

Tomasz Ledworowski

POZNAWANIE W FIZYCE A PROCES NAUCZANIA FIZYKI

I. Epistemologiczne problemy w procesie nauczania fizyki

Teoria poznania jest jednym z podstawowych czynników warunkujących prawidłowość procesu nauczania. W ogólnych założeniach marksistowskiej teorii poznania można wyodrębnić trzy zasadnicze problemy, tj. :

- przedmiot ludzkiego poznania,
- kontakt poznawczy przedmiotu z podmiotem,
- kryterium wartości wiedzy.

W rozumieniu marksistowskiej teorii poznania przedmiotem ludzkiego poznania jest świat, zmieniający się wskutek oddziaływań wewnętrznych w wyniku działalności człowieka. "Ujmujemy więc świat - przedmiot naszego poznania nie tylko jako istniejący obiektywnie, nie tylko zmieniający się przez swój własny dynamizm, przez swoje własne siły, lecz także jako zmieniający się na skutek naszej ludzkiej aktywności, naszego, ludzkiego nań oddziaływania".^{1/}

Człowiek poznaje świat za pomocą zmysłów, odbierając od niego bodźce naturalne oraz bodźce, których sam jest przyczyną sprawczą przez swoją działalność praktyczną. Obcowanie człowieka z przyrodą oraz wzajemne oddziaływanie jest procesem ciągłym i ma charakter asymetryczny. Asymetryczność procesu wynika ze świadomości i celowości działania człowieka w toku poznania i przeobrażania przyrody. Interpretując z pozycji marksistowskiej elementarny, zmysłowy kontakt poznawczy człowieka ze światem zauważymy, że "... tkwią w nim organicznie ze sobą splecione, nierozzerwalne /choć rozróżnialne/

^{1/} Cackowski Z., Dydaktyczne sugestie teorii poznania, Nowa Szkoła, Nr 9, 1970, s. 21

trzy elementy, trzy aspekty: a/ naturalne, fizyczne oddziaływanie świata na nasze zmysły, b/ praktyczne oddziaływanie podmiotu poznającego na świat bodźców, c/ myślowe sterowanie, kierowanie tym oddziaływaniem".^{2/}

Praktyczna działalność człowieka jest jedynym środkiem zdobywania wiadomości i stanowi zarazem jedyne kryterium wartości wiedzy. Praktyka jest tu czynnikiem weryfikującym naszą wiedzę zmysłową bądź pojęciową. Tylko w toku działalności praktycznej człowiek kontroluje swoje poglądy i koncepcje ze światem przez nie odzwierciedlonym. Ponadto, w toku swojej działalności, człowiek rejestruje pewien obraz struktury świata, w którym to działanie się odbywa. Potwierdzenie zgodności struktury obrazu ze strukturą świata stanowi kryterium wartości naszej wiedzy.

Człowiek poznając świat, wnosi w bodźce zewnętrzne własne elementy myślowe, wydobywa te bodźce i selekcjonuje je. Na podstawie doznań formułuje modele poznawczej rzeczywistości, sam je konstruuje. Poznając ich strukturę odzwierciedla ogólną strukturę świata. Istnieją zatem pytania: Czy struktura modelu jest izomorficzna do struktury rzeczywistości? Czy człowiek ingerując praktycznym działaniem w poznanie nie tworzy zdeformowanych struktur modeli? Czy wiedza zdobyta jest obiektywna?

Człowiek jest elementem natury, którą poznaje, podlega tym samym prawom, które rządzą światem. Działanie materialne człowieka nie może być sprzeczne z układem elementów świata i rządzącymi nim prawami. W rezultacie struktura działania i konstruowanych modeli nie może być nieizomorficzna z budową świata. W tej sytuacji działalność praktyczna człowieka weryfikuje obraz świata wytworzony w psychice człowieka. Weryfikuje obraz, który powstał w wyniku oddziaływań materialnych człowieka na rzeczywistość. Wynika stąd pot-

^{2/} l.cit. s. 22

wierdzenie podkreślanej przez filozofię marksistowską tezy, że poznanie jest integralnie związane z praktyczną działalnością. "Narodziny i rozwój nauki są właśnie efektem tej działalności, którą z kolei obsługuje wiedza. Nie można skutecznie działać, nie poznając prawidłowości obiektywnego świata".^{3/}

Ciągłe oddziaływanie człowieka na przyrodę w celu jej poznania nie przeczy marksistowskiej tezie o pierwotności oddziaływania materialnego względem świadomości. Świadomość jest konsekwencją działalności materialnej bezmyślnej. Świadomość jest czynnikiem tworzącym człowieka. Każde oddziaływanie bezmyślne zmienia swoją naturę przechodząc pod kontrolę świadomości. Wynika stąd jednoznacznie, że "droga do poznania myśli ludzkiej wiedzie wyłącznie przez poznanie materialnej działalności człowieka, w której się owa myśl przejawia".^{4/}

Fizyka wśród nauk przyrodniczych zajmuje podstawowe miejsce. Przedmiotem badań fizyki były zawsze i są najbardziej elementarne oddziaływania i składniki świata rzeczywistego. Inaczej, przedmiotem poznania fizyki są najgłębsze struktury świata materialnego. Poznanie najniższych struktur badanych układów fizycznych pozwala fizyce ustalić wszelkie prawidłowości strukturalne i prawa odkrywane przez pozostałe nauki przyrodnicze. Z teorii poznania wynikają pewne ogólne konsekwencje dla dydaktyki fizyki. Proces nauczania fizyki można określić jako kierowaną formę poznania świata rzeczywistego. Stąd w nauczaniu fizyki winno mieć miejsce:

1. Określenie przedmiotu i ostatecznego celu badania fizyki, którym jest odkrycie wszystkich najniższych struktur świata rzeczywistego i prawidłowości strukturalnych oraz praw nimi rządzących. Wskazanie kierunku badań spełnia rolę heurystyczną w

^{3/} Korszunow A., Od wrażenia do poznania naukowego, Wiedza Powszechna, Warszawa 1969, s. 57

^{4/} Cackowski Z., ibidem, s. 23

procesie nauczania.

2. Szerokie uwzględnienie bezpośredniego kontaktu uczniów z przedmiotem poznania, włączenie ich w działalność praktyczną, umożliwienie im zdobywania własnych doświadczeń. Tylko wtedy sprawimy, że przyswojony materiał, zdobyta wiedza o świecie może wytworzyć w umysłach uczniów obraz zgodny ze strukturą świata rzeczywistego.
3. Wykorzystanie dużego zaangażowania i zdobytych doświadczeń uczniów w praktycznej działalności do takiej organizacji procesu nauczania, aby pobudzona aktywność stała się ich aktywnością, aby proces nauczania stał się organizacyjną formą uczenia się. Spełniony zostanie wtedy postulat łączenia w nauczaniu wiedzy teoretycznej z praktyką.

D z i a ł a l n o ś ć p r a k t y c z n a p o z w o l i
ł a t w i e j z r o z u m i e ć t e o r i ę , k t ó r a
t ą d z i a ł a l n o ś c i ą s t e r u j e . Stwierdzenie
to wyznacza drogę poznania, która jest koniecznym kryterium
dobrego nauczania.

II. Nauczanie struktur - metodologiczna sugestia teorii poznania w zastosowaniu do dydaktyki fizyki

Zadaniem szkoły jest przygotowanie uczniów dla przyszłości, która nie może być dana w doświadczeniu, nie można również z góry określić potrzebnej wiedzy do rozstrzygnięcia przyszłych nieprzewidzianych nowych problemów. Zdobyta wiedza, umiejętności i sprawności pomagają będą jedynie w rozwiązywaniu typowych z góry określonych problemów. Wraz z rozwojem nauki, techniki, rozwojem cywilizacji wiedza zdobyta w szkole staje się przestarzała. Nowe sytuacje wymagają będą nowych wiadomości, kształtowania nowych umiejętności i sprawności, których szkoła nie wyrobiła.

Aby temu zadaniu sprostać, współczesna dydaktyka fizyki musi

położyć szczególny nacisk na kształtowanie i rozwijanie pewnych sprawności i umiejętności o charakterze ogólnym. Chodzi o to, aby proces nauczania fizyki był procesem rozwijania dyspozycji do działania i myślenia twórczego. Można to osiągnąć przez kształtowanie umiejętności logicznego myślenia, rozwijanie wyobrażeń, uczenie odwagi porzucania stereotypów myślowych, rozwijanie umiejętności wyrażania i uzasadnienia swoich poglądów. Ponadto zdobywana wiedza musi opierać się na badaniu konkretnych, rzeczywistych zdarzeń i zjawisk fizycznych oraz zachodzących między nimi zależności, które ukażą strukturę realnie istniejącego układu fizycznego.

Tak pojęte poznanie rzeczywistości ogranicza się do wzajemnego przyporządkowania poszczególnych elementów układu fizycznego, do określenia ich charakteru, wyglądu, rozmieszczenia i funkcji każdego z nich z osobna. Inaczej mówiąc, charakter elementów układu jest jedynym wyznacznikiem relacji, które łączą te elementy w strukturę materialną. Ten rodzaj struktur W. Okoń określa jako strukturę odzwierciedlającą obiektywnie istniejącą rzeczywistość, dostarczającą uczniowi wiedzy o rzeczywistości.^{5/}

Równoległe z poznawaną strukturą materialną /rzeczywistą/ przedmiotem naszego myślenia jest zbiór pojęć i praw powiązanych zależnościami i relacjami formalno-logicznymi, stanowiący abstrakcyjną pojęciowo-logiczną strukturę układu fizycznego. W. Okoń określa ten rodzaj struktury jako "zmieniającą rzeczywistość".^{6/}

Funkcją struktury pojęciowo-logicznej jest teoretyczno-myślowne sterowanie działalnością praktyczną, w toku której poznajemy strukturę obiektywnie istniejącej rzeczywistości /s. materialną/, będącą z kolei podstawą rozwoju tej pierwszej. Wzajemne zależności między dwoma kategoriami struktur świadczą o ich izomorfizmie.

5/ Okoń W., Podstawy wykształcenia ogólnego, Nasza Księgarnia, Warszawa 1969, s. 77

6/ l.cit., s. 78

Wynika stąd również, że struktura pojęciowo-logiczna jest wewnętrznie nie sprzeczna, dynamiczna, otwarta, obejmuje jednak pewne inwarianty w postaci praw zachowania. W nauczaniu fizyki te dwie kategorie struktur są równoważne. Sprowadzania w procesie nauczania struktury myślenia tylko do tego co rzeczywiste, bądź tylko do tego co pomyślane, przeczyłoby temu co wytwarza w swym dynamicznym rozwoju świat. "Dla /tworzenia T.L./ struktury są nie tylko ważne same treści jej składników brane w ich odłączeniu od siebie, ale /ważne są T.L./ też stosunki /relacje T.L./ stanowiące ich całości, które mogą wychodzić poza te samoistne właściwości tych składników".^{7/}

W tym ujęciu struktura obejmuje wszystko co rzeczywiste lub pomyślane, wszystko co wytwarza przyroda lub myśl ludzka. Ponadto wraz z rozwojem myśli ludzkiej następować będzie rozwój struktury, czyli rozwój synchroniczny; tylko niektóre rodzaje struktur, np. język, rozwijają się dialektycznie. W zakres myślenia strukturalnego wchodzi zagadnienie znaków słownych, znaków umownych oraz zagadnienie modeli natury, sposobu ich używania i funkcji. W przedstawieniu poznanych treści człowiek posługuje się znakami słownymi bądź umownymi, np. pismem, schematem, rysunkiem, modelem.

Jednym z bardzo istotnych znaków w dydaktyce fizyki jest model. "Model musi się opierać na dokonanym uprzednio opisie, ale sam opisem nie jest, jest natomiast czynnością odtwarzania struktury danego przedmiotu w innym materiale".^{8/}

Model może stać się przedmiotem analizy strukturalnej o ile będzie izomorficznie oddawał układ elementów rzeczywistości. Wszelkie modele, aby zasłużyć na miano struktury muszą spełniać cztery warunki:

"P o p i e r w s z e, struktura ma charakter systemu. Składa się

^{7/} Sośnicki K., Strukturalizm, Ruch Pedagogiczny Nr 9, 1970, s. 682

^{8/} Cackowski Z., O teorii poznania i poznawania, PZWS, Warszawa 1968, s. 188

ona z takich elementów, że zmiana jednego z nich pociąga za sobą zmianę wszystkich pozostałych.

P o d r u g i e, każdy model należy do pewnej grupy transformacji; każda z tych transformacji odpowiada jednemu modelowi z tej samej rodziny tak, że zbiór transformacji stanowi grupę modeli.

P o t r z e c i e, wskazane wyżej własności pozwalają przewidzieć zachowanie modelu w przypadku zmiany jednego z jego elementów.

P o c z w a r t e, model musi być zbudowany w taki sposób by jego funkcjonowanie mogło zdać sprawę ze wszystkich dostrzeżonych faktów".^{9/}

Model po jego skonstruowaniu może sam stać się przedmiotem analizy i opisu, można w nim dostrzec nowe własności. Opis modeli i transformacji na modelach może być w dopuszczalnych granicach odnoszony do oryginału, o ile proces transformacji modeli będzie związany z badaniem prawidłowości struktur materialnych i nie przestanie być elementem wiedzy o obiektywnie istniejącej rzeczywistości.

III. Pojęcie układu, struktury i modelu w dydaktyce fizyki w aspekcie cybernetycznym

Zasadniczym problemem cybernetyki jest odtwarzanie funkcji myślenia.^{10/} Cybernetyka jest "nauką o sposobach przekazywania, przechowywania, przekształcania i wykorzystywania informacji w maszynach, żywych organizmach i ich zespołach."^{11/} Definicja ta .

9/ Levi - Strauss Claude, Antropologia strukturalna, PIW 1970 s. 367 in.

10/ Bażenow L. i in., Filozofia nauk przyrodniczych, KiW 1968, s. 501

11/ Współczesna matematyka i cybernetyka, Wybrane zagadnienia, PWN 1969, s. 18

eksponuje pojęcie informacji jako zasadnicze, jednak nie wyczerpuje zagadnienia. Nie obejmuje ona problemu sterowania informacją wejściową regulacji działania układu.

Przez sterowanie rozumiemy "zabieg, w toku którego na podstawie wielkości wejściowej urządzenie sterownicze określa w przepisany sposób wielkość wyjściową",^{12/} bądź "sterowanie jest strategią maszyny /układu/ stosowaną do osiągnięcia celu".^{13/} Natomiast regulacja jest "zabiegiem, w toku którego zadana wartość danej wielkości jest tworzona i stale utrzymywana dzięki interwencji opartej na pomiarach tej wielkości".^{14/} Przedmiotem sterowania i regulacji są układy.

Układ w sensie cybernetycznym jest zbiorem elementów powiązanych w sposób dynamiczny wzajemnymi zależnościami. Układ w ujęciu cybernetycznym jest zawsze układem działającym /dynamicznym/, tzn. że spełnia określone funkcje.

Strukturę układu działającego możemy określić jako sieć sprzężeń między elementami układu w czasie zmiany jego stanu. Jeżeli abstrahujemy od funkcji jaką ma do spełnienia układ działający, wtedy pojęcie układu sprowadza się do układu statycznego rozpatrywanego w danej chwili. Układ statyczny nie jest układem cybernetycznym.

Strukturą układu statycznego możemy nazywać zespół relacji

^{12/} Meyer G., Cybernetyka a proces nauczania, PZWS Warszawa 1969, s. 20

^{13/} Beer S., Cybernetyka a zarządzanie, PWN Warszawa 1966, s. 11

^{14/} Meyer G., ibidem, s. 22

między elementami układu, określając jego stan.

Biorąc pod uwagę kryterium funkcji układów, możemy je podzielić na statyczne i dynamiczne /działające/. Wśród układów statycznych ze względu na rozbudowaną strukturę wyróżniamy proste lub złożone. Poza strukturą w układach statycznych nie ma innego kryterium podziału. Natomiast układy dynamiczne ze względu na możliwość określenia stanu układu dzieli się na deterministyczne i probabilistyczne.

Układy deterministyczne są to układy, w których określając strukturę /sieć sprzężeń/ możemy przewidzieć następny jego stan. Znaczy to, że struktura układu pozwala określić zależności i prawa nim rządzące.

Układy probabilistyczne są to układy, w których następnego stanu nie można dokładnie przewidzieć, można jedynie ustalić prawdopodobieństwo jego występowania. Wynika stąd, że tworzące strukturę zależności i prawa między elementami układu są funkcją prawdopodobieństwa.

Drugim kryterium podziału układów dynamicznych może być złożoność ich struktury. Wyróżniamy tu:

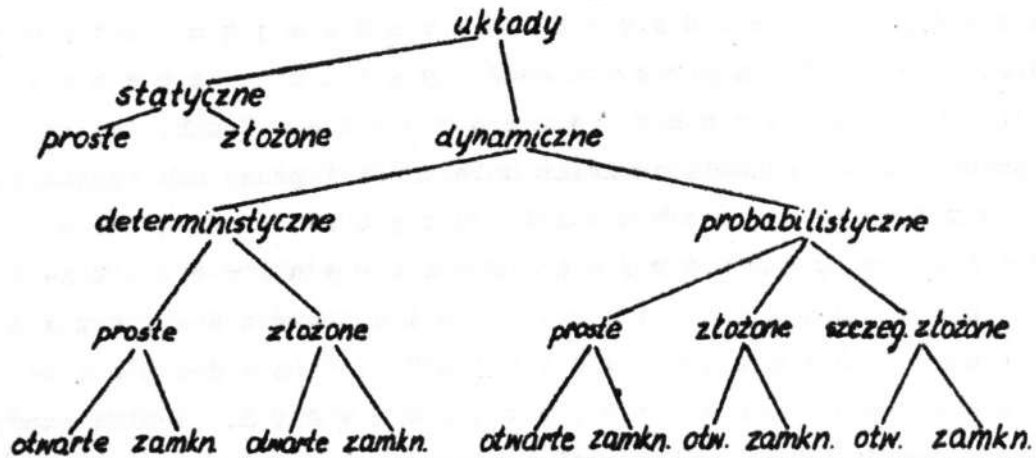
- a/ układ prosty - słabo rozbudowana struktura,
- b/ układ złożony - struktura rozbudowana o licznych rozgałęzieniach i różnorodnych powiązaniach, możliwa jednak do opisanie,
- c/ układ szczególnie złożony - układu tego nie można opisać dokładnie i szczegółowo ze względu na dużą liczbę zmiennych; są to zawsze układy probabilistyczne.

Sterowanie układami deterministycznymi jest stosunkowo proste ze względu na istnienie wielu możliwości, a jednym ze sposobów skutecznego sterowania jest dodatnie lub ujemne sprzężenie zwrotne.

W układach probabilistycznych "sprzężenie zwrotne jest jedynym rzeczywiście skutecznym mechanizmem sterowania".^{15/}

Sprzężenie zwrotne stanowi trzecie kryterium podziału układów. Jeżeli sprzężenie zwrotne obejmuje wszystkie elementy układu tak, że każdy element jest sprzężony z innym i powoduje wzajemne oddziaływanie - to taki układ nazywamy **z a m k n i ę t y m**. Jeżeli w układzie nie ma sprzężenia zwrotnego bądź obejmuje tylko niektóre jego elementy, to układ taki nazywamy **o t w a r t y m**.

Reasumując klasyfikację układów można przedstawić następujący schemat:



W tym samym znaczeniu, jak w cybernetyce, można mówić o układach w procesie nauczania. Przykładem układu statycznego może być program nauczania, podręcznik. Przykładem układu działającego w systemie klasowo-lekcyjnym jest relacja nauczyciel - uczniowie, nauczyciel - uczeń, podręcznik - uczeń itp. Działające układy dydaktyczne są układami probabilistycznymi otwartymi bądź zamkniętymi.

^{15/} Berr S., ibidem, s. 35

Współczesna dydaktyka korzysta w szerokim zakresie z osiągnięć cybernetyki, np. w programowaniu procesu uczenia się. Cybernetyka szczególnie wyróżniła metodę modelowania w procesie poznawania realnej rzeczywistości. Metoda ta polega na konstruowaniu izomorficznego, pod pewnymi względami, modelu oryginału w celu uzyskania wiedzy o oryginale. Badając strukturę modelu zdobywamy wiedzę o nim, która jest podstawą do wyjaśnienia prawidłowości strukturalnych w układzie rzeczywistym. Metoda modelowania w procesie nauczania ma szczególne znaczenie w przekazywaniu wiedzy z zakresu przedmiotów przyrodniczych.

Podsumowując cybernetyczne ujęcie układu i struktury porównujemy ich określenia.

Układ obejmuje zbiór elementów, zależności między nimi oraz cechy funkcjonalne. Struktura układu jest zespołem relacji między elementami zbioru. Pojęcie układu jest pojęciem egzystującym - o-rzeka ono, że coś istnieje autonomicznie. Pojęcie struktury jest pojęciem atrybutowym - mówi o właściwościach złożonego przedmiotu. Pojęcie struktury różnicuje układ i zbiór. Upraszczając rozumowanie na użytek dydaktyki można zapisać, że:

układ = zbiór + struktura + cechy funkcjonalne /sposób zachowania się/.

Rozpatrując układ, w którym elementami zbioru są uczniowie danej klasy i nauczyciel, oddziaływający w swoisty sposób na siebie, zauważymy, że to wzajemne powiązanie ma wpływ na zmiany zachodzące w zachowaniu się uczniów /np. przyrost wiadomości/, co z kolei determinuje postępowanie nauczyciela. Aby określić budowę złożonego układu dynamicznego, należy badać jego zachowanie się /funkcjonowanie układu/. Dotyczy to układów probabilistycznych. Materialistyczna teoria poznania nie zna innego sposobu. Struktura tego układu nie jest strukturą "czarnej skrzynki".

IV. Dwa pojęcia struktury w dydaktyce fizyki

"Aby dojść (...) do wiedzy, człowiek musi znać zarówno fakty, jak i wywiedzione z nich abstrakcje, co więcej, jedno i drugie występuje w zespolonych ze sobą strukturach (...)"^{16/} Jak wspominałem, W. Okoń wyróżnia dwie grupy struktur, które są przedmiotem poznania w procesie uczenia się. Są to:

- struktury materialne układów fizycznych rzeczywistych ukazujące zależności przyczynowe, jak i przestrzenno-czasowe,
- struktury pojęciowo-logiczne, rozumiane jako zbiór pojęć i praw powiązanych zależnościami formalno-logicznymi.

Struktura pojęciowo-logiczna jest izomorficzna ze strukturą materialną w aspekcie zależności przyczynowych. Izomorfizm struktur eliminuje związki przestrzenno-czasowe jako sprzeczne ze strukturą pojęciowo-logiczną fizyki.

A. Znaczenie izomorfizmu struktur

1. W dydaktyce fizyki:

Z izomorfizmu struktur wynikają funkcje, jakie spełnia struktura pojęciowo-logiczna fizyki jako nauki w nauczaniu fizyki.

Struktura fizyki jako nauki:

- a/ wyznacza metodę doboru treści nauczania,
- b/ stanowi o układzie treści nauczania w struktury dydaktyczne,
- c/ eliminuje z treści nauczania fakty, które nie tworzą spójnej struktury materialnej,
- d/ eksponuje rolę modeli struktur materialnych,
- e/ przedstawia modele matematyczne, które są przedmiotem badań doświadczalnych, np. równanie drgań wymuszanych

$$A \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + Cx = F(t),$$

^{16/} Okoń W., ibidem, s. 78

może opisywać drgania mechaniczne lub elektryczne przy odpowiedniej interpretacji oznaczeń,

2/ uwzględnia funkcje światopoglądu^{17/} w procesie nauczania, tzn.:

- wyjaśnia sens zjawisk - funkcja poznawcza,
- scala zdobytą wiedzę w spójny obraz świata - funkcja integrująca,
- hierarchizuje i wartościuje wiedzę - funkcja aksjologiczna,
- pozwala dostrzegać generalne cele, tworzyć nowe doskonalsze wzorce rzeczywistości - funkcja dyrektywna.

2. W fizyce:

Izomorfizm struktur pozwala wykorzystać reguły, prawa i zależności /najczęściej matematyczne/ jako podstawę do formułowania hipotez na temat istnienia lub nieistnienia nowych zjawisk i pojęć. Klasycznym przykładem może być uzupełnienie przez Maxwella znanych z doświadczeń równań elektrodynamiki wielkością zwaną prądem przesunięcia.

Z doświadczenia Maxwell mógł napisać jedynie równanie:

$$\text{rot } \vec{H} = 0.$$

Dopiero wysunięcie hipotezy matematycznej doprowadziło go do wniosku, że:

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{j}$$

Z kolei rozwiązanie układu równań pozwoliło mu wykryć istnienie pola elektromagnetycznego.

Innym przykładem może być przepowiedzenie przez Yukawę istnienia mezonu. Yukawa przyjął za punkt wyjścia istnienie stwierdzonych doświadczalnie sił jądrowych małego zasięgu, o promieniu dzia-

^{17/} Poniatowski Z., Światopogląd a przyrodoznawstwo, KiW, Warszawa 1968, s. 36

łania rzędu rozmiarów jądra $a = 10^{-13}$ cm. Wtedy zamiast potencjału kulombowskiego o postaci $\frac{e}{r}$, należało wprowadzić uogólniony potencjał kulombowski w postaci $\frac{e^{-\frac{r}{a}}}{r}$.

Dla potencjału kulombowskiego równanie Laplace'a

$$\Delta \phi = \frac{\phi}{a^2}$$

Δ - operator Laplace'a

ϕ - potencjał

przybiera postać

$$\Delta \phi = 0$$

i opisuje pole statyczne.

Pole statyczne jest szczególnym przypadkiem pola falowego opisywanego równaniem:

$$\Delta \phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$$

Yukawa założył, że dla uogólnionej postaci potencjału kulombowskiego

$$\frac{e^{-\frac{r}{a}}}{r}$$

równanie Laplace'a

$$\Delta \phi = \frac{\phi}{a^2},$$

pozwala przejść do równania falowego, zwanego równaniem Yukawy

$$\Delta \phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \frac{\phi}{a^2}$$

Rozwiązanie tego równania jest wyrażeniem opisującym falę płaską

$$\phi = A \sin 2\pi (\nu t - kx)$$

ν - częstotliwość

$k = \frac{1}{\lambda}$ - liczba falowa

Każdej fali odpowiada cząstka. Z teorii względności wiemy, że

energia czątki E o masie "m" wynosi

$$E^2 = m^2 c^4 + c^2 p^2 \quad p - \text{pęd}$$

Ale z teorii kwantów mamy

$$E = h \cdot \nu ,$$

a z prawa de Broglie'a

$$p = hk,$$

wobec tego

$$h^2 \nu^2 = m^2 c^4 + c^2 h^2 k^2$$

dzieląc równanie przez $c^2 h^2$, otrzymamy

$$\frac{\nu^2}{c^2} = \frac{m^2 c^2}{h^2} + k^2 .$$

Rozwiązanie

$$\phi = A \sin 2\pi (\nu t - kx)$$

daje taką samą zależność między ν i k , o ile przyjmiemy

$$\frac{mc}{h} = \frac{1}{2\pi a} ,$$

a stąd

$$m = \frac{\hbar}{ca} .$$

Wiedząc, że $a = 10^{-13}$ cm, można obliczyć masę czątki będącej nośnikiem sił jądrowych:

$$m = \frac{\hbar}{ca} \approx 3,5 \cdot 10^{-25} \text{ g} .$$

Jest to cząstka o masie 380 razy większej od masy elektronu.

Cząstkę tę odkryto i nazwano mezonem $\pi^{18/}$. Przykład ten podkreśla

^{18/}Baženow L., i in., ibidem, s. 456

zasadnicze znaczenie związków formalno-logicznych w strukturze pojęciowej. Wprawdzie punktem wyjścia było doświadczalne stwierdzenie istnienia sił jądrowych, to jednak postawienie hipotezy istnienia mezonu \bar{N} było możliwe dzięki związkom logicznym i formalnym między potencjałem kulombowskim a uogólnionym pojęciem potencjału kulombowskiego oraz transformacji równania Laplace'a dla uogólnionej postaci potencjału kulombowskiego, co w wyniku dało równanie Yukawy.

$$\Delta\phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \frac{\phi}{a^2} \quad .$$

Odkrycie mezonu \bar{N} jest potwierdzeniem, że zależności przyczynowe w rzeczywistości odpowiadają związkom logicznym pomiędzy pojęciami.

B. Systemy pojęć w fizyce według Heisenberga

Przytoczone przykłady oraz wynikające z nich wnioski wskazują jednoznacznie na rolę i funkcję struktur pojęciowo-logicznych w nauczaniu fizyki. Aby upodobnić proces nauczania do procesu poznania, należy materiał dydaktyczny ujmować w struktury; jest to warunek konieczny, ale nie dostateczny. Przedmiotem badań fizyki jako nauki jest przyroda jako całość - istnieje pytanie, czy fizyka posiada jedną strukturę logiczną?

Odpowiedzi na to pytanie udzielił W. Heisenberg. Wyróżnia on cztery systemy pojęciowe, które uzyskały już ostateczną postać.

1. System pojęć mechaniki klasycznej S_m - obejmuje wszelkiego rodzaju układy mechaniczne, ruch cieczy, drgania ciał sprężystych; w jego skład wchodzi akustyka, statyka, aerodynamika. W systemie tym każda struktura materialna ma odpowiadającą strukturę pojęciową. Wszelkie zależności przyczynowe w strukturze przyrody przedstawione są w systemie pojęciowym odpowiednimi równa-

niami matematycznymi. Występujące w tym systemie pojęcia, np. masa, prędkość, przyspieszenie, siła, pęd, moment pędu, moment siły, potencjał, moment bezwładności, energia i inne, są tak ściśle ze sobą związane prawami, regułami, definicjami, aksjomatami, że zmiana jednego z nich burzyłaby cały system. System pojęć mechaniki klasycznej jest systemem zamkniętym, spójnym, wewnętrznie niesprzecznym. Niezmienne są w nim prawa zachowania.

2. System pojęć związanych z fenomenologiczną teorią ciepła S_c - występuje w nim szereg pojęć, których nie ma w innych działach fizyki, np. ciepło, ciepło właściwe, entropia itp. System pojęć teorii ciepła wiąże się z mechaniką statyczną w której centralne miejsce zajmuje pojęcie prawdopodobieństwa ściśle powiązane z pojęciem entropii. Jednak nieodzowne są pojęcia energii, pędu, momentu pędu oraz prawa zachowania występujące w każdym spójnym systemie pojęć w fizyce, opisującym właściwości przyrody. Dlatego zamknięty system pojęć teorii ciepła można powiązać z każdym zamkniętym systemem pojęć w fizyce.
3. System pojęć zjawisk elektrycznych i magnetycznych S_e jest systemem zamkniętym i obejmuje elektrodynamikę, magnetyzm, szczególnie teorię względności, optykę oraz teorię fal materii de Broglie'a, bez falowej teorii Schrödingera.
4. Spójnym systemem pojęć jest teoria kwantów S_k . Centralne miejsce zajmuje w niej funkcja prawdopodobieństwa. System ten obejmuje mechanikę kwantową i falową, teorię widm atomowych, chemię oraz teorię niektórych własności materii, jak przewodnictwo elektryczne, ferromagnetyzm itp. W cytowanej pracy W. Heisenberg wykazał również, że wyróżnione systemy są ze sobą powiązane istniejącymi między nimi relacjami i opisują przyrodę jako całość. S_m jest zawarty w S_k jako przypadek graniczny, gdy stała Plancka $h \rightarrow 0$ bądź jako aprioryczna podstawa opisu doświadczeń. S_m jest również zawarty w S_e jako przypadek graniczny, gdy prędkość światła $c \rightarrow \infty$. S_e jest częściowo zawarty w S_k wyłącznie

jako aprioryczna podstawa opisu doświadczeń, jednak S_e i S_k istnieją niezależnie.

S_c bez trudu można powiązać z S_m , S_e , S_k .

W. Heisenberg uważa, że systemy S_m , S_e , S_k są prawdopodobnie przypadkami granicznymi piątego nie istniejącego jeszcze systemu, który prawdopodobnie powstanie z rozwojem teorii cząstek elementarnych.^{19/}

V. Krótka analiza programu nauczania fizyki w szkole podstawowej^{20/} w aspekcie systemów pojęciowych W. Heisenberga

W systemie S_m występują następujące pojęcia:

- w klasie VI : czas, długość, siła /ciężar/, ciężar właściwy,
- w klasie VIII: ciśnienie, droga, prędkość, przyspieszenie, wyróżnione pojęcie przyspieszenia ziemskiego, masa, masa właściwa, praca, moc. Z zasad występują: zasady dynamiki, zasada zachowania energii. Ponadto w klasie VII występują pojęcia ruchu drgającego i falowego, okres, częstotliwość, amplituda, długość fali, prędkość fali, wysokość i natężenie dźwięku.

System pojęć mechaniki klasycznej S_m występujący w programie szkoły podstawowej ma najpełniejszą postać.

Drugi system pojęć S_c - dotyczący ciepła - jest najslabiej prezentowany w szkole podstawowej. W klasie VI występuje dział nauki o ciepłe - I część właściwie bez pojęć, natomiast w klasie VII występuje II część nauki o ciepłe zawierająca pojęcia ciepła właściwego, temperatury. Nauka o ciepłe w klasie VI oderwana jest od systemu pojęciowego, który uczeń częściowo znał, a ponadto niepotrzebnie rozdziela dział mechaniki, który w tej sytuacji mógłby

^{19/} Heisenberg W., Fizyka a filozofia, KiW, Warszawa 1965, s. 84 i in.

^{20/} Program nauczania ośmioklasowej szkoły podstawowej, PZWS, Warszawa 1963, s. 429 i in.

tworzyć całość bez szkody dla wiedzy ucznia. Połączenia I i II cz. nauki o ciepłe pozwoliłoby stworzyć strukturę pojęciową, w której elementami byłyby takie pojęcia, jak: ciepło, ciepło właściwe, temperatura.

System pojęć elektrodynamiki S_e w klasie VIII jest dość szeroko opracowany, jednak bez żadnego związku ze zjawiskami optycznymi.

System pojęć mechaniki kwantów S_k nie występuje w szkole podstawowej. Wiadomości z atomistyki są fragmentaryczne.

Wszystkie systemy pojęciowe realizowane w szkole podstawowej nie mają związków logicznych. Wiadomości, które uczeń zdobywa - są wycinkami rzeczywistości, nie tworzą jedności logicznej, odzwierciedlającej jedność zjawisk świata materialnego.^{21/} Brak tej jedności logicznej ogranicza naczelną cel założony przez program, tj. kształtowanie światopoglądu, do jego funkcji wyłącznie poznawczej, umożliwiającej wyjaśnienie sensu zjawisk. Zmusza natomiast do pomijania jego funkcji integracyjnej, która polega na scalaniu wiedzy w syntetyczny obraz świata materialnego, ukazywaniu jedności zjawisk tego świata. Pominąć należy tutaj kwestie funkcji aksjologicznej /hierarchizacji i wartościowania zjawisk/ oraz funkcji dyrektywnej /dostrzeganie generalnych celów działania/, jakie ma do spełnienia światopogląd, bo to nie dotyczy szkoły podstawowej.

VI. Rola i znaczenie struktur logicznych w doborze treści programowych

Rozwój nauki i techniki oraz tempo tego rozwoju narzuca współczesnej szkole treści nauczania takie, aby one nadążały za nauką. Ideą naczelną współczesnego programu powinno być ograniczenie materiału nauczania do niezbędnego minimum informacji. Problem zasad-

^{21/} Sawicki M., Struktury logiczne w nauczaniu fizyki, Kwartalnik Pedagogiczny Nr 2, 1969

niczy tkwi w tym, co powinny zawierać te informacje. Jednoznacznej odpowiedzi można udzielić dokonując analizy struktury logicznej fizyki i ustalając, które pojęcia, związki, prawa są podstawowe, uniwersalne, a które są pochodne. Teza ta wymaga jednak szczegółowych badań.

Istotne znaczenie w dydaktyce ma strukturalizacja treści nauczania, ponieważ pozwala ona ustalić w treściach programowych zasadnicze treści i ich wzajemne związki, przez co nadaje nauczaniu charakter ogólnokształcący, zapewniając tym samym ciągłość uczenia.

Ukazywanie struktur w procesie nauczania upodabnia go do procesu badania, a ponadto strukturalna wiedza o rzeczywistości zwiększa trwałość zapamiętywania i umożliwia operatywne posługiwanie się zdobytą wiedzą. Struktury logiczne w nauczaniu mają wpływ na poszerzanie wiedzy w oparciu o wiedzę zdobytą. Szczególnego znaczenia w nauczaniu struktur logicznych należy dopatrywać się w przenoszeniu poznanych zasad ogólnych obowiązujących w jednej grupie zjawisk na drugą, a dalej idąc, przenoszeniu struktury logicznej jednej nauki na pokrewne - ma to szczególne znaczenie we współczesnej nauce integrującej różne dyscypliny.^{22/} Należy również dodać, że w tym leży właśnie sens funkcji aksjologicznej i dyrektywnej naukowego poglądu na świat.

^{22/} Sawicki M., ibidem