

Bolesława Twarowska

O determinizmie i związkach przyczynowych w fizyce jądrowej

Studia Philosophiae Christianae 6/1, 139-161

1970

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

BOLESŁAWA TWAROWSKA

O DETERMINIZMIE I ZWIĄZKACH PRZYCZYNOWYCH W FIZYCE JĄDROWEJ

Wstęp. Baza wyjściowa — determinizm w sensie ogólnym. Część I. Analiza zjawisk fizyki jądrowej: 1. Klasyfikacja zjawisk, 2. Przemiany samorzutne, A — Przemiany jąder: a) Warunki stabilności jądra, b) Promieniotwórczość naturalna, c) Promieniotwórczość sztuczna, B — Przemiany cząstek elementarnych, d) Wnioski dotyczące przemian, 3. Sztuczne rozbicie jąder, a) Typy zjawisk, b) Wnioski o zależnościach przyczynowych, 4. Syntezy jądrowe, 5. Zjawiska twirzenia par i anihilacji, a) Tworzenie par, b) Anihilacja, 6. Zjawiska złożone. Część II. Uwagi dotyczące praw fizyki jądrowej: 1. Prawa nieprzyczynowe, 2. Prawa zachowania. Zestawienie wniosków — perspektywy

Wstęp. Baza wyjściowa determinizm w sensie ogólnym

W ostatnich latach ukazało się wiele prac z zakresu filozofii fizyki na temat determinizmu i indeterminizmu. Można by te prace podzielić na dwie grupy.

Przedstawicielem pierwszej grupy jest T. Rutowski¹. Po-
przez analizę teorii fizycznych dochodzi on do wniosku, że
w fizyce klasycznej można mówić o determinizmie, w kwan-
towej — tylko o indeterminizmie z pewną prawidłowością sta-

¹ T. Rutowski, Determinizm i indeterminizm w aspekcie filozoficznym i fizycznym, *Studia Philosophiae Christianae*, I (1965), 2, 163—177.

tystyczną „Determinizm czy indeterminizm fizyczny jest tezą o przewidywalności pewnych pomiarów”².

Stanowisko deterministyczne zajmuje D. Bohm³ i jego szkoła⁴. Rozważa on rolę przypadku, stawia hipotezę istnienia poziomu subkwantowo-mechanicznego, zapelnionego cząstkami dotąd nieodkrytymi. Fluktuacje tych nowych ukrytych parametrów wyjaśniałyby statystyczny charakter mechaniki kwantowej, niepewność Heisenberga, i rozwiązałyby inne trudności. W ten sposób od indeterminizmu przeszedł Bohm do determinizmu.

M. Bunge⁵, dzieląc zapatrywania Bohma, wprowadza „determinizm w sensie ogólnym”. Podaje następującą definicję: „Determinizm w sensie ogólnym zakłada jedynie istnienie hipotezy, że zdarzenia zachodzą w jeden lub wiele określonych (zeterminowanych) sposobów, że te sposoby stawania się nie są dowolne, lecz podlegają prawidłowościom i że procesy, za których pośrednictwem każdy przedmiot nabywa swe cechy, wyznaczone są przez poprzedzające je warunki”⁶.

Wynika stąd, że determinowanie ogólne Bungego wymaga spełnienia tylko dwu warunków: prawidłowości przemian i wyznaczenie stanu końcowego przez warunki początkowe. Przebieg zjawiska może zachodzić w sposób wielotorowy z rozkładem statystycznym odpowiadającym prawdopodobieństwom zmian.

Determinowanie fizyczne w sensie ścisłym wymaga dokładnego poznania stanu początkowego układu izolowanego, który dokładnie określa stan następny lub poprzedni. Izolacja układu ma chronić zjawisko przed wpływem czynników przypadkowych.

² Dz. cyt. 105.

³ D. Bohm, *Przyczynowość i przypadek w fizyce współczesnej*, tłum. S. Ruppert, 1961.

⁴ J. P. Vigiér, *Recherches sur l'interprétation causale de la théorie des quanta*, Paris, 1955.

⁵ M. Bunge, *O przyczynowości*, tłum. S. Amsterdamski, 1968.

⁶ Dz. cyt. 24.

Przy determinowaniu w sensie ogólnym nie ma mowy o dokładnym poznaniu stanu, ani o izolacji układu. Wpływ przypadku Bunge rozpatruje również jako pewien rodzaj determinowania. W ten sposób determinizm ogólny zawiera w sobie jako poszczególny przypadek nie tylko determinizm w sensie ścisłym, lecz także indeterminizm. W mechanice kwantowej przejawia się on właśnie niemożnością dokładnego poznania stanu układu w związku ze spełnianiem niepewności Heisenberga i prawdopodobieństwo otrzymywania różnych zmian.

Bunge wyodrębnia kilka typów determinowania, na przykład determinowanie statystyczne, gdy działa wiele niezależnych czynników, samodeterminowanie, determinowanie strukturalne — części przez całość. W dalszych rozdziałach w miarę potrzeby omówimy te sposoby determinowania.

Na wyróżnienie zasługuje determinowanie przyczynowe, które Bunge uważa za jedną z wielu form determinowania. Zachodzi ono tylko w tym przypadku, gdy można wyodrębnić *przyczynę zewnętrzną*. Jest to „czynnik zewnętrzny nadający ruch, lub zewnętrzne działanie wywołujące zmianę”⁷. B. Gawecki⁸ w zjawiskach nieodwracalnych znalazł również takie przypadki dla których można mówić o przyczynie, jeżeli w zjawisku dostrzegamy jego wyraźną kierunkowość.

Bunge ujmuje całość zagadnienia determinizmu wprowadzając jednolitą terminologię.

W pierwszej części pracy przeprowadzimy analizę zjawisk fizyki jądowej pod kątem determinowania, w drugiej rozpatrzymy w jaki sposób charakter zjawisk rzutuje na charakter praw fizyki w tej dziedzinie.

W fizyce jądowej, podobnie jak w mechanice kwantowej, obowiązuje niepewność Heisenberga, zachodzi wielotorowość zjawisk, dlatego zastosujemy terminologię Bungego używając terminu „determinizm” w sensie ogólnym.

⁷ Dz. cyt. 49.

⁸ B. Gawecki, *Przyczynowość i funkcjonalizm w fizyce. Kwartalnik Filozoficzny*, I (1925), 204—232 i 487—507.

Część I

Analiza zjawisk fizyki jądrowej

1. Klasyfikacja zjawisk

Zależności deterministyczne i przyczynowe występują wyraźnie przy wszelkich zmianach. W fizyce jądrowej będą to reakcje jądrowe i przemiany cząstek.

Zanim przystąpimy do analizy tych zależności należy wyodrębnić i uporządkować typy reakcji jądrowych. A. M. Bałdin, W. I. Golański i L. Rosental⁹ podają teorię oddziaływań różnego typu: z dwoma cząstkami w stanie końcowym, z trzema cząstkami, procesów wielorodnych oraz zjawiska, w których występują fotony promieniowania elektromagnetycznego.

Ponieważ najczęściej spotykamy oddziaływanie, w którym powstają dwie cząstki, autorzy uważają ten typ za podstawowy. Do niego sprowadzają procesy, w których powstaje większa liczba cząstek.

W obecnej fizyce jądrowej rozróżniamy wiele działów, takich na przykład, jak fizyka jądrowa wysokich energii, fizyka jądrowa niskich i średnich energii, fizyka cząstek elementarnych. Osobnym działem, który należy wyróżnić ze względu na występowanie w przyrodzie, jest fizyka promieni kosmicznych. Wyniki badań w tej dziedzinie podporządkowuje się fizyce jądrowej wysokich energii i fizyce cząstek elementarnych.

Ze względu na rodzaj determinowania proponowałabym inny podział, który schematycznie przedstawia tablica 1. Mogą w niej się zmieścić zjawiska całej fizyki jądrowej oraz zjawiska wykryte przy oddziaływaniu promieni kosmicznych na materię.

Wyróżniamy tylko cztery główne grupy przemian. Do pierwszej należą *przemiany samorzutne*. Druga grupa obejmuje *reakcje jądrowe* zachodzące pod wpływem bombardowania

⁹ Kinematika jądernych reakcji, tłum. W. Majewski 1962.

Tablica 1

Przemiany samorzutne	Sztuczne rozbi- cie jąder	Syntezy jąder	Przemiany fotonów
Przemiany jąder	1. Rozbicie z otrzymaniem jądra trwałego	1. Reakcje termojądrowe w Słońcu i w gwiazdach	1. Powstawanie par elektronowo-pozytonowych
1. Przemiany pierwiastków o naturalnej promieniotwórczości	2. Rozbicie z otrzymaniem izotopu promieniotwórczego	2. Próby otrzymywania sztucznie takich reakcji	2. Anihilacja par: elektronu i pozytonu
2. Przemiany izotopów promieniotwórczych	3. Rozszczepienie		3. Anihilacja protonu i antyprotonu
3. Przemiany produktów rozszczepienia	4. Otrzymywanie pierwiastków transuranych		
Przemiany cząstek elementarnych	5. Fotorozpad		
Rozpad mezonów i hiperonów	6. Rozbicie jąder przez promienie kosmiczne		
Zjawiska złożone występujące w promieniowaniu kosmicznym, na przykład w wielkich pękach i w miękkiej składowej tych promieni			

cząstek lub fotonów, trzecia to *reakcje syntezy* lekkich jąder w jądra cięższe. Przemiany fotonów w cząstki i zjawiska odwrotne stanowią ostatnią grupę. Zjawiska złożone, takie na przykład jakie zachodzą w miękkim promieniowaniu i wielkich pękach promieni kosmicznych należałyby do kilku grup.

W podziale tym nie brałam pod uwagę rodzaju oddziaływań, w jednej kolumnie znajdujemy pod tym względem różne zjawiska. Na przykład przy emisji cząstki α zachodzi oddziaływanie słabe, przy emisji β — oddziaływanie słabe, ale oba zjawiska należą do typu zjawisk samorzutnych.

2. Przemiany samorzutne

A. Przemiany jąder:

a) Warunki stabilności jądra.

Mechanika kwantowa pozostaje słuszna dla jądra, ale występują w nim nowe siły. Jądra pierwiastków trwałych nie rozpadają się, a więc pomiędzy nukleonami, którymi są protony i neutrony, działają siły przyciągania niezależnie od sił natury elektrycznej i sprawiają to, że jądra istnieją.

Wyrażenie na potencjał pola sił jądrowych podał Yukawa. Ma ono postać wykładniczą o potęgze ujemnej. Funkcja szybko maleje przy wzroście odległości. Yukawa wyznaczył kwanty pola takich oddziaływań. Odpowiadają one nie fotonom, jak przy oddziaływaniu pola elektrycznego, lecz cząstkom o określonej masie, wykryto je w kilka lat po opracowaniu teorii, są to mezony π ¹⁰.

Jądra pierwiastków lekkich zawierają neutrony i protony prawie w równych ilościach. W jądrach ciężkich przeważa liczba neutronów¹¹. W ostatnich wierszach układu okresowego zgrupowane są pierwiastki o naturalnej promieniotwórczości, a więc o jądrach niestabilnych.

Trwałość jąder zależy od wielkości energii wiązania. Obliczamy ją z defektu masy. Jest to różnica pomiędzy masą obliczoną z liczby nukleonów a masą atomową wyznaczoną dokładnie z pomiarów doświadczalnych.

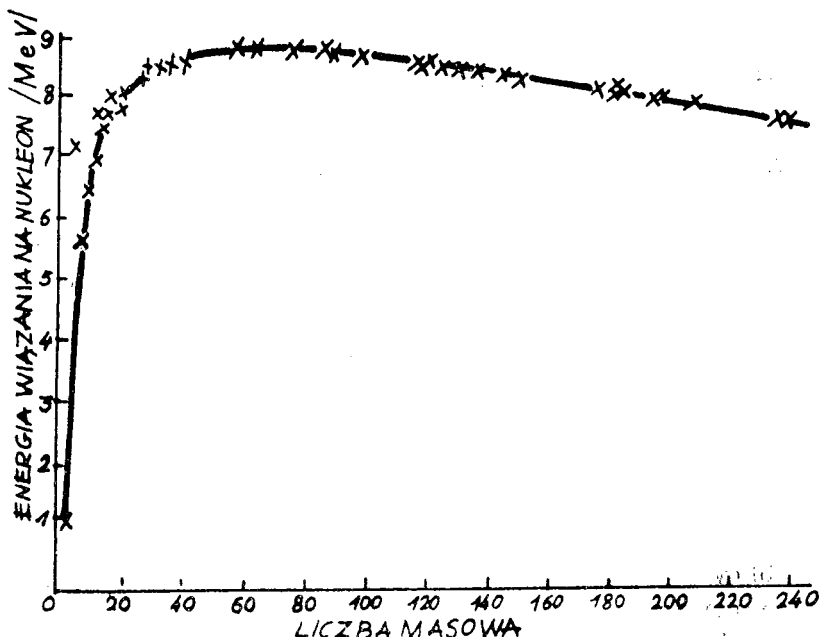
$$M = Z \cdot m_p - (A - Z)m_n - M_{at}$$

gdzie: Z — liczba porządkowa pierwiastka w układzie okresowym, wyznaczająca liczbę protonów, m_p — masa protonu, A — liczba masowa, $A - Z$ — wyznacza liczbę neutronów, m_n — masa neutronu, M_{at} — masa atomowa.

¹⁰ Mezon π — cząstka o masie równej 273 mas elektronowych.

¹¹ Na przykład jądro radu zawiera 88 protonów i 138 neutronów.

Energię wiązania obliczymy posługując się wzorem Einsteina: $E = mc^2$, w tym przypadku: $E = Mc^2$, gdzie c oznacza prędkość światła.



Rys. 1. Energia wiązania przypadająca na nukleon jako funkcja liczby masowej. (Według książki I. Kaplana, Fizyka jądrowa, strona 203)

Krzywa wyrażająca zależność energii wiązania przypadającej na jeden nukleon od liczby masowej posiada charakterystyczny przebieg. Funkcja ta szybko rośnie dla jąder lekkich, dla pierwiastków o masach 50 osiąga wartość maksymalną około 8,8 MeV¹², dla jąder cięższych powoli maleje. Na przy-

¹² 1 eV — energia, jaką nabędzie elektron w polu o napięciu 1 V, 1 MeV = 10⁶eV.

kład dla uranu energia wiązania jednego nukleonu wynosi już tylko 7,6 MeV.

b) Promieniotwórczość naturalna

Jądra pierwiastków o naturalnej promieniotwórczości emitują cząstki α lub β , towarzyszy temu w pewnych przypadkach promieniowanie elektromagnetyczne γ . W pierwszym przypadku jądro pozbywa się dwu protonów i dwu neutronów silnie ze sobą związanych. Rośnie energia wiązania ponieważ zmniejsza się masa. Przy wyrzuceniu elektronu zachodzi przemiana jednego z neutronów w proton, maleje więc liczba neutronów w jądrze i wzrasta jego stabilność.

Zachodzi wiele kolejnych przemian zanim powstanie jądro trwałe. Można by powiedzieć, że niestabilna budowa jądra determinuje jego samorzutny rozpad.

c) Promieniotwórczość sztuczna

Do tego samego rodzaju przemian należą zjawiska związane z pierwiastkami o sztucznej promieniotwórczości. Są to izotopy¹³ promieniotwórcze zwykłych pierwiastków.

Należy rozróżnić dwa akty: otrzymanie jąder promieniotwórczych i ich rozpad. Pierwszy akt należy do kolumny drugiej tablicy 1.

Jądro powstałego izotopu promieniotwórczego nie posiada równowagi trwałej. Jest w nim albo zbyt wiele protonów, albo nadmiar neutronów. Emitując pozyton¹⁴ następuje przemiana jednego z protonów w neutron, przy emisji elektronu, jak wspomniano wyżej, neutron zamienia się w proton. Wystarcza zwykle jedna przemiana i jądro staje się trwałym.

W przypadku izotopów promieniotwórczych otrzymywanych w zjawisku rozszczepienia, o których mowa będzie w następnym rozdziale, zachodzi szereg najrozmaitszych przemian zanim produkt rozszczepienia osiągnie stabilność.

¹³ Izotopy tego samego pierwiastka posiadają równą liczbę protonów w jądrach, różnią się liczbą neutronów.

¹⁴ Pozyton — elektron o dodatnim naboju elektrycznym.

B — Przemiany cząstek elementarnych.

Badanie cząstek elementarnych stanowi, jak już zaznaczono, osobny dział fizyki jądrowej. Należy go tutaj także wyróżnić.

W ostatnich latach odkryto przeszło sto cząstek elementarnych. Tylko niektóre z nich są trwałe: foton, elektron, pozyton, neutrino¹⁵, w grupie nukleonów — proton i antyproton¹⁶, nawet swobodny neutron ulega rozpadowi. Wszystkie hiperony¹⁷ są bardzo krótko-życiowe i przy rozpady możliwe są różne reakcje. Na przykład hiperon lambda daje przy rozpady proton, i ujemny mezon π , albo neutron i obojętny mezon π . Mniej prawdopodobny jest rozpad na proton, elektron i neutrino lub na proton, lepton μ ¹⁸ i neutrino.

Spotykamy również łańcuchy przemian. Typowym przykładem jest rozpad mezonu π na lepton μ o mniejszej masie i neutrino. Lepton μ rozpada się dalej na elektron i dwa neutrino.

d) Wnioski dotyczące charakteru przemian

Przeprowadziliśmy szkicowy przegląd zjawisk jądrowych, w których promieniotwórczość jest wywołana przez niestabilną budowę jądra. Wspomnieliśmy również o rozpady samorzutnym cząstek elementarnych.

Okres połowicznego rozpadu wyznacza czas, w ciągu którego połowa jąder danego preparatu ulega przemianie. Nie można więc określić kiedy, w jakiej chwili rozpady się dane jądro lub cząstka. Czas rozpadu daje nam tylko informację statystyczną.

Wynika stąd, że należy rozważyć dwa aspekty: 1) determinowanie zjawiska przez budowę niestabilną jądra oraz 2) aspekt statystyczny dotyczący czasu, a nawet w pewnych przypadkach sposobu rozpadu.

¹⁵ Neutrino — cząstka obojętna elektrycznie o masie zerowej.

¹⁶ Antyproton — proton o naboju ujemnym.

¹⁷ Hiperony — cząstki o masach większych od masy protonu.

¹⁸ Lepton μ posiada masę równą 207 mas elektronowych.

Który rodzaj determinowania można zastosować?

Determinowaniem strukturalnym nazywa Bunge determinowanie części przez całość, na przykład własności kropli są określone przez własności cieczy. Tego rodzaju determinowanie tu nie odpowiada, bo całe jądro ulega zmianie.

Samodeterminowanie jest to determinowanie następnika zjawiskowego przez poprzednik zjawiskowy. Bunge podaje jako przykład takie spontaniczne przekształcenie układu odizolowanego zachodzące w ten sposób, że rośnie jego entropia. Samorzutnych przemian jądrowych nie należy nazywać spontanicznymi. Nazwa ta sugeruje natychmiastowy przebieg zjawiska. W przypadku rozpadu promieniotwórczego przemiana danego jądra może nastąpić nawet po kilku tysiącach lat.

Z drugiej strony jądro atomowe jest przykładem układu doskonale odizolowanego. Wynika to ze stosunku energii jaka w nim nagromadzona zgodnie z równaniem Einsteina $E = mc^2$ rzędu tysięcy milionów elektronowoltów do energii cieplnej otoczenia, w warunkach ziemskich rzędu kilku elektronowoltów. Nawet energia wyzwalam przy przejściach elektronu z wyższych na niższe poziomy elektronowe wynosi tylko parę tysięcy elektronowoltów.

Można by znaleźć analogię pomiędzy wzrostem entropii w przykładzie Bungego a wzrostem energii wiązania w przypadku rozpadu promieniotwórczego.

Uwzględniając aspekt statystyczny nasuwa się inna nazwa: determinowanie samorzutne, może zbyt śmiałym terminem byłby — determinowanie samoistnie-statystyczne. Wyraz determinowanie jest tu użyty w sensie ogólnym tego słowa, jak to było podane we wstępie.

3. Sztuczne rozbitcie jąder

a) Typy zjawisk.

W drugiej kolumnie tablicy 1 umieszczamy reakcje jądrowe zachodzące pod wpływem trafiających w jądra cząstek i wywołujących zmniejszenie lub zwiększenie liczby nukleonów.

Omawiamy tylko w ogólnym zarysie tą olbrzymią dziedzinę fizyki jądrowej, wyodrębniając istotne cechy zjawisk by poddać je analizie.

Rozbicie jąder dokonuje się obecnie głównie neutronami, albo rozpędzonymi w akceleratorze jądrami lekkich pierwiastków. Są to: protony, deuterony, jądra trytu¹⁹, cząstki α , jądra helu o masach trzy, jądra węgla i inne. Używane jest również przenikliwe promieniowanie γ wytwarzane w betatronach lub synchrotronach. Przebieg reakcji zależy od rodzaju jądra atakowanego i od energii cząstki padającej.

Na jądra lekkie działają nawet cząstki α wysłane przez jądra pierwiastków o naturalnej promieniotwórczości. Z cząstek α korzystano w pierwszych pracach otrzymując w wyniku reakcji jądra stabilne. Cząstkami α posługiwali się również małżonkowie Joliot, co doprowadziło do odkrycia sztucznej promieniotwórczości.

Neutrony, jako cząstki pozbawione naboju elektrycznego, nie ulegają odpychaniu elektrostatycznemu przez jądra i mogą przenikać do jąder wszystkich pierwiastków. W niektórych jądрах jest nagromadzona tak duża liczba neutronów, że dodanie jeszcze jednego powoduje proces rozszczepienia jądra na dwa duże odłamki i wyrzucenie kilku swobodnych neutronów. Jak wiemy, korzystamy z tego zjawiska w reaktorach atomowych.

W celu otrzymywania pierwiastków transuranowych stosuje się obecnie akceleratory do rozpędzania ciężkich jonów, którymi bombarduje się preparat uranowy, torowy lub plutonowy. Na przykład naświetlając pluton jonami tlenu otrzymano pierwiastek o numerze kolejnym 102.

Rozpad jądra pod wpływem promieniowania zachodzi tylko w tym przypadku, gdy foton niesie energię większą od energii wiązania jednego protonu, neutronu lub cząstki α z resztą

¹⁹ Deuteron — izotop wodoru o masie 2, tryt — izotop wodoru o masie 3.

jądra. Badanie więc tych zjawisk prowadzi do poznania energii wiązania cząstek w jądrze.

Po pochłonięciu fotonu γ i rozdzieleniu energii pomiędzy nukleonami następuje wyrzucenie jakiegoś nukleonu. Neutron najłatwiej przekracza barierę potencjalną jądra. Zachodzą reakcje typu: (γ, n) , (γ, p) , (γ, α) , gdzie pierwsza litera oznacza atakujący foton γ , druga — cząstkę opuszczającą jądro, n — neutron, p — proton. Przy energiach fotonu przewyższających 20 MeV z jąder wyrzucana jest większa liczba nukleonów.

Rozróżniamy *reakcje powolne* i *reakcje szybkie*. W reakcjach powolnych czas reakcji jest rzędu od 10^{-19} sek. do 10^{-15} sekund. Cząstka uderzająca zostaje wchłonięta przez jądro i powstaje prawdopodobnie jądro złożone, które rozpada się wyrzucając najczęściej jedną cząstkę. Końcowym stanem może być jądro trwałe, albo jądro izotopu promieniotwórczego^{20 21}. W tym przypadku trzecim etapem jest samorzutny rozpad. O tem mówiliśmy w poprzednim rozdziale.

Sposób rozpadu jądra złożonego nie jest jednoznacznie określony. Na przykład przy bombardowaniu aluminium protonami powstaje jądro złożone krzemu, które wyrzucając cząstkę α daje izotop magnezu. Możliwy jest również inny przebieg reakcji — powstanie jądra krzemu z wyrzuceniem neutronu, lub jądra sodu z emisją trzech protonów i neutronu. Sposób rozpadu jest niezależnie od sposobu powstania złożonego jądra, które jakby „zapomniało” jak zostało utworzone.

W reakcjach szybkich, bezpośrednich czas reakcji jest rzędu 10^{-22} sekundy. Jest to czas przejścia nukleonu przez średnicę jądra. Reakcja zachodzi w jednym akcie: uderzenie cząstki i rozpad jądra. Powstaje zwykle jądro izotopu promieniotwórczego. Przy bliższych badaniach mechanizmu reakcji jądrowych wykryto wiele typów pośrednich pomiędzy powstaniem jądra złożonego a oddziaływaniem bezpośrednim.

²⁰ Dane zaczerpnięte z referatu prof. Z. Wilhelmięgo, Reakcje jądrowe, wygłoszonego na Zjeździe Fizyków Polskich w 1967 r.

²¹ I. Kaplan, Fizyka jądrowa, tłum. zbiorowe, 1957.

Przy energii cząstki atakującej zawartej w przedziale od 10 MeV do 50 MeV możliwe jest wyrzucanie z jądra trzech lub więcej cząstek. Gdy energia przekroczy 100 MeV — energię wyższą od energii wiązania nukleonów, może być emitowaną znacznie większa liczba nukleonów.

Cząstki przychodzące ze wszechświata w promieniach kosmicznych niosą energie rzędu kilkuset tysięcy MeV. Rozbijają one napotymane jądra wyrzucając z nich szereg nukleonów, wielką liczbę mezonów π i leptonów μ , pojawiają się również hiperony.

Należy zaznaczyć, że stosowanie komory Wilsona, komory pęcherzykowej lub bloków emulsji jądrowej pozwala na uwidocznienie i przebadanie śladów wychodzących z jednego atakowanego jądra. Można więc badać nie tylko zjawiska globalne, lecz również *przypadki indywidualne*.

b) Wnioski o zależnościach przyczynowych.

Możemy rozważać jądro i cząstkę padającą jako układ zamknięty i badać rozbitcie pojedynczego jądra. Rozbitcie jądra zachodzi pod wpływem wtargnięcia do niego obcej mu cząstki. Ona jest *przyczyną zewnętrzną* reakcji jądrowej. Od jej rodzaju i jej energii zależy typ zjawiska. Jest ono dobrym przykładem *determinowania przyczynowego*. Nie zależnie od tego, czy używamy modelu pośredniego jądra złożonego, czy też czas reakcji jest krótki i oddziaływanie jest mniej lub bardziej bezpośrednie — możemy stwierdzić typową zależność determinowania przyczynowego rozumianego w sensie ogólnym. Nie wyklucza ono możliwości różnych „kanałów”, reakcji, czyli różnych sposobów rozbitcia jądra.

4. Syntezy jąder

Rozpatrzmy reakcje syntez jądrowych jako reakcje termojądrowe. W poszukiwaniu źródeł energii Słońca i gwiazd zwrócono uwagę na możliwość reakcji termojądrowych. Szczegółową teorię podali G. Gamow i H. Bethe. Temperatura wnętrza Słońca sięga kilku milionów stopni Kelwina. W tej tempe-

raturze średnia energia poruszających się ruchem bezładnym jąder wynosi, według obliczeń, około 2400 eV. Jest to energia średnia, maksymalna może być wielokrotnie większa. Do podtrzymania temperatury Słońca wystarczy niewielka liczba syntez jądrowych.

Ze względu na siły odpychania coulombowskiego większe jest prawdopodobieństwo reakcji między jądrami pierwiastków lekkich. Przy połączeniu czterech jąder wodoru powstaje jądro helu, dwa pozytony i dwa neutrino. Deficyt masy jest znaczny, energia zamienia się częściowo w energię kinetyczną cząstek, częściowo w wysyłane promieniowanie γ .

Neutrino docierają nawet do Ziemi, pozytony ulegają anihilacji (o tem będzie mowa w następnym rozdziale). Reakcja nie zachodzi prawdopodobnie bezpośrednio, jest wynikiem cyklu przemian, w których biorą udział i jądra innych pierwiastków.

Reakcje termojądrowe zastosowano w bombie wodorowej. Do celów pokojowych wytwarza się plazmę — gaz złożony z jonów dodatnich i ujemnych. Utrzymuje się ją za pomocą odpowiedniego pola magnetycznego w pewnej odległości od ścian naczynia. W odpowiedniej temperaturze i ciśnieniu plazmy powinny w niej zachodzić reakcje termojądrowe, jeszcze nie otrzymane.

Dość znaczna energia kinetyczna jąder przy wysokiej temperaturze plazmy stwarza możliwości syntez jądrowych. Wydaje się, że przebieg zjawiska jest przykładem determinowania strukturalnego. Otoczenie determinuje reakcję, chociaż jest odpowiedzialne tylko za energię cząstki atakującej jądro. Może odpowiedniejszą nazwą byłoby determinowanie strukturalnie-przyczynowe. Działanie cząstki jest zewnętrzną przyczyną tworzenia się nowego jądra.

5. Zjawiska tworzenia par i anihilacji

a) Tworzenie par

Zjawisko przemiany fotonu w dwie cząstki: elektron i pozyton jest wyjątkowym zdarzeniem w fizyce. Cała energia

fotonu zamienia się w cząstki i w ich energie kinetyczne. Możliwe jest więc tylko dla przypadku, gdy: $E \geq 2 m c^2$, gdzie E — energia fotonu, m — masa elektronu = masie pozytonu. Po obliczeniu wypada: $E = 1,02 \text{ MeV}$. Koniecznym jest współdziałanie ciężkiego jądra, które doznaje odrzutu. Jaki jest mechanizm tego zjawiska?

Podaje go teoria Diraca, która przyjmuje istnienie stanów o energii ujemnej w granicach od $-mc^2$ do minus nieskończoności wypełnionych całkowicie elektronami nie wytwarzającymi zewnętrznego pola.

Przejście elektronu ujemnego ze stanu energii ujemnej do stanu energii dodatniej wymaga energii $2mc^2$. Po elektronie wyrwanym przez kwant energii pozostaje dziura, która jest właśnie pozytonem. Po przeprowadzeniu drugiej kwantyzacji zbłądną się stała hipoteza „nieskończonego morza” elektronów w stanie energii ujemnej²².

Odkryto również zjawiska występowania par przy naświetlaniu atomów szybkimi elektronami pochodzącymi z promieni kosmicznych.

b) Anihilacja

Anihilacja jest zjawiskiem odwrotnym. Przy zderzeniu swobodnych elektronów: dodatniego i ujemnego, znika ich masa, powstają dwa fotony promieniowania γ wyrzucone w dwu przeciwnych kierunkach. Jeżeli elektron ujemny jest związany z jądrem ciężkim, powstać może jeden foton o energii równej sumie mas cząstki i antycząstki. W pewnych wypadkach zjawisko jest bardziej złożone. Z pozytonu i elektronu powstaje pozytonium. Elektron i pozyton poruszają się dookoła wspólnego środka mas. Po czasie wynoszącym 10^{-10} sekundy lub 10^{-7} sekundy, zależnie od ustawienia spinów, następuje rozpad pozytonium na dwa lub nawet trzy fotony promieniowania γ .

²² W. Heitler, Kwantowa teoria promieniowania tłum. Z. Królikowska i W. Królikowski, 1959.

Odkryto również zjawisko anihilacji protonu z antyprotonem. Powstają z nich nie fotony, lecz mezony: mezon dodatni, ujemny i elektrycznie obojętny.

Antyneutron może anihilować nie tylko ze zwykłym neutronem, lecz również z protonem dając mezony π .

Zjawiska powstawania par i anihilacji stoją jakby na granicy. Zachodzi *przemiana całkowita postaci energii*. Energia w najczystszej postaci promieniowania elektromagnetycznego zamienia się w cząstki o pewnych nabożach elektrycznych. Wiemy, że i te cząstki posiadają charakter falowy, ale fala de Broglie'go jest tylko prawdopodobieństwem znajdowania się cząstki w danym miejscu.

W związku przyczynowym piszemy: Jeżeli A, to B. Tutaj możemy postawić znak równości: $A = B$. Ośmielam się powiedzieć, że zachodzi stu procentowy związek przyczynowy. Przyczyna zamienia się w skutek.

Czy takiej zależności nie należy nazwać *transformacją przyczynową*? Zagadnienie to omówimy jeszcze przy ostatecznych wnioskach.

6. Zjawiska złożone

Przy badaniach promieni kosmicznych wykryto wiele zjawisk złożonych. Należą do nich między innymi ulewry kaskadowe złożone z fotonów γ , elektronów i pozytonów. Każda ulewa powstaje z działania jednego na przykład fotonu, lub innej cząstki o energii rzędu miliardów elektronowoltów. Foton w pobliżu jądra wytwarza parę elektronowo-pozytonową oddając resztę energii pozostałej po utworzeniu mas jako energię kinetyczną tych cząstek. Pozyton ulega na swej drodze anihilacji zamieniając się w dwa fotony i proces się powtarza. Elektron hamowany w materii wytwarza przenikliwe promieniowanie γ , które znów działa podobnie. W wyniku tych zjawisk obserwujemy ulewę kaskadową cząstek i fotonów. Jest to tak zwana „miękka”, czyli mało przenikliwa składowa promieni kosmicznych.

W wielkich pękach zachodzą zjawiska bardziej złożone. Wykryto w nich różne mezony, hiperony i inne cząstki elementarne. Energia cząstki pierwotnej sięga 10^{13} MeV.

Zjawiska te można przyporządkować do kilku grup w tablicy 1. Analiza tych zjawisk jest dość kłopotliwa. Wiemy tylko, że akt pierwszy — początek podlega działaniu jednej cząstki, która stanowi przyczynę zewnętrzną tego tak skomplikowanego zjawiska przyrody.

Część II

Uwagi dotyczące praw fizyki jądrowej

1. *Prawa nieprzyczynowe.*

W fizyce jądrowej można by wyróżnić dwa główne typy praw. Jedne z nich opisują tylko zjawiska i jego przebieg. Na ich podstawie można przewidzieć wynik pomiarów. Takim prawem jest na przykład prawo zaniku aktywności ciała promieniotwórczego. Wyznacza ono zależność pomiędzy liczbą jąder ulegających przemianie a stałą rozpadu promieniotwórczego. Badając te zależności dla różnych pierwiastków stwierdzono, że takie czynniki zewnętrzne jak temperatura, ciśnienie, natężenie pola elektrycznego lub magnetycznego, rodzaj związku chemicznego, do którego wchodzi dany pierwiastek promieniotwórczy, nie wpływają na charakter, ani na czas połowicznego rozpadu. Jest to bardzo istotne dla naszych rozważań.

Innym prawem opisującym tylko zjawisko jest prawo przesunięć promieniotwórczych przy rozpadzie jąder z emisją cząstek α lub β .

Do tego typu zależności można podporządkować różne reguły dotyczące na przykład liczby izotopów trwałych. Inną regułą jest reguła wyboru, która znajduje zastosowania przy przejściu nukleonów z wyższych poziomów energetycznych jądra na poziomy niższe, lub odwrotnie. Towarzyszy temu emisja lub pochłonięcie kwantów promieniowania γ .

2. Prawa zachowania

Innym typem praw są prawa zachowania. Jest ich kilka i spełnianie lub niespełnianie tych praw zależy od typu zjawiska.

Należy tu jeszcze raz podkreślić odrębny charakter zjawisk jądrowych. W innych dziedzinach fizyki niemożliwym jest całkowite odizolowanie danego układu od wpływu otoczenia. W zjawiskach jądrowych występują energie tak wielkie w stosunku do energii otoczenia zewnętrznego jąder, że układ można uważać za izolowany, przynajmniej w chwili reakcji, na przykład w chwili rozbicia jądra. Izolacja nie jest więc zjawiskiem „fikcyjnym”, jak twierdzi M. Bunga²³ omawiając ogólnie prawa fizyczne.

Wpływ otoczenia zaznacza się dopiero w reakcjach termojądrowych przy temperaturach rzędu paru milionów stopni Kelwina.

Drugim charakterystycznym aspektem fizyki jądrowej jest możliwość badania pojedynczego zjawiska. Takie obserwacje są rzadko prowadzone nawet w fizyce atomowej.

Rozróżniamy trzy typy oddziaływań: oddziaływanie elektromagnetyczne, oddziaływanie słabe i oddziaływanie silne.

Przy oddziaływaniach słabych czas działania jest rzędu od 10^{-10} do 10^3 sekundy. Przy oddziaływaniach silnych czas trwania zjawiska jest znacznie krótszy, rzędu 10^{-22} sekundy. Jest to czas przelotu cząstki przez obszar jądrowy.

W oddziaływaniach silnych spełniane są wszystkie znane dotąd prawa zachowania, na przykład:

1. prawo zachowania sumy energii i masy,
2. prawo zachowania pędu,
3. prawo zachowania ładunku elektrycznego,
4. prawo zachowania ładunku jądrowego²⁴,

²³ Dz. cyt. 160.

²⁴ Protonom, neutronom i hiperonom przypisujemy ładunek różny od ładunku elektrycznego.

5. prawo zachowania parzystości²⁵,
 6. prawo zachowania dziwności²⁶
- i inne bardziej specjalne prawa.

W oddziaływaniach słabych stwierdzono nie spełnianie praw dotyczących zachowania parzystości i dziwności.

Analizując zjawiska wyodrębniliśmy związki przyczynowe zachodzące najwyraźniej w przypadku wielkiej energii cząstki rozbijającej jądro oraz w zjawiskach tworzenia par i anihilacji.

Wydaje się słusznym uważać prawa zachowania rządzące przynajmniej tymi zjawiskami jako związki przyczynowe w sensie ogólnym.

Wiemy, że pozorne nie spełnianie prawa zachowania energii przy rozpadzie β ciał promieniotwórczych przyczyniło się do postawienia hipotezy o istnieniu neutrina, odkrytego znacznie później.

Prawo zachowania nie tylko stwierdza biernie, że zachodzi pewna równość, lecz spełnia warunki potrzebne do uznania jego ogólnego charakteru przyczynowego. Na jego podstawie wyznaczamy przebieg zjawiska, może on być nie jedno, lecz wieloznaczny. Dla każdego sposobu rozpadu stosuje się to samo prawo. Mamy układ odizolowany od otoczenia i zdarzenia traktujemy indywidualnie. Zjawiska są najczęściej nieodwracalne i istnieje przyczyna zewnętrzna. Prawa zachowania sumy masy i energii „mówią” o tym wyraźnie, co w danym przypadku wywołało przemianę.

Zestawienie wyników — perspektywy

Po szkicowym przeglądzie zjawisk i uwagach dotyczących praw fizyki jądrowej, warto zestawić wyniki w tablicy 2.

²⁵ Prawo zachowania parzystości — prawo zachowania zwierciadlanej symetrii przestrzennej.

²⁶ Dziwność — pewna własność przypisywana cząstkom dziwnym, na przykład hiperonom.

Tablica 2

Zjawiska	Typ determinowania
Rozpad samorzutny jąder i cząstek elementarnych	determinowanie samorzutne
Rozbicie jąder przez cząstki i przez fotony promieniowania	determinowanie przyczynowe
Synteza termojądrowa	determinowanie strukturalnie przyczynowe
Tworzenie par i anihilacja	transformacja przyczynowa

Wydaje się, że na wyróżnienie zasługują zjawiska tworzenia par i anihilacji, w których zachodzi przemiana postaci energii promieniowania w cząstki i odwrotnie: cząstek w kwanty promieniowania. Zostały one przyporządkowane transformacji przyczynowej, gdyż potrzebne są określone warunki aby zaszły te zjawiska (na przykład współdziałanie pola jądrowego).

Analizując te typy zjawisk widzimy w nich wielką rozpiętość skali czasowej: od 10^{-22} sekundy — czas rozbicia jądra, do kilku tysięcy lat — okresy połowicznego rozpadu niektórych pierwiastków o naturalnej promieniotwórczości. Ich jądra powstały prawdopodobnie także w etapie rozbicia jakichś innych jąder. W ujęciu chronologicznym druga i trzecia grupa związane z jedną powinny zająć pierwszą kolumnę, determinowanie samorzutne — drugą, a grupa czwarta stałaby się fragmentem szczególnym pierwszej, lub drugiej.

W naszym przekroju czasowym może pozostać porządek poprzednio podany.

Zestawiając zjawiska samorzutnego rozpadu z syntezami jąder w gwiazdach, widzimy jakby dwukierunkowość przemian w przyrodzie: rozpad istniejących jąder i tworzenie się nowych cięższych jąder.

Zjawiska rozpadu ciał o naturalnej promieniotwórczości oraz zjawiska występujące przy oddziaływaniu promieni kosmicznych przychodzących ze wszechświata świadczą wyraźnie o tym, że w świecie *nieorganicznym*, w składnikach materii fizycznej zachodzi „samorzutny ruch” rozumiany w sensie ogólnym.

Należałoby to uwzględniać przy współczesnym ujęciu kinetycznej argumentacji za istnieniem Boga. K. Kłósak w swojej pracy na ten temat pisze w ten sposób: „ruch mechaniczny należy z podanym ograniczeniem do empiriologicznie ujętej istoty materii”²⁷. Ograniczenie to wynika z zacieśnienia do pewnych układów odniesienia. Na tej podstawie opiera on swoją hipotezę w płaszczyźnie kosmologii filozoficznej, że „ruch posiada w materii bezpośrednią przyczynę sprawczą czy zasadę”²⁸.

Jak widzieliśmy, rozpad pierwiastków o naturalnej promieniotwórczości zachodzi samorzutnie, jako wynik niestabilnej budowy jąder, nie ulega żadnym zewnętrznym wpływom, nie podlega również wspomnianym ograniczeniom. Czy te zjawiska nie są potwierdzeniem hipotezy K. Kłósaka? Wydaje się, że należy dać odpowiedź pozytywną i dodać jeszcze jeden cytat: „nie sobie samej, ale Bogu zawdzięcza materia to, że ruch należy do jej struktury”²⁹.

Spełnianie licznych praw zachowania w fizyce jądrowej wskazują na izotropowość otaczającego świata. Prawa te — to nic innego, jak „*wynik budowy, porządku i harmonii przyrody*”. Słowa te piszą radzieccy uczeni: A. Bogusz i A. Moroz³⁰. Porządek i harmonia panująca w świecie materialnym może być punktem wyjścia do argumentacji za istnieniem Boga — Stwórcy.

²⁷ K. Kłósak, Zagadnienie punktu wyjścia kinetycznej argumentacji za istnieniem Boga, *Studia Philosophiae Christianae*, 4 (1968) 2, 101.

²⁸ Dz. cyt. 105.

²⁹ Dz. cyt. 104.

³⁰ Elementaryje czasticy, Mińsk, 1966.

Ostatnia uwaga dotyczy zagadnienia zawsze aktualnego: stosunku fizyki do filozofii fizyki. Fizyka nie kończy się na „przewidywaniach wyników pomiarów”, jak twierdzi na przykład T. Rutowski. Nawet M. Bunge uznaje, że prawa „są trafnym opisem rzeczywistości fizycznej”³¹.

Fizyka jądrowa nie stawia problemów dotyczących tylko pomiarów, raczej odwrotnie wielkości otrzymane z pomiarów są pomocnicze do poznania jakości cząstek i zjawisk. Na przykład zjawiska interferencji elektronów doprowadziło do odkrycia falowej natury cząstek.

W fizyce atomowej, a tym bardziej jądrowej zawodzi wyobrażenia. Nie możemy wyobrazić elektronu, protonu, jądra. Wyobrażnię zastępuje język matematyczny, który opisuje zjawiska przyjmując pewne modele oddziaływania. Opis ten częstokroć jest tylko jakościowym, w poszczególnych tylko przypadkach można oszacować wynik obliczeń.

Fizyka jądrowa badając budowę materii jest związana ze światem konkretnym. Jej ujęcie, jak i innych działów fizyki, może stanowić materialną bazę wyjściową dla filozofii po wprowadzeniu dodatkowych aspektów bytowości.

BOLESŁAWA TWAROWSKA

SUR LE DÉTERMINISME ET LES LIAISONS DE CAUSALITÉ EN PHYSIQUE NUCLÉAIRE

En physique nucléaire fut exécutée une analyse de ses phénomènes et de ses lois. Les phénomènes furent divisés en 4 groupes. A la première appartenaient les transformations des éléments radioactifs naturels, des isotopes de radioactivité artificielle et des particules élémentaires, à la seconde — les désintégrations artificielles des noyaux; ensuite venaient les synthèses des noyaux (phénomènes thermonucléaires) et dans le quatrième groupe — les phénomènes de la création des paires et de l'annihilation.

³¹ Dz. cyt. 22.

Dans le premier type des phénomènes on découvrit une détermination spontanée.

Le mot „détérminisme” fut employé dans le sens général, introduit par M. Bunge⁴.

Dans le second type eut lieu une détermination de causalité. Dans les synthèses thermonucléaires apparut une détermination structurale et causale. Enfin dans le quatrième type s'accomplit la transformation causale.

Les lois de physique nucléaire se différencient par les lois non causales et les lois causales.

Les phénomènes de transmutations des éléments de radioactivité naturelle indiquent, que dans le microcosmos se trouvent des mouvements propres, dans le sens large de ce mot.