej sprawą a także różnic w składzie chemicznym i właściwościach fizycznych poszczególnych sfer Ziemi dochodzi do trzęsień ziemi, wybuchów wulkanów, a także szeregu innych procesów. Ziemia nie jest bowiem jednorodna. W jej strukturze możemy wyróżnić trzy zasadnicze części. Pierwsza – zewnętrzna, składa się ze stosunkowo lekkich skał, zawierających głównie krzem i tlen, druga – wewnętrzna złożona prawdopodobnie z żelaza, niklu z domieszką innych pierwiastków.

Odkrycie bardziej subtelnych różnic w budowie Ziemi stało się możliwe dzięki badaniom nad rozchodzeniem się fal sejsmicznych powstających chociażby wskutek trzęsień Ziemi. Pomiary amplitud i czasów dojścia fal sejsmicznych w różnych punktach pomiarowych na całym świecie pozwoliły wyznaczyć głębokość, na jakiej znajduje się tzw. nieciągłość Mohorovičića, a tym samym wyznaczyć grubość skorupy – najbardziej zewnętrznej części kuli ziemskiej. Skorupa ta ma grubość od 10 km w rejonie Islandii, gdzie ciągle powstaje na nowo, aż to 60-70 km w rejonie Finlandii, gdzie powstała 3-3,5 mld lat temu, zob. ryc. 6.13.



Rys. 6.13. Głębokość, na jakiej znajduje się nieciągłość Moho dla płyty europejskiej. Na najmniejszej głębokości znajduje się ona w obrębie oceanów (kolor czerwony, pomarańczowy), najgłębiej zaś położona jest w rejonie Finlandii i Estonii (za zgodą autorów¹⁷)

Zewnętrzna warstwa Ziemi, tzw. litosfera nie stanowi jednej całości, ale składa się z gigantycznych kawałków - płyt tektonicznych, obejmujących swoim zasięgiem zarówno kontynenty jak i dno oceaniczne. Płyty te unoszą się na powierzchni płaszcza a dryfujące ku sobie kontynenty wcześniej czy później się zderzą. Ogólnie, linie zderzeń płyt to pasma wzmożonej aktywności wulkanicznej i sejsmicznej. Szczegółowe mechanizmy zderzeń płyt (i obserwowane krajobrazy) zależą zasadniczo od dwóch czynników. Po pierwsze od rodzaju zderzających się płyt: kontynentalne, grube, ale zbudowane ze stosunkowo lekkich skał czy oceaniczne: cienkie ale zbudowane ze stosunkowo ciężkich bazaltów. Po drugie, od kierunku zanurzania się (subdukcji) brzegów płyt: ze wschodu na zachód lub odwrotnie.



Ryc. 6.14. Kolizja kry indyjskiej z euroazjatycką jest bezpośrednią przyczyną wypiętrzenia się Himalajów. Materiał, z którego składają się Himalaje został „zeskrobany” ze skorupy indyjskiej (kolor niebieski) przez twardszy klin skorupy tybetańskiej (kolor rdzaw). Strefa Moho leży na głębokości ok. 40 km pod deltą Gangesu i 70 km osiąga w okolicach Lhasy (Tybet). W rejonie zderzenia górny płaszcz płyty indyjskiej i płyty azjatyckiej zanurzają się w głąb Ziemi (Źródło: Science¹⁸)

¹⁷ M. Grad i in. The Moho depth map of the European Plate, *Geophys. J. Int.* 176 (2009) 279

¹⁸ John Nábělek et al., Underplating in the Himalaya-Tibet Collision Zone Revealed by the Hi CLIMB Experiment, *Science*, vol. 325 no. 5946, 11 September 2009

Współczesne kontynenty przypuszczalnie kilkakrotnie w dziejach Ziemi łączyły się w ogromne superkontynenty, a następnie rozpadały się na pojedyncze masy kontynentalne. Prawdopodobnie oprócz Pangei 200 mln lat temu istniał inny supekontynent, zwany Rodinią. Jego rozpad na mniejsze kry pływające w okolicy równika, rys.6.15. prawdopodobnie przyczyniło się do globalnego zlodowacenia, jakie ogarnęło naszą planetę jakieś 600 mln lat temu. Jak przewidują geofizycy, obecne kontynenty zderzą się za jakieś 100 mln lat w rejonie bieguna północnego.



Rys.6.15. Współczesne kontynenty, przypuszczalnie kilkakrotnie w historii Ziemi łączyły się w ogromne superkontynenty by następnie rozpaść się na pojedyncze masy kontynentalne. Tu przedstawiamy hipotezę jak wyglądała powierzchnia Ziemi 600 mln lat temu (rys. Katarzyna Konieczna wg. Hoffman P. F., Schrag D. P., *Snowball Earth*, Scientific American, January 2000)

6.5 Polacy w fizyce współczesnej

Zaczęliśmy opowieść o fizyce od Mikołaja Kopernika (1473-1543) nie bez powodu. Postawił on szereg istotnych pytań, nie tylko o trzy rodzaje ruchu Ziemi ale także w zakresie fizyki: o grawitację, o ruch względny, o granice Wszechświata. Jego dzieło *De revolutionibus* jest warte przewertowania: jest to pierwszy traktat pisany w nowoczesny, empiryczny sposób. Już nie założenia i wnioski, jak u Euklidesa, ale obserwacje, hipotezy, dalsze obserwacje i wreszcie kompletna *teoria heliocentryczna*.

Oczywiście, Włosi zaczynają podręczniki od Galileusza (1564-1642), Francuzi od Kartezjusza (1596-1650), Anglicy od Newtona (1643-1727). Każdy z nich miał wielki wkład, ale rewolucji dokonał (i tu są wszyscy zgodni) tylko Kopernik. Wynik uzyskał po dwunastu latach studiów uniwersyteckich w zakresie prawa, greki, łaciny, medycyny i astronomii w Krakowie, Bolonii i Padwie i po dziesięcioleciach mozolnych obserwacji astronomicznych.

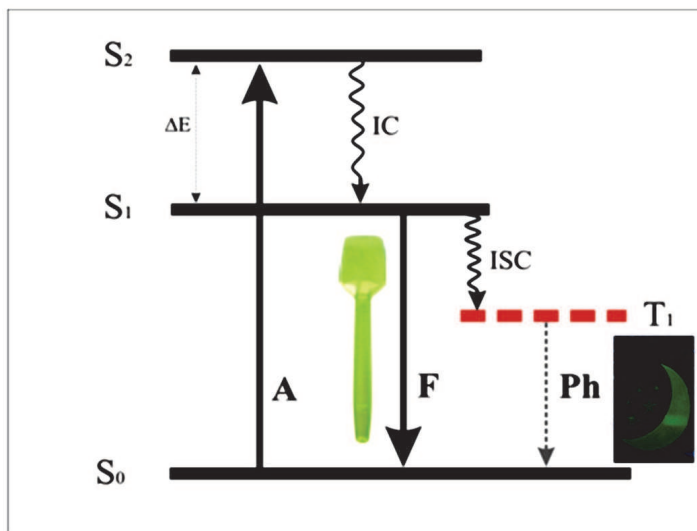
Tytanem pracy była również Maria Skłodowska, która w obcym kraju spędzała miesiące w nieogrzewanym laboratorium, separując chemicznie, po 20 g na raz, ponad tonę radioaktywnej rudy uranowej. Później służyła jako ochotniczka na froncie, dokonując prześwietleń rentgenowskich rannych żołnierzy. Z powodów narodowo – politycznych nie została wybrana do Francuskiej Akademii Nauk a i w Polsce nie „zadomowiła się”.

Historii uczonych, którzy mimo trudności dokonali rzeczy wielkich, jest więcej. Tu opisujemy kilka z odkryć dokonanych przez Polaków w fizyce współczesnej. Zaczniemy od życiorysu założyciela Instytutu Fizyki na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, Aleksandra Jabłońskiego.

Aleksander Jabłoński - ur. 26.02.1898 w Woskresnówce na Ukrainie, zm. 9 września 1980 w Warszawie, pracował w dziedzinie optyki, fizyki atomowej i cząsteczkowej. Studia z zakresu fizyki na Uniwersytecie w Charkowie przerwała I Wojna Światowa – został powołany do armii rosyjskiej. Studia podjął ponownie w Warszawie i znów wojna (tzw. sowiecka) je przerwała. Jako saper przygotowuje w bezpośrednim sąsiedztwie wojsk nieprzyjacielskich przeprawę przez rzekę pod Baranowiczami, za co zostaje odznaczony Krzyżem Walecznych. W listopadzie 1920 roku po raz czwarty podejmuje studia fizyczne. Jednocześnie studiuje grę na skrzypcach – w latach 1921-1926 grał w grupie pierwszych skrzypiec Teatru Wielkiego w Warszawie. Niezwykle burzliwe były lata II wojny światowej – był więźniem obozu w Kozielsku, później jako żołnierz Armii Polskiej przez Iran i rejssem dookoła Afryki trafił do Anglii. W 1945 roku wraca do Polski i obejmuje katedrę fizyki doświadczalnej na UMK w Toruniu.

A. Jabłoński zasłynął jako twórca diagramu, opisującego mechanizm zjawisk fotoluminescencji, w świecie znanego pod nazwą *diagramu Jabłońskiego*. Nie bez echa przeszły także jego dalsze badania nad wpływem zderzeń atomowych na kształt linii widmowych, które przyniosły mu uznanie badaczy zajmujących się oddziaływaniami między-atomowymi i spektroskopią. Wkrótce jego odkrycia przyczyniły się do wynalezienia lasera barwnikowego, który odegrał istotną rolę w wielu dziedzinach nauki, techniki, a także medycynie.

Diagram Jabłońskiego wyjaśnia, dlaczego „świecą” na zielonkawo lub różowo niektóre barwniki, np. w kamizelkach dla kierowców. Otóż, obok natychmiastowego pochłaniania (absorpcji) i wysyłania (emisji) światła, możliwe są procesy „opóźnione” i widma wzajemnie przesunięte. Dzieje się tak, gdy bezpośrednie przejścia elektronów między poziomami energii są zabronione, np. z uwagi na ustawienia spinów. Istotne stają się wówczas *bezpromieniste* przejścia między różnymi poziomami energetycznymi.¹⁹



Ryc. 6.16. Uproszczony schemat poziomów energetycznych Jabłońskiego przedstawiający wzbudzone stany elektronowe o różnych wartościach całkowitego spinu: 0 – stan singletowy (S) i 1 – stan trypletowy (T). Przejścia między stanami S a T są *zabronione*. Strzałki proste ilustrują procesy promieniste, a strzałki faliste procesy bezpromieniste. Literami oznaczono poszczególne procesy fizyczne. A – Absorpcja, F – Fluorescencja (fotoluminescencja natychmiastowa), Ph – Fosforescencja (foto-luminescencja opóźniona), IC – konwersja wewnętrzna, ISC – konwersja interkombinacyjna (międzysystemowa). „Fluoryzuje” łyżeczka do lodów zabarwiona organicznym barwnikiem, kumaryną a „fosforyzuje” gwiazdki do dziecięcej sypialni. Na zdjęciu na lewo – profesor Jabłoński z nieodłączną fajką.

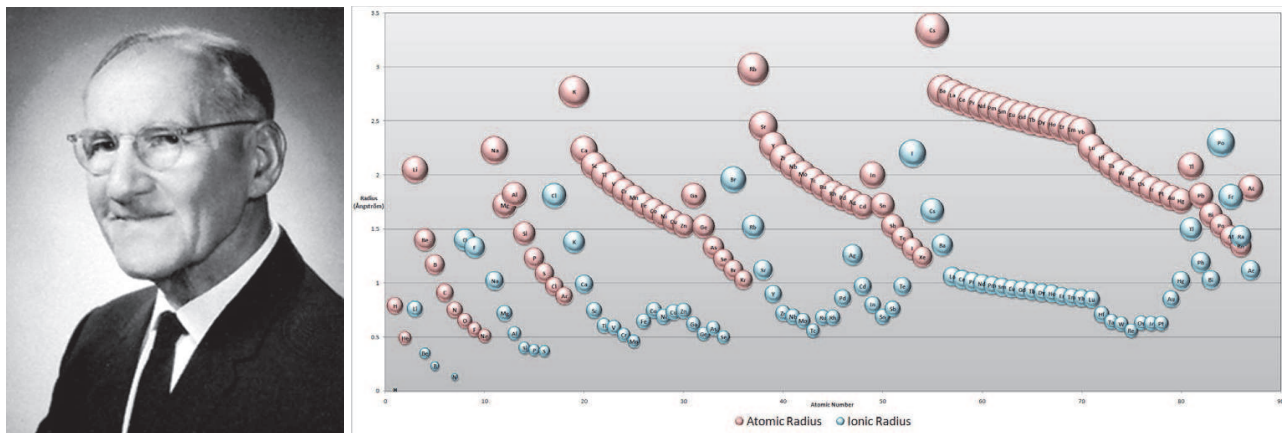
¹⁹ Więcej o kolorach i przejściach elektronowych w artykułach GK, M. Gagoś, *Rubiny, złote szkło i brazylijskie motyle, czyli o kolorach w fizyce, chemii i biologii*, Chemia w Szkole, nr 3/2012, str. 5-13 i str. 14-25.

Kazimierz Fajans - ur. 27.05.1887 w Warszawie - zm. 18.05.1975 w Ann Arbor, Michigan, USA, był fizykiem jądrowym, atomowym i chemikiem. W 1912 roku Kazimierz Fajans odkrył niezależnie od Anglika, Fredericka Soddy'ego prawo przesunięć promieniotwórczych znane dziś jako reguła Soddy'ego – Fajansa.

Prawo to już poznaliśmy: określa ono w prosty sposób jakie jądro powstanie w przemianie radioaktywnej w zależności od typu przemiany jakim ulega pierwiastek wyjściowy. W przypadku rozpadu α powstaje pierwiastek o liczbie atomowej mniejszej o dwa (a liczbie masowej mniejszej o 4). Oznacza to przesunięcie w układzie okresowym o 2 miejsca w lewo. Podobnie położenie pierwiastka w układzie okresowym określamy dla przemian β^- i β^+ . Gdy pierwiastek promieniotwórczy ulega przemianie β^- to otrzymujemy nuklid o liczbie atomowej większej o jeden, a więc pierwiastek położony o jedną pozycję dalej niż pierwiastek ulegający rozpadowi. Dla przemiany β^+ będzie to pierwiastek przesunięty o jedno miejsce w lewo.

Reguła ta pozwoliła ustalić położenie wszystkich (znanych) pierwiastków w układzie okresowym. Kazimierz Fajans wraz ze swoim doktorantem Osvaldem H. Göhringiem dokonali odkrycia pierwiastka o liczbie atomowej 91 znanego początkowo pod nazwą brevis, później jednak nazwano go protaktynem. W momencie kiedy objął Katedrę Chemii Fizycznej na Uniwersytecie w Monachium swoje wysiłki skupił na badaniach kryształów oraz cząsteczek. To on opracował regułę, która pozwala nam określić, jaki typ wiązań, kowalencyjne czy jonowe, łączy dwa atomy.

W 1935 roku opuścił Niemcy i podjął pracę na Uniwersytecie Michigan w Ann Arbor, zajmując się m.in. poszukiwaniem nowych izotopów, korzystając z pierwszych akceleratorów protonów (cyklotronów).



Ryc. 6.17. Kazimierz Fajans i jego schemat promieni atomowych (różowe) i jonowych (niebieskie) różnych pierwiastków chemicznych²⁰; atomy z jednym elektronem na orbitalu 2s, 3s itd., jak lit, sód, potas, rubid, cez (metale „alkaliczne” w chemii) mają największe promienie atomowe, zgodnie z naszym schematem orbitali z rys. 2.35b; po odłączeniu tego elektronu promienie jonów metali alkalicznych wynoszą mniej więcej 1,5 Å

Sir Józef Rotblat ur. 4.11.1908 w Warszawie był fizykiem, filantropem i działaczem pacyfistycznym, jednym z twórców bomby atomowej i najmłodszym z 11 sygnatariuszy tzw. Manifestu Russella – Einsteina²¹ z 1955 roku, twórcą ruchu „Pugwash”. Niewielu Polaków zostało uhonorowanych Nagrodą Nobla. Jednym z nich był Sir Józef Rotblat.

²⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/File:Atomic_vs_Ionic_Radius.png

²¹ Sygnatariuszami byli m.in. Max Born, Frédéric Joliot-Curie, Leopold Infeld. Dziesięciu z 11 sygnatariuszy zostało laureatami Nagrody Nobla.

J. Rotblat pochodził z niezbyt bogatej rodziny i po I Wojnie Światowej pracował jako elektryk. Ukończył fizykę na Uniwersytecie Powszechnym w Warszawie, uzyskując tytuł dr fizyki na Uniwersytecie Warszawskim w 1938 roku. W 1939 roku wyjechał do laboratorium J. Chadwicka w Anglii, odkrywcy neutronu. O udziale J. Rotblata w programie „Manhattan” już pisaliśmy. W momencie, kiedy było jasne, że Niemcy wojnę przegrają, Rotblat zwrócił się do generała Grovesa, który przejął kierowanie projektem z rąk Enrico Fermiego, o zaprzestanie prac nad śmiercionośnym ładunkiem. Był jedynym naukowcem pracującym nad bombą jądrową, który wycofał się Projektu z powodów sumienia. Z tego powodu został w USA skazany na *ostracyzm*.

Wrócił do Wielkiej Brytanii, gdzie został wykładowcą na Uniwersytecie w Liverpool. Zajmował się badaniem skutków medycznych promieniowania jądrowego, m.in. z eksplozji termonuklearnych. W 1957 roku zorganizował pierwszą konferencję, z udziałem naukowców amerykańskich i radzieckich, poświęconą zagadnieniom rozbrojenia jądrowego. Od małego miasteczka w Kanadzie, seria konferencji przyjęła nazwę „Pugwash”²². Pokojową Nagrodę Nobla, jako przewodniczący ruchu „Pugwash” uzyskał w 1995 roku. Był odznaczony najwyższymi orderami Imperium brytyjskiego, ale do końca życia uważał się za Polaka.



Fot. 6.18. Wykład prof. Rotblata na Konferencji ISODARCO, Rovereto, sierpień 2000 rok; profesor miał wówczas 92 lata (foto GK); Bertrand Russel odczytuje *Manifesto*, Londyn, 9 lipiec 1955 rok (źródło: Pugwash).

Tragiczne było życie prywatne J. Rotblata. Jak sam opowiadał: „Wyleciałem z Warszawy 23 sierpnia (1939 roku), moja żona miała bilet na 31 sierpnia – oczywiście samolot nie odleciał. Na wiosnę (1940 roku) załatwiłem jej wizę belgijską, ale Hitler zajął Belgię, później wizę jugosłowiańską, ale Hitler zajął Jugosławię. I tak czekam na nią do dziś (2000 r.)”²³

Józef Rotblat zmarł 31 sierpnia 2005 roku.

Dziwne kwarki

W dziedzinie fizyki jądrowej i cząstek elementarnych znaczącego odkrycia dokonali na początku lat 50-tych XX wieku fizycy z Uniwersytetu Warszawskiego, Marian Danysz i Jerzy Pniewski. Udowodnili oni, iż składnikami jądra mogą być nie tylko protony i neutrony, ale i inne cząstki, nazwane wówczas „dziwnymi”. Dziś wiemy, że odkryta „dziwna” cząstka elementarna zawiera kwark, niespotykany w normalnej materii, kwark *strange*, zob. rys. 3.12.

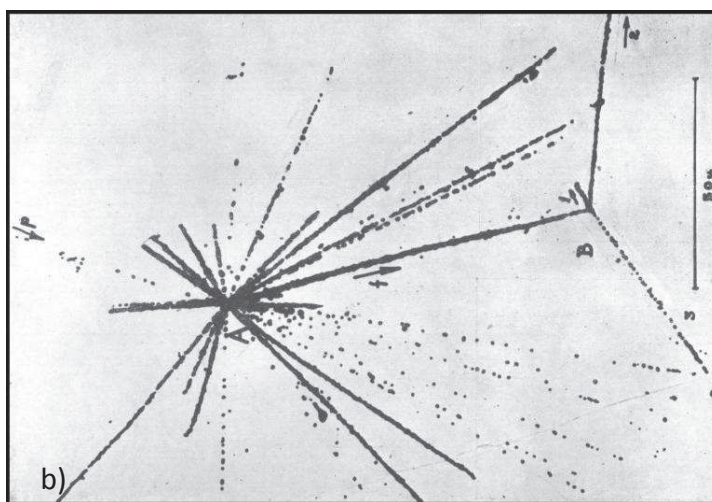
²² W pierwszej konferencji „Pugwash” uczestniczyło 22 naukowców z 10 krajów, w tym z Polski M. Danysz.

²³ Zob. GK „Jak zbudowałem bombę atomową”, *Głos Koszaliński*, 2001, <http://planeta-terra.blogspot.com/2008/08/jak-zbudowaem-bomb-atomow-opowiada-jzef.html>

Na przełomie lat 40 i 50 ubiegłego stulecia głównym źródłem informacji o nowych cząstkach były obserwacje promieni kosmicznych. Ich oddziaływania rejestrowano wykorzystując emulsje fotograficzne, które wysyłano na duże wysokości za pomocą balonów. Wywołane emulsje obserwowano pod mikroskopem przy dużym powiększeniu. Tak naświetloną emulsję przywiózł w 1952 roku do Warszawy Marian Danysz wracający z najważniejszego wówczas ośrodka badawczego Powella w Bristolu. Postanowił on stworzyć w Warszawie zespół mający zająć się badaniami w dziedzinie cząstek elementarnych, a do współpracy namówił Jerzego Pniewskiego, z którym zaprzyjaźnił się podczas ich pobytu w Anglii. Ich współpraca doprowadziła do jednego największych odkryć współczesnej fizyki.

Pod koniec 1952 roku, przeglądając pod mikroskopem przywiezioną z Bristolu emulsję, Danysz zaobserwował dwie "gwiazdy" połączone grubym torem ("gwiazdą" nazywano zarejestrowaną w emulsji fotograficznej eksplozję jądra). Wraz z Pniewskim przystąpili do analizy tego przypadku, proponując wkrótce oryginalne interpretację. Zgodnie z tą interpretacją, wytworzona pod wpływem promieniowania kosmicznego w pierwszej gwieździe ciężka cząstka, tzw. hiperon, ulega związaniu za pomocą oddziaływania silnego we fragmencie jądrowym znaczącym swój ślad w emulsji jako gruby tor. Fragment ten jest nietrwały; następnie rozpada się w oddziaływaniu słabym, co zostało zarejestrowane w postaci drugiej gwiazdy.

Nasza interpretacja czyniła właściwie tę cząstkę [hiperon] trzecim składnikiem jądra atomowego, obok protonu i neutronu - napisał później Pniewski. Bardzo szybko okazało się, że proponowana interpretacja istotnie jest poprawna - świadczyły o tym liczne obserwacje podobnych przypadków w emulsjach jądrowych. Worek z kwarkami został otwarty, zob. rozdział III.



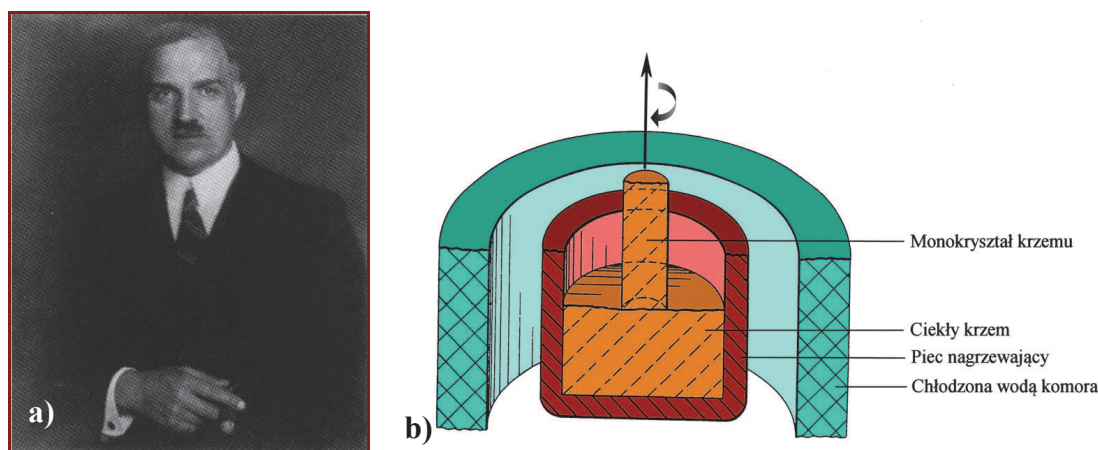
Fot.6.19. a) Jerzy Pniewski (z lewej) i Marian Danysz; **b)** Mikrografia pierwszego hiperjądra (źródło: Uniwersytet Warszawski)

Jan Czochralski – ojciec epoki krzemowej

Bez niego i jego metody nie byłoby współczesnej elektroniki półprzewodnikowej, technologii i techniki. Codziennie na świecie otrzymuje się kilkadziesiąt ton monokryształów hodowanych jego metodą. Jest autorem szeroko cytowanych publikacji oraz wielu patentów. Przez wielu uważany za „ojca elektroniki”. Szanowany jako wynalazca, zapomniany jako człowiek. Kim był Jan Czochralski? Co pozostawił w nauce?

Urodził się on 23 października 1885 r. w Kcyni jako ósme z dziesięciorga dzieci. Swoją edukację rozpoczął pobierając naukę w Seminarium Nauczycielskim. Czochralski nie odebrał jednak świadectwa maturalnego nie mogąc pogodzić się ze złymi, jego zdaniem, ocenami.

Brak dokumentu stwierdzającego jego wykształcenie uniemożliwił mu dalszą karierę nauczyciela. Opuścił Kcynię i przybył do Berlina by rozpocząć pracę w aptece dr. A. Herbranda. To właśnie tu, prowadząc analizy rud, olejów, smarów i metali, zdobył wiedzę, doświadczenie i dużą samodzielność w formułowaniu problemów badawczych. Następnie podjął pracę w laboratorium koncernu Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG), która przygotowała go do objęcia stanowiska kierownika laboratorium badania stali i żelaza. Ponad to, mimo formalnego braku uprawnień do dalszego kształcenia się, uczęszczał na wykłady chemii na Politechnice w Charlottenburgu, gdzie w roku 1910 zdobył tytuł inżyniera chemii. Ale to właśnie okres pracy w laboratorium AEG okazał się dla Czochralskiego przełomowym.



Fot. 6.20. a) Jan Czochralski (23.10.1885 – 22.04.1953); **b)** metoda Czochralskiego otrzymywania monokryształu polega na powolnym wyciąganiu z roztopionego materiału zarodka kryształu.

Któregoś dnia, Czochralski przygotowując notatki z przeprowadzonych badań zanurzył pióro w tyglu z chłodzącą się, stopioną cyną zamiast w kałamarzu. Wyciągając gwałtownie pióro zauważył, że ze stalówki zwisa nić zestalonego metalu. Czochralski dostrzegł w tym zjawisku ogromną wagę dla nauki.

Z czasem szczelina stalówki zastąpiona została kapilarą, a później przez drobny kryształ (zarodek). Czochralski sprawdził, że otrzymany drucik jest monokryształem. Zastosowanie tej właśnie metody w 1950 do otrzymywania monokryształów germanu, a później krzemu, umożliwiło przemysłową produkcję tranzystorów i w efekcie doprowadziło do rewolucji elektronicznej.

W wieku 32 lat Czochralski został kierownikiem jednego z najlepiej wyposażonych laboratoriów przemysłowych w Niemczech, gdzie powstało wiele cennych prac naukowych i patentów. W 1919 roku założył i został przewodniczącym Niemieckiego Towarzystwa Metaloznawczego. Po zakończeniu I Wojny Światowej na zaproszenie prof. Ignacego Mościckiego, prezydenta Rzeczypospolitej Polski, Czochralski powrócił do kraju, gdzie objął Katedrę Metalurgii i Metaloznawstwa na Wydziale Chemii Politechniki Warszawskiej.

W czasie II Wojny Światowej, jako obywatel również Niemiec, został zmilitaryzowany. Kontynuował prace na Politechnice Warszawskiej, zatrudniając wielu polskich naukowców, ratując ich w ten sposób przed aresztowaniem i wywiezieniem. Po wojnie został napiętnowany jako zdrajca narodowy i powrócił do rodzinnej Kcyni. Profesor zmarł w Poznaniu na serce 22 kwietnia 1953 r. i został pochowany na starym cmentarzu w rodzinnej Kcyni. Został zrehabilitowany dopiero w 2011 roku.

**W Polsce pracują setki tysięcy zdolnych naukowców, lekarzy i inżynierów.
Liczymy, że i Ty do nich kiedyś dołączysz!**