

# Żeglarstwo, fizyka i komputery

Na podstawie artykułów: „Stars & Stripes” (*Scientific American*, Vol. 257, August 1987, Nr 2) i „Teoria żeglowania” (*Sport i Turystyka* 1970).

Andrzej WITOWSKI

Podobno historia lubi się powtarzać. Pod koniec ubiegłego wieku uważano, że w fizyce praktycznie nic nowego nie można już zrobić. Pozostawało do wyjaśnienia tylko kilka niezbyt istotnych zjawisk. A potem była teoria względności i teoria kwantów.

Podobna sytuacja miała miejsce w żeglarstwie na początku lat siedemdziesiątych. W klasie 12 metrów, w której rozgrywane są najbardziej prestiżowe regaty o Puchar Ameryki, i która technicznie jest najbardziej rozwinięta, wydawało się, że nie należy spodziewać się żadnych nowości technicznych. Wydawało się, że konstrukcja jachtu osiągnęła swoje optimum i sądzono, że tylko wyszkolenie oraz zdolności załogi będą decydowały o wygranej. Przebudzenie było bardzo przykre dla Amerykanów. W 1983 roku, po raz pierwszy od stu lat utracili Puchar. Zwyciężył jacht z Australii właśnie dzięki nowościom technicznym, a dokładnie – dzięki nowej konstrukcji kilu.

Urażona duma może stać się potężnym motorem postępu. Natychmiast znaleziono stosowne fundusze i zorganizowano zespoły odpowiednich ludzi. Postawiono jasny cel: zbudować jacht, który na pewno wygra. Niestety, w miarę szybko modelowanie komputerowe wykazało, że nie można w klasie 12 m zbudować jachtu wygrywającego zawsze, jedynie można spróbować zbudować taki, który ma ponad 50% szans wygrania. Powodem tego jest formuła klasy, do której zaliczany jest jacht. Klasa jachtu nie jest ustalana na podstawie sztywno ustalonych wymiarów i kształtów. Wzór, według którego oblicza się przynależność klasową, zawiera wiele parametrów:

$$K = (L + \sqrt{S_A} - F \pm B \pm D \pm P + A \pm H + C - k)P_f/2,$$

gdzie:

$K$  – wartość klasyfikacyjna w metrach lub stopach,

$L$  – długość,

$S_A$  – powierzchnia ożaglowania,

$F$  – wolna burta,

$B$  – współczynnik szerokości,

$D$  – współczynnik zanurzenia,

$P$  – współczynnik wyporności,

$A$  – współczynnik dla nawisów,

$H$  – współczynnik dla profilu kadłuba poniżej linii wodnej,

$C$  – współczynnik dla rufy skróconej,

$k$  – współczynnik dla żelaznego kilu,

$P_f$  – współczynnik zależny od rodzaju śruby napędowej.

Wartość liczbowa  $K$  zależy zasadniczo od  $L + \sqrt{S_A}$ . Każda klasa ma określoną najmniejszą i największą długość linii wodnej i odpowiednią do niej wyporność. Znaki + albo – zmieniają się stosownie do wielkości współczynników względem podstawowych standardów dla określonej klasy. Powierzchnia żagli jest mierzona według instrukcji pomiarowej i wchodzi do wzoru po pomnożeniu jej przez współczynnik zależny od rodzaju otaklowania. I tak np. dla kutra lub słupu o ożaglowaniu bermudzkim (trójkątne) współczynnik ma wartość 1, a dla kecza o ożaglowaniu gaflowym wartość 0,90.

Z powyższego widać, mimo że wzór nie jest skomplikowany, dlaczego jego interpretacja zajmuje 25 stron drobnego druku, a konstruktorzy mają duże możliwości manewru. Tak więc do klasy może należeć

## Przygody matematyki wśród ludzi (I)

(na podstawie wykładów wygłoszonych na antenie *Radia Bis*)

## Skąd się wzięła nazwa „matematyka”?

Marek KORDOS

Matematyka zajmuje się trzema jeno obiektami: są to liczby, figury i nieskończoność. Tych wszystkich z Państwa, którzy zaprotestowali w tym miejscu, bo pamiętają, że pod tym hasłem uczono ich o całym mnóstwie innych rzeczy, pragnę uspokoić i poinformować, że wszystko inne w matematyce to tylko zmyślnie kombinacje tych trzech obiektów: liczb, figur i nieskończoności. Kombinacje utworzone po to, by liczby, figury i nieskończoność badać było wygodniej, no i – co tu ukrywać – żeby nie było monotannie, by było ciekawiej.

Matematycy najbardziej są dumni z owego badania nieskończoności, ona bowiem najpóźniej się w matematyce zadomowiła (bo dopiero niewiele ponad stulecie temu), choć zabiegała o to od co najmniej 2200 lat. Wacław Sierpiński, zmarły w 1969 roku, najbardziej bodaj znany matematyk polski, polecił nawet, by na grobie wyryto mu – jako jedyny obok imienia i nazwiska – napis *badacz nieskończoności*.

Nie każdy jednak, kto zajmuje się liczbami, figurami bądź nieskończonością, jest zaraz matematykiem. Księgowy czy informatyk zajmują się liczbami, architekt czy plastyk – figurami, teolog czy filozof – nieskończonością, a przecież są to zupełnie odrębne od matematyki formy ludzkiej działalności. Podobnie, tradycyjnie tylko – można powiedzieć przez grzeczność – nazywamy zainteresowanie liczbami i figurami mędrców chaldejskich i egipskich matematyką. To było coś zupełnie innego. Bo matematyka to bardzo określony sposób zajmowania się liczbami i figurami. W ogóle, każdą naukę określa nie tylko obiekt jej zainteresowań, lecz w większym nawet stopniu sposób badania, metodologia. I tak człowiekiem zajmuje się medycyna, psychologia, socjologia, ekonomia, historia, etyka i nikt nie ma wątpliwości, że są to różne dyscypliny.

Matematyka powstała jako odłam szerokiego, trwającego przynajmniej dwa tysiąclecia, ruchu intelektualnego zwanego pitagoreizmem. Jego wyznawcy w wieku -VI, czyli dwa i pół tysiąca lat temu, rozpropagowali doktrynę głoszącą, że w tym, iż świat nie rozpada się, musi być coś nadprzyrodzonego. Pełno przecież na świecie przeciwstawnych tendencji: ogień chce wszystko spalić, woda chce wszystko zatopić, żeby już nie wspominać o tym, co wycyniają ludzie. Tą siłą nadrzędną, którą się utrzymuje wszystko, nie wyłączając bogów – jak mówili, jest HARMONIA. A celem życia człowieka jest badanie owej harmonii. I życie człowieka tym bardziej jest godziwe, im dalej na drodze badania tej harmonii zawędrował.

Nie sposób nie zwrócić uwagi na fakt – cudowny zgola – że w owym (-VI) wieku pytanie o sens życia człowieka zostało postawione równocześnie na całej praktycznie kuli ziemskiej i w wielu jej miejscach udzielono na to pytanie bardzo ważkich odpowiedzi do dziś mających wielu wyznawców. I tak w Chinach żyli wtedy: Konfucjusz – twórca doktryny poszanowania zastanego i Lao-tsy – inicjator taoizmu, w Indiach Budda – twórca wielkiej religii wyrzeczenia (jak pisze papież: wielkiej religii ateistycznej) i Dżajna – twórca idei zwycięstwa nad sobą, jako celu człowieczego istnienia. Doktryny te to dziś idee życia ponad połowy ludzkości. Warto o tym pamiętać, że pitagoreizm, ustanawiający poznanie struktury świata jako sens istnienia, w takim właśnie powstał towarzystwie.

Narzędziem poznawania harmonii miała być dedukcja – pochodząca od Talesa idea wyprowadzenia drogą rozumowania wszelkiej wiedzy z niewielkiej liczby prostych i oczywistych założeń, zwanych aksjomatami. Wówczas pewność uzyskanej na tej drodze wiedzy była tak niepodważalna, jak oczywistość owych aksjomatów – była więc stosunkowo prosta do weryfikacji.

Pitagorejczycy twierdzili też, że wiedzą, gdzie najłatwiej harmonię jest dostrzec. Odpowiednimi dyscyplinami miały być: muzyka, arytmetyka, geometria i astronomia (używając ich dzisiejszych nazw). Co więcej – ich badania jeszcze we wspomnianym, -VI wieku, gdy byli jedynie grupką fanatyków zamieszkujących miasteczko na południu Półwyspu Apenińskiego – Krotone – przyniosły wyniki potwierdzające trafność tego wyboru. Okazało się, że muzyka i arytmetyka są ściśle związane.

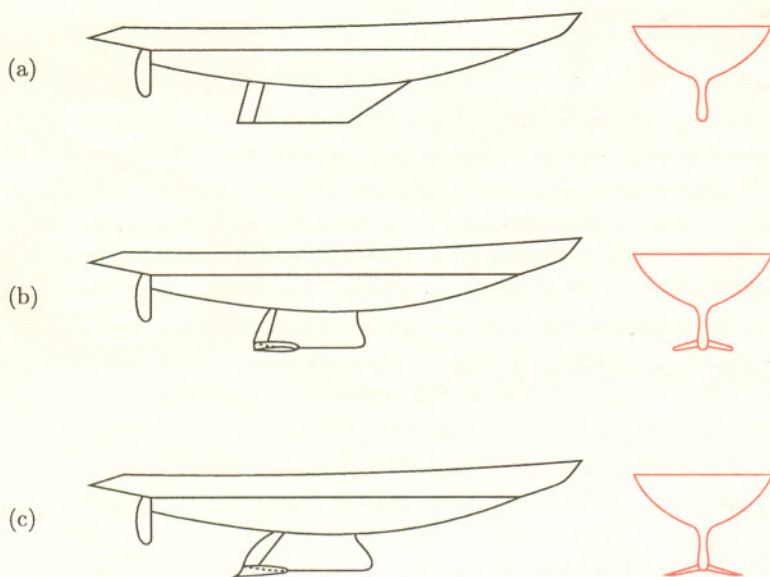
zarówno jacht krótki, lekki i o dużej powierzchni ożaglowania, jak i długi, ciężki, o małej powierzchni żagla. O tym, który z nich jest lepszy, decydują, oczywiście, obok wyszkolenia załogi, warunki meteorologiczne. Pierwsza konstrukcja jest lepsza na słabsze wiatry. Tak więc w zależności od rodzaju akwenu czy pory roku, raz jeden, a raz drugi typ konstrukcji będzie miał większe szanse na zwycięstwo. Co gorsza, przepisy regat wymagają dwóch niezależnych zawodów. W pierwszych, w których bierze udział wiele jachtów, wyłoniony zostaje „pretendent” do walki o tytuł. W kilka miesięcy później pretendent spotyka się z obrońcą pucharu w regatach jeden na jednego. Oczywiście, w tym czasie zazwyczaj ulegają zmianie warunki meteorologiczne i jacht, który z łatwością wygrał eliminacje, praktycznie może nie mieć szans na zwycięstwo we właściwych regatach. Taki układ ułatwia obronę. Wystarczy przygotować się tylko do typowych warunków meteo panujących w okresie „wielkiego finału”. Biorąc to wszystko pod uwagę prace prowadzono wielotorowo. Podział zadań wyglądał następująco:

- opracowanie nowej konstrukcji jachtu,
- optymalizacja parametrów i założeń jednostki, dająca największe szanse na wygraną,
- zebranie danych meteorologicznych i ich opracowanie pod kątem ustalenia typowych warunków meteo panujących na akwenu w terminach regat.

Realizacja każdego z tych punktów byłaby niemożliwa bez wykorzystania najnowocześniejszych komputerów. W ostatnim przypadku zastosowanie jest oczywiste. W drugim działano poprzez teorię gier i programy obliczające poruszanie się modelowego jachtu w określonych warunkach. Z porównania z danymi uzyskanymi przy użyciu prototypów okazało się, że otrzymane z programów wyniki nie przewidują prawdziwych prędkości i innych parametrów ruchu, natomiast poprawnie oddają różnice między modelami. Pozwoliło to na właściwą modyfikację konstrukcji jachtów pod kątem zminimalizowania oporów: dynamicznego, indukowanego, tarcia itp. Pełna modyfikacja prowadząca do żądanych rezultatów była wynikiem złożenia drobnych poprawek, które możliwe były do oceny tylko dzięki modelowaniu komputerowemu, a więc wspomnianym programom.

Przy ostatecznej konstrukcji wykorzystano programy używane przy konstruowaniu samolotów – oczywiście, z pewnymi modyfikacjami. W obu przypadkach chodzi przecież o przepływ cieczy (gazu) wokół zadanych kształtów i minimalizację oporów przy utrzymaniu siły nośnej czy też bocznego oporu w przypadku jachtu. Po przebadaniu wielkiej liczby różnorodnych kształtów, szczególnie części zanurzonej kadłuba, okazało się, że najlepszy jest taki, jak wprowadzony w jachcie australijskim. W lotnictwie już od dawna było wiadomo, że minimalny opór przy zadanej sile nośnej otrzymuje się w układach wielopłaszczyznowych (samoloty wielopłatowe). W konstrukcji jachtu omawianej klasy wprowadzenie dwóch kilów jest niemożliwe. Ale przecież dodatkowa płaszczyzna może być prostopadła do głównej. Tak powstały „skrzydelka” przy kilu (patrz rysunek). Również w nowoczesnych konstrukcjach samolotów pasażerskich można zobaczyć takie „skrzydelka” prostopadłe do płatów i umieszczone na ich końcu. „Australijski” pomysł skrzydełek należało tylko zmodyfikować. Wyniki i porównanie ewolucji kształtu kilu przedstawiamy na rysunku.

Oczywiście, również „komputerowo” przeprowadzono optymalizację ożaglowania. Jacht ma wiele kompletów żagli, które wykorzystuje się w zależności od warunków meteorologicznych i kursu względem wiatru.



Konfiguracja kadłub-kil dla „12-metrowych” jachtów określona jest przepisami klasowymi, które pozwalają na dużą dowolność w konstrukcji kilu. Do 1983 roku standardem był kształt trapezoidalny (a). *Australia II* (b) zdobyła Puchar Ameryki w 1983 r. dzięki innowacyjnej konstrukcji kilu łączącej „skrzydelka” ze zmienionym kształtem kilu (odwrócony przedni skos). Kształt kilu jachtu *Stars & Stripes* (c) jeszcze bardziej podkreśla ten trend: silniejsze ścięcia czołowe, grubsza część najniższa oraz dłuższe i szerzej rozstawione „skrzydelka”.

Wyższość techniki komputerowej nad klasycznym projektowaniem nie przejawia się tylko w możliwości uzyskania lepszych konstrukcji. Niebagatelne, a być może podstawowe znaczenie ma strona finansowa. Dla porównania: komputerowe przetestowanie modelu kosztuje około \$15, test na modelu w skali 1/3 kosztuje \$25 tys., badanie zaś prototypu \$0,5 mln do \$1 mln. W czasie prac badawczych wykonano 40 testów na modelach oraz przetestowano 5 modeli pełnowymiarowych. To daje skalę zaangażowanych środków finansowych i oszczędności możliwych dzięki modelowaniu komputerowemu.

Po kilku latach pracy (regaty odbywają się co 4 lata) powstała konstrukcja mająca sprostać zarówno umiarkowanym warunkom (wiatr i fala) eliminacji, jak i silnym wiatrom właściwych regat. W eliminacjach miał być użyty jacht z mniejszym balastem, czyli płycej zanurzony, a więc o krótszej linii wodnej i mniejszej powierzchni zmoczonej, ale o większej powierzchni ożaglowania. Następnie dzięki zwiększeniu balastu uzyskano jednostkę o dłuższej linii wodnej i zmniejszonym ożaglowaniu, czyli mogącą lepiej zachowywać się przy silnych wiatrach.

Opór tarcia daje 37% całkowitego oporu jachtu w czasie ruchu. Okazało się, że najlepiej sprawuje się czysta powierzchnia lakierowana i polerowana. Jednak dzięki specjalnym foliom firmy 3M o specjalnie ukształtowanych mikronowych rowkach udało się obniżyć i ten opór o 2% do 4%.

Jak pokazał ostateczny sprawdzian, założenia były słuszne i wykonanie prawidłowe. Jacht *Stars & Stripes* wygrał nie tylko eliminacje, ale i regaty główne i po krótkiej przerwie Puchar Ameryki powrócił w 1987 roku do Ameryki, a to dzięki fizyce, jak i komputerom. W tym roku (1995) trwa dalszy ciąg tej pasjonującej historii. W styczniu rozpoczęły się regaty eliminacyjne na wodach zachodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych.

Jeśli dwie jednakowe i napięte jednakową siłą struny mają stosunek długości 1:2, to równocześnie potrącone brzmia zgodnie, harmonijnie. Podobnie jest, gdy stosunek ten jest 2:3 czy 3:4. Nie jest tak jednak dla 4:5. Spostrzeżenie to (wymienione współbrzmienia dziś nazywamy oktawą, kwintą i kwartą) kazało ideologicznie nastrojonym pitagorejczykom zakrzyknąć: *wszystko jest liczbą*, co wykląda się tak, że harmonia realizuje się jako stosunek liczb naturalnych i tym jest pełniejsza, im liczby te są mniejsze. Wyciągnęli z tego pitagorejczycy mnóstwo poprawnych, lecz też i naciąganych wniosków, ale to już inna sprawa. Decydujące znaczenie ma fakt, że spotkało ich nieszczęście: jakiś zapalony badacz zaczął badać harmonię, jaką tworzą bok i przekątna kwadratu, i stwierdził, że – w sensie podanym przed chwilą – nie tworzą żadnej: ich stosunek nie jest stosunkiem żadnej pary liczb naturalnych.

Po ogromnym sukcesie – natychmiast niemal (odstęp był około pięćdziesięciu lat) całkowita klęska: ktoś bowiem ośmieliłby się odmówić kwadratowi harmonijnej budowy.

Klęska dzieli – pitagorejczycy (wówczas już ruch intelektualny obejmujący całą Grecję) podzielili się. Sposób podziału można było łatwo przewidzieć. Jedni uznali, że w tej klęsce kryje się mistyczna tajemnica niepoznawalności i należy wsłuchiwać się w naszeptywanie nadprzyrodzonego i poświęcić się medytacji odkrytej sprzeczności – nazwali się *akuzmatykami*, co tłumaczy się jako *nasłuchujący, uczniowie*. Drudzy byli zdania, że sprzeczność musi się dać rozwiązać siłą intelektu. Oni nazwali się *matematykami*, co po grecku znaczyło *uczeni, nauczyciele* – piękna, ale i zobowiązująca nazwa.

Matematycy zresztą też wyznawali dwie opcje. Jedni mówili *z tymi liczbami to pomyłka, liczby należy zostawić kupczykom – wszystko jest figurą*. Im zawdzięczamy np. wprowadzenie złotej proporcji podziału ciała w rzeźbie greckiej, jak też obecność na flagach większości państw gwiazdę pięcioramienną – symbol matematyków noszony potem przez stulecia jako medalik (taka gwiazda – pentagram – ma w sobie całe mnóstwo złotych proporcji).

Ale byli i drudzy. Ci twierdzili, że należy ulepszyć pojęcie liczby tak, aby przywrócić słuszność pierwotnemu zawołaniu pitagorejskiemu (nie kwestionując zresztą znaczenia proporcji figur).

Gdyby ta właśnie grupa nie zrealizowała swojego programu badawczego, najprawdopodobniej matematycy podzieliliby los akuzmatyków – zniknęliby po niespełna stuleciu. Program się jednak powiódł. Co więcej, zrealizowano go na dwa dobre, konkurencyjne sposoby.

Ich autorzy, zresztą „koledzy ze studiów” w Akademii Platońskiej, pokazali, jak określić liczby w ten sposób, by były to wszelkie możliwe wyniki dokonywania pomiarów. Nazywali się oni: Teajtetos i Eudoksos. Wymyślone przez nich liczby dziś nazywamy *liczbami rzeczywistymi*. Dokładniej – tak nazywamy liczby Eudoksosa, gdyż to jego pomysł został powszechnie przyjęty. Obie koncepcje liczb zostały podane pod osąd ówczesnego świata nauki około –370 roku. Koncepcja Eudoksosa wygrała prawdopodobnie dlatego, że uzyskał on więcej wyników w zakresie teorii miary, czyli nie tylko wymyślił liczby, ale też pokazał, jak z nich korzystać.

2050 lat później Izaak Newton w swoim dziele *Philosophiae naturalis principia mathematica*, gdzie wprowadza zasady dynamiki i dowodzi prawa powszechnego ciężenia, tak chwali Eudoksosa: *Najuspanialszym osiągnięciem nauk przyrodniczych jest możliwość używania do opisu najrozmaitszych wielkości jednych i tych samych liczb; pozwala to kojarzyć te wielkości ze sobą – bez sensu jest dzielenie drogi przez czas, ale głęboki sens ma dzielenie liczby odpowiadającej drodze przez liczbę wyrażającą czas: powstaje wtedy liczba dająca nam wyobrażenie o tempie ruchu.*

Idea, że wszystko jest liczbą, dała się obronić. I nie była to obrona pasywna – wymyślone zostało najpotężniejsze narzędzie przyrodznawstwa, którego to narzędzia niejednokrotnie zazdroszą nam humaniści (patrz np. *Antropologia strukturalna* Levi-Straussa). Wydaje się więc, że matematycy – przynajmniej w czasach przedaleksandryjskich – zasłużyli sobie na zarozumiałe miano, jakie sobie nadali.

Znaczenie słowa *matematyka* aż do połowy XIX wieku było bardziej greckie niż współczesne – obejmowało każdą dyscyplinę ścisłą. W 1800 roku do matematyki zaliczano obok tego, co dziś matematyką nazywamy, np. również mechanikę (dzięki pracom d'Alemberta, Lagrange'a czy Laplace'a). Reszta to była fizyka – tu mieściła się tak elektryczność, jak fizjologia czy botanika. Ale nadanie nazwom nauk ich dzisiejszego zakresu to już zupełnie inna historia.

## Eugene Wigner

Pierwszego stycznia 1995 roku w Princeton zmarł Eugene Wigner, jeden z współtwórców mechaniki kwantowej. Urodził się w 1902 roku w Budapeszcie, w rodzinie żydowskiej. Niezwykle ważnym okresem jego życia były lata nauki w Gimnazjum Luterańskim, które wedle jego własnych słów było najlepszą szkołą nie tylko na Węgrzech, ale także na świecie. Przyjaźnił się w niej z Janosem (później Johnem) von Neumannem, uznanym po latach za jednego z najwybitniejszych uczonych XX wieku. Ogromny wpływ na osobowość obu młodych chłopców wywarł ich nauczyciel matematyki, László Rátz. Za namową ojca Wigner ukończył w Berlinie studia chemii i inżynierii chemicznej, związał się jednak ze środowiskiem berlińskich fizyków teoretyków. W tym czasie w Berlinie przebywała spora grupa utalentowanych Węgrów utrzymujących ze sobą bliski kontakt; byli wśród nich von Neumann, Leo Szilard i Michael Polanyi. Dzięki temu ostatniemu Wigner uzyskał stanowisko asystenta przy Richardzie Beckerze, który zabrał go ze sobą do Getyngi, ówczesnej Mekki fizyki teoretycznej, gdzie ku swej radości Wigner znów spotkał się z von Neumannem. W tym czasie Wigner z ogromnym sukcesem wprowadził do fizyki metody oparte na teorii grup. Von Neumann już w połowie lat dwudziestych przewidział rozwój antysemityzmu w Niemczech i wybuch wojny. W 1929 roku uniwersytet w Princeton zaproponował mu stanowisko profesora. W rok później von Neumann ściągnął do Princeton swego przyjaciela z lat młodości. O ile von Neumann zaaklimatyzował się w Ameryce szybko i łatwo, to dla Wignera był to proces długi i bolesny, jednak wydarzenia w Europie (dojście Hitlera do władzy) zmusiły go do pozostania (jak się miało okazać, do końca życia) w USA. Lata 30. były okresem wytężonej pracy. Zajmował się w tym czasie fizyką ciała stałego, fizyką jądrową i teorią reprezentacji grupy Lorentza. Pionierskie prace w dziedzinie fizyki jądrowej (znów związane z zastosowaniem teorii grup) w 1963 roku zostały uhonorowane nagrodą Nobla. W przededniu drugiej wojny światowej Wigner nie pozostawał obojętny na wydarzenia polityczne. Gdy w 1939 roku odkryto rozszczepienie jądra atomowego, wraz z Fermim i Szilardem rozpoczął prace mające na celu zbudowanie pierwszego reaktora jądrowego, który osiągnął stan krytyczny w 1942 roku. W tym czasie Wigner wraz z niewielką grupą utalentowanych młodych fizyków pracował nad szczegółowymi planami konstrukcji wielkiego reaktora zbudowanego później w Hanford. Wiedza, którą zdobył w trakcie studiów chemicznych, okazała się bardzo przydatna. Prerażony użyciem broni jądrowej przeciw Japonii w 1945 roku podpisał protestacyjną petycję. Wraz z innymi fizykami ze swego zespołu w 1946 roku rozpoczął prace nad pokojowym wykorzystaniem reaktorów jądrowych (także powielających). Zorientowawszy się, że zagadnienie wykorzystania energii jądrowej zostało uwikłane w politykę, w 1947 roku powrócił do życia akademickiego. Zajmował się głównie fizyką teoretyczną i jądrową, służąc jednak jako doradca w problemach związanych z budową i zastosowaniem reaktorów jądrowych.

Krzysztof REJMER