

Stanisław
Wójcicki

zasady
eksperymentu



ST. WÓJCICKI

**zasady
eksperymentu**

STANISŁAW
WÓJCICKI

zasady eksperymentu

WYDAWNICTWO
MINISTERSTWA
OBRONY
NARODOWEJ



W a r s z a w a 1 9 6 4

Opiniodawca
prof. dr inż. JERZY DOWKONTT

Redaktor
Maria Domańska

*

Książka jest podręcznikiem eksperymentowania. Jej istotną treść stanowi teoria i technika eksperymentu pojętego jako zasadnicze ogniwo eksperymentalnej metody poznawania rzeczywistości.

Książka jest przeznaczona dla inżynierów i naukowców zajmujących się eksperymentalnymi pracami badawczymi, konstruktorów prowadzących lub stykających się z rozwojowymi badaniami swoich konstrukcji oraz dyplomantów i doktorantów wykonujących prace dyplomowe i doktorskie o charakterze eksperymentalnym.



6683

Redaktor techn. Helena Malczewska
Okładkę i obwolutę projektował Zygmunt Ziemka

Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej
Warszawa 1964. Wydanie I
Printed in Poland

Nakład. 2.000+200 egz. Obj. (z wkładką). 19,26 ark. wyd., 18 $\frac{1}{2}$ ark. druk. Papier: druk. sat. IV kl. 65 g., format: 61x86/16 z Fabryki Celulozy i Papieru im. J. Dąbrowskiego w Kluczach. Oddano do składu 29.VI.1963 r. Podpis. do druku 18.II.1964 r. druk ukończono w marcu 1964 r. Zam. nr 2267 z dn. 10.VII.63 r.
Wojskowe Zakłady Graficzne w Warszawie.
Z-82. Cena zł 42.—

PRZEDMOWA

Rozwój każdej niemal dziedziny działalności ludzkiej przechodzi przynajmniej dwa etapy: etap rozwoju opartego na intuicji i opiniach oraz etap rozwoju opartego na metodach naukowych.

Metoda naukowa polega na budowaniu modeli, które muszą mieć następujące zasadnicze własności: tłumaczą wszystkie znane dotychczas fakty i pozwalają przewidywać istnienie innych faktów.

Istnienie przewidywanych faktów powinien móc sprawdzić obiektywny i niezależny obserwator. Takiego sprawdzenia dokonuje się najczęściej na drodze doświadczalnej, realizując odpowiednio przygotowany eksperyment. Ten sposób postępowania został przyjęty najpierw w fizyce, a później rozszerzony na pozostałe gałęzie wiedzy.

Obecnie jesteśmy świadkami, jak wszystko, co dotyczy życia człowieka na ziemi, staje się nauką. Nauką jest prowadzenie przedsiębiorstwa przemysłowego i prowadzenie wojny. Nauką jest też przyrządzanie potraw i przygotowywanie sportowca na olimpiadę. Stąd bierze się coraz powszedniejszy pęd do eksperymentowania. Wynika on z przekonania, że wszystko, co nas otacza, może być udoskonalone, jeśli tylko zostanie poddane naukowemu badaniu.

Niniejsza książka zajmuje się zasadami przeprowadzania eksperymentu. Autor starał się omówić w niej wszystkie czynniki wpływające na jego wynik oraz na prawidłowość i bezbłądność wyciągniętych wniosków. W poszukiwaniu źródeł błędów uwzględnione zostały także, poza innymi, aspekty logiczne i psychologiczne.

Książkę można uważać za podręcznik eksperymentowania, nie jest ona jednak poradnikiem przeznaczonym dla potrzeb doraźnych. Pisząc ją, autor miał na uwadze przede wszystkim młodych inżynierów, którzy zamierzają specjalizować się w prowadzeniu prac eksperymentalnych. Z myślą o nich został też przede wszystkim napisany rozdział o rozwojowych badaniach urządzeń technicznych.

Autor czerpie przykłady z różnych dziedzin, przeważnie jednak z najbardziej mu bliskich — energetyki i lotnictwa, chcąc w ten sposób podkreślić jak najbardziej ogólne znaczenie wysuwanych tez. Przykłady są tak dobrane, aby szczegóły techniczne nie zaciemniły istoty sprawy, choć niektóre z nich mogą się wydać Czytelnikowi nazbyt rozbudowane.

To, co zostało w tej książce przedstawione, jest w wielu miejscach dyskusyjne. Dlatego autor życzyłby sobie, aby miejsca te Czytelnik traktował jedynie jako sugestię do własnych refleksji.

Maszynopis pracy został przeczytany przez prof. dr. Jerzego Dowkontta, któremu autor zawdzięcza przemiłe wspomnienie kilkugodzinnej dyskusji, podtrzymującej w nim przekonanie o celowości napisania tej książki.

STANISŁAW WOJCICKI

Warszawa — maj 1963

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
1. Rozwój historyczny metody eksperymentalnej	9
2. Logiczne podstawy metody eksperymentalnej	16
3. Psychologiczne aspekty eksperymentu	28
4. Rozumowanie i myślenie refleksyjne	37
* 5. Elementy metody eksperymentalnej	50
6. Postawienie problemu	58
7. Literatura na temat problemu i plan pracy	66
8. Hipoteza	70
* 9. Matematyczne przygotowanie eksperymentu	80
Modele matematyczne	80
Teoria podobieństwa	87
Określanie liczb podobieństwa za pomocą równań różniczkowych	90
Analiza wymiarowa	95
* 10. Ogólne zasady eksperymentowania	99
* 11. Obserwacja	116
12. Zagadnienia metrologii	131
Jednostki miary	131
Metody pomiarów	133
Charakterystyka i podział narzędzi pomiarowych	142
Dokładność pomiarów	152
* 13. Badania modelowe	155
Modele podobne	156
Modele analogowe	170
* 14. Laboratoria i stoiska badawcze	175

15. Badania rozwojowe urządzeń technicznych	190
16. Opracowanie wyników badania	227
Analiza wyników pomiaru	227
Wzory doświadczalne	235
Analiza wyników badań statystycznych	244
Opracowanie sprawozdania z badań eksperymentalnych	253
17. Pracownicy badawczy	259
Zakończenie	263
Załączniki	265
Literatura	286

ERRATA

do książki St. Wójcicki: **Zasady eksperymentu**

Str.	Wiersz		Jest	Powinno być
	od góry od dołu			
227	—	12	... rys. 12.4) rys. 12.3) ...
229	—	8 i 13	$\Sigma \bar{x}$	$S\bar{x}$
232	—	20	... złożonej założonej ...
247	—	6	... g - q - ...
250	—	5 i 21	... x \bar{x} ...
250	12	—	x ...	Δx ...
253	—	14	$r =$...	r ...
271	1	—	... w n^*	... n^*
273	—	1,2,3,4	... bX	... bx
275	kolumna 1			
	wiersz 3		$Y =$...	$y =$...
275	kolumna 1			
	wiersz 6		dopisać:	$Y = (bh + ch^2) + 2chx$
275	kolumna 2			
	wiersz 3 i 11		... OV OY ...
278	kolumna 2			
	wiersz 5		... lgx^2	... lgx
283	kolumna 2			
	wiersz 4		... $Y =$ $Y' =$...
283	kolumna 2			
	wiersz 19		... czwartego niż czwartego ...
284	kolumna 1			
	wiersz 1		n	k
285	1	—	... X^{2*}	... χ^{2*}

ROZWÓJ HISTORYCZNY METODY EKSPERYMENTALNEJ

Teza Kopernika, że Słońce jest nieruchome, a Ziemia i planety krążą wokół niego, znana była już w starożytności. Z heliocentrycznym układem wszechświata pierwszy wystąpił Arystarch z Samos żyjący w III wieku p.n.e. Nie potrafił on jednak przekonać współczesnych o prawdziwości swej teorii.

Twórca systemu geocentrycznego Ptolemeusz zbijał koncepcję Arystarcha, dowodząc, że Ziemia musi być nieruchoma, w przeciwnym razie przedmioty zrzucone z góry nie spadałyby na nią pionowo, lecz wzdłuż krzywej, będącej wypadkową ruchu ziemi i drogi spadania. Doświadczalnego obalenia dowodu Ptolemeusza dokonał dopiero w XVII wieku filozof i matematyk francuski Gassendi. Wykonał on eksperyment na pływającym okręcie, polegający na zrzuconiu kamienia z masztu na pokład. Gassendi stwierdził, że kamień spadł dokładnie pod samym masztem. Gdyby założenia mechaniki Ptolemeusza były prawdziwe, kamień osiągnąłby po upadku pokład w miejscu oddalonym od masztu w kierunku rufy okrętu.

Przeprowadzając to epokowe doświadczenie, Gassendi wykorzystał bardzo istotne dla dalszego rozwoju wiedzy o świecie osiągnięcie Galileusza, a mianowicie zastosowanie w badaniach naukowych ilościowej metody eksperymentalnej. Narodziny tej metody wiążą się z badaniem przez Galileusza praw swobodnego spadku ciał.

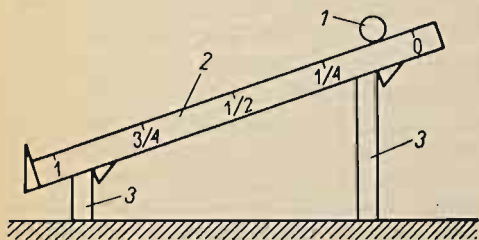
Żyjący w IV wieku p.n.e. Arystoteles ze Stagiry, obserwując spadające w powietrzu lub tonące w wodzie kamienie i liście, doszedł do naturalnego, zdawałoby się, wniosku, że im ciało jest cięższe, tym spadek jego jest szybszy. Tę obserwację Arystoteles uogólnił w postaci następującego prawa: prędkość spadającego ciała jest wprost proporcjonalna do jego ciężaru.

„W celu udowodnienia błędów w rozumieniu Arystotelesa — pisze Galileusz — przeprowadźmy następujące doświadczenie: dwie kule z ołowiu, z których jedna jest dziesięciokrotnie cięższa

od drugiej, rzucamy jednocześnie z wysokości trzeciego piętra na drewnianą tablicę, która wydaje odgłos przy uderzeniu; okazuje się, że kula lżejsza nie spada dziesięć razy dłużej aniżeli kula cięższa — obie kule uderzą o deskę równocześnie i odgłos uderzenia zleje się w jeden dźwięk.”

Galileusz nie poprzestał na tym i postanowił wykryć rzeczywiste prawo rządzące spadkiem ciał. W tym celu wykonał następujące urządzenie. Na dwu podporach pod kątem do poziomu (rys. 1.1) ustawił drewnianą belkę o długości 6 m z wyłobionym w niej rowkiem, w którym toczyła się mosiężna kula. Czas staczania się kuli mierzył za pomocą klepsydry wodnej. Przede wszystkim zmierzył czas, w jakim kula przebiegała przez całą belkę, a potem czas przebiegu przez poszczególne jej odcinki.

W ten sposób wykazał, że droga, którą przebiegnie kula, jest proporcjonalna do kwadratu czasu potrzebnego na przebycie tej drogi. Innymi słowy, droga dzielona przez kwadrat czasu była stałą dla danej pochylni. Istniało tylko jedno wytłumaczenie takiego zachowania się kuli, a mianowicie, że w czasie staczania się kula ulegała jednostajnemu przyspieszeniu.



Rys. 1.1. Stoisko Galileusza do badania praw rządzących spadkiem ciał:

1 — kula mosiężna, 2 — belka, 3 — podpory

Przeprowadzone przez Galileusza badanie charakteryzują następujące cechy:

— zjawisko swobodnego spadku ciał zabezpieczono przed działaniem czynników ubocznych, mogących zniekształcić jego przebieg. Obserwujący w warunkach naturalnych spadek ciał Arystoteles został wprowadzony w błąd ubocznym działaniem oporu powietrza na spadek liści. W zrealizowanym przez Galileusza doświadczeniu czynniki uboczne, a mianowicie tarcie toczone i opór powietrza nie miały wpływu na wynik doświadczenia;

— zastąpienie w przeprowadzonym badaniu bezpośredniego spadku ciała toceniem kuli po pochylni zostało oparte na założeniu, że w istocie swojej oba te ruchy są identyczne. Wniosek taki Galileusz wysnuł na podstawie fizycznej analizy zjawiska. Pozwoliło mu to w konsekwencji skonstruować stoisko umożliwiające pomiar podstawowych parametrów charakteryzujących zjawisko, a mianowicie drogi i czasu;

— wynik badania został przedstawiony za pomocą związku tych parametrów

$$\frac{S}{t^2} = \text{const}$$

gdzie: S — droga swobodnego spadku,
 t — czas spadku.

Wymienione elementy badania przeprowadzonego przez Galileusza, to jest sztuczność warunków, w jakich zostało przeprowadzone, pomiar wielkości występujących w zjawisku oraz jego matematyczny opis stanowią podstawowe cechy eksperymentu naukowego. Eksperyment to pytanie skierowane do przyrody. Posługując się odpowiednimi wskazówkami eksperymentator sztucznie wywołuje jakieś zjawisko, które dostarcza mu odpowiedzi twierdzącej lub przeczącej.

Punktem wyjścia w przytoczonym na wstępie eksperymentcie Gassendiego była hipoteza, że kamień spuszczonej z masztu na pokład niesie w sobie ruch okrętu i zachowuje go podczas całego spadku. Gassendi zrozumiał doniosłość tej hipotezy dla odparcia argumentów skierowanych przeciw systemowi heliocentrycznemu. Eksperyment potwierdził słuszność hipotezy, a tym samym rozstrzygnął spór o słuszność teorii Ptolemeusza i Kopernika na korzyść teorii Kopernika. Był to wielki sukces nowej metody badania, który zapoczątkował cały łańcuch dalszych. Uczeń Galileusza Toricelli wynalazł barometr i wykazał, że powietrze wywiera ciśnienie zmniejszające się wraz ze wzrostem wysokości. Guericke wynalazł pompę próżniową i zademonstrował publicznie siłę ciśnienia atmosferycznego, łącząc ze sobą dwie półkule, których — po wypompowaniu z nich powietrza — nawet siła ciągnących koni nie mogła rozdzielić. Harvey odkrył zjawisko krążenia krwi, a Boyle ustalił prawo wiążące ciśnienie i objętość gazu pozostającego w stałej temperaturze.

W ten sposób stworzone zostały podstawy nauki nowożytnej. Z punktu widzenia metodologii nauk eksperyment naukowy jest jednym z ogniw metody badań panującej w naukach przyrodniczych, a mianowicie metody indukcyjnej. Metoda ta polega na obserwowaniu faktów, eksperymentowaniu, tłumaczeniu danych uzyskanych na podstawie obserwacji przez hipotezy oraz wysnuwaniu z tych hipotez wniosków o innych faktach. Podstawowym źródłem wiedzy w tej metodzie jest doświadczenie, któremu faktów z kolei dostarcza obserwacja lub rozwinięty z naturalnej obserwacji eksperyment.

Metoda indukcyjna ukształtowała się w ciągu wieków w wyniku walki jej zwolenników — empiryków, z innym kierun-

kiem — racjonalizmem, uznającym rozum za niezależne źródło wiedzy o świecie fizycznym.

Podstawowym argumentem racjonalizmu przeciw empiryzmowi jest subiektywizm postrzeżeń. W poszukiwaniu pewności racjonaści zaprzeczali wszelkiej wartości wnioskowi wypływającemu z doświadczenia jako bardzo niepewnego źródła wiedzy o świecie. Za najwyższą formę wszelkiej wiedzy racjonaści uważali matematykę. Dążyli też do rozwijania wszystkich dyscyplin naukowych, posługując się podstawową metodą stosowaną w matematyce, a mianowicie dedukcją. Z kolei empirycy atakowali dedukcję za to, że przekształca jedynie sądy pod względem formalnym, a jej wnioski zawsze zawarte są w przesłankach. Przesłanki natomiast, jeśli mają być prawdziwe, muszą opierać się na doświadczeniu. Np. w sylogizmie: „wszyscy ludzie są śmiertelni”, „Sokrates jest człowiekiem”, wniosek: „Sokrates jest śmiertelny”, zawarty jest w doświadczalnym fakcie, że „wszyscy ludzie są śmiertelni” i nic nowego nie wnosi.

Najwybitniejszym empirykiem w starożytności był współczesny Sokratesowi Demokryt, którego uważa się za twórcę atomistycznej teorii materii. Jego kosmogonia znacznie wyprzedzała stan wiedzy współczesnych. Traktuje on ewolucję jako proces przebiegający w wyniku łączenia się atomów w coraz to bardziej złożone całości. Idee te zostały podjęte przez Epikura, a następnie podane w skończonej, choć upoetycznionej formie przez Lucrecjusza w jego poemacie „O naturze wszechrzeczy”.

Pierwszym metodologiem empiryzmu był żyjący w drugim wieku p.n.e. sceptyk Karneades, który głosił, że dedukcja nie może być źródłem wiedzy absolutnie pewnej, gdyż nie można za jej pomocą ustalić prawdziwości aksjomatów, stanowiących punkt wyjścia dedukcyjnej metody rozumowania. Twierdził on, że absolutna wiedza nie jest potrzebna dla orientacji w życiu codziennym i że wystarczającą podstawą działania są dobrze uzasadnione opinie.

Średniowiecze, w którym filozofię uprawiali prawie wyłącznie mnisi, nie stwarzało dogodnych warunków do rozwoju empiryzmu. Zwolennicy tego kierunku, tacy jak Roger Bacon czy Wilhelm Ockham, należeli do wyjątków.

Dopiero wraz z powstaniem nowożytnej nauki, a więc około roku 1600, empiryzm zaczął stawać się dobrze ugruntowaną doktryną filozoficzną. Filozoficzne systemy Franciszka Bacona, Johna Locke’a i Dawida Hume’a stały się podstawą nowożytnej metodologii empiryzmu. W nich też sformułowano ostatecznie jego zasadnicze tezy:

Postrzeżenie zmysłowe jest źródłem i ostatecznym kryterium wiedzy.

Umysł ludzki w chwili urodzenia można porównać do białej karty, na której pisze doświadczenie. Rola rozumowania sprowadza się jedynie do ustalania porządku między impresjami, których dostarczają nam zmysły. Taki uporządkowany system tworzy dopiero naukę.

A więc to, co rozum dodaje do wiedzy zdobytej na podstawie doświadczeń, polega na klasyfikacji oraz na stwierdzeniu zależności.

Jeżeli dostrzeżone w ten sposób stosunki są prawdami ogólnymi, to oczywiście dotyczą one nie tylko obserwacji już poczynionych, ale i przyszłych. To jest właśnie ów wkład rozumu do wiedzy. Doświadczenie informuje o przeszłości i teraźniejszości; rozum przepowiada przyszłość. Logika dedukcyjna nie może sama przez się nic przewidzieć i musi być wspomagana przez logikę indukcyjną. Zasady tej logiki podał Franciszek Bacon w dziele pt. *Novum Organum*.

Koniec wieku XVIII przynosi pewien zastój w rozwoju empiryzmu. Jest to epoka wpływów wielkiego racjonalisty Kanta. Jednak nie spotykane dotąd sukcesy w rozwoju przemysłu i techniki, jakie osiągnęła ludzkość w wieku XIX, utrwaliły ostatecznie pozycję metodom eksperymentalnym. W tym też czasie zostały ustalone teoretyczne podstawy systemu indukcyjnego. Dokonał tego John Stuart Mill w dziele pt. *System logiki*.

Syntetyczne ujęcie najbardziej pozytywnych cech obu kierunków — racjonalizmu i empiryzmu — znalazło odbicie w gnoсеologii materializmu dialektycznego. Oto jej podstawowe tezy:

— poznanie świata odbywa się na drodze stopniowego zbliżania do poszczególnych prawd o świecie metodą „krok za krokiem” przez stopniowe uogólnianie poznawanych praw oraz coraz bardziej wnikliwe uwzględnianie coraz większej liczby czynników wpływających na przebieg zjawisk;

— podstawowym źródłem wiadomości o świecie jest doświadczenie, ale wnioski wypływające z doświadczenia mogą być rozszerzone i wzbogacone przez rozumowanie;

— powstała w ten sposób wiedza zostaje sprawdzona w praktyce społecznej jako ostatecznym kryterium prawdy. Przez praktykę rozumie się tu eksperyment naukowy oraz przemysł.

Oparta na doświadczeniu metoda poznawania rzeczywistości przeszła w swym historycznym rozwoju przez szereg faz, które ustaliły się jako pewne skończone i do dziś przydatne sposoby badania.



Pierwsze kroki w naukowym poznaniu przyrody zostały uczynione poprzez systematyczne obserwacje. Użycie tego sposobu nie pociąga za sobą zmian w zjawisku badanym. Obserwacja do dziś znajduje zastosowanie np. w astronomii, gdzie od stwierdzenia położenia ciał niebieskich można przejść do przewidywania określonego wydarzenia, jak zaćmienie Słońca lub Księżyca.

Następny etap rozwoju obserwacji stanowi metoda obserwacyjno-instrumentalna, w której przyrządy pomiarowe oraz aparaty techniczne ułatwiają i uściślają lub w obiektywny sposób utrwalają obserwacje.

Metoda ta przekształciła się w znaną już starożytnym najbardziej prymitywną formę eksperymentu, a mianowicie w eksperyment jakościowy. Osiągnięciem tego rodzaju eksperymentowania był wynalazek pierwszych narzędzi, odkrycie szkła lub brązu czy też pewne zdobycze greckiej medycyny, które pozwalały poznawać choroby niewidoczne „z zewnątrz”.

Eksperyment jakościowy przekształcił się w ilościowy w dobie Odrodzenia, tworząc klasyczną postać eksperymentu wyodrębniającego, w którym badane procesy zostają za pomocą określonych urządzeń technicznych oddzielone od świata zewnętrznego. Ułatwia to badanie ich przebiegu oraz wyznaczanie i określanie występujących w nich związków przyczynowych. Istotą eksperymentu jest modyfikacja zjawiska stanowiącego przedmiot badania. Świadczy to o całkiem innym niż w obserwacji stosunku osoby badającej do badanego procesu, a właściwa różnica między obiema metodami dotyczy stopnia czynnej ingerencji człowieka w przedmiot badania.

W obecnym okresie rozwoju nauki jesteśmy świadkami narodzin doskonalszej postaci eksperymentu. Charakteryzuje się on wytwarzaniem takich warunków, które dziś w normalnych okolicznościach nie są spełnione. Umożliwia to tworzenie jakościowo zupełnie nowych form. Celem eksperymentu jest nie tylko wyodrębnianie zjawisk, lecz rzeczywiste wytworzenie czegoś nowego. Przykładem takiego eksperymentu wytwórczego jest np. wytworzenie przez Roentgena zupełnie nowego i nieznanego w przyrodzie procesu, w wyniku którego następuje wysyłanie promieni X.

Z punktu widzenia zakresu badania historyczny rozwój metody eksperymentalnej można przedstawić następująco:

— eksperyment zajmujący się badaniem związków w zakresie jednej tylko prawidłowości. Przykładem może być szukanie zależności między temperaturą i ciśnieniem powietrza zawartego w naczyniu zamkniętym;

— eksperyment, w którym bada się powiązanie jakościowo różnych prawidłowości. Pojawia się on wtedy, gdy zbadana jest już

dostatecznie dziedzina prawidłowości poszczególnych. Celem eksperymentu jest określenie pewnego typu wyższej prawidłowości, który obejmuje prawidłowości niższe. Przykładem może być badanie wpływu promieniowania kosmicznego na procesy biologiczne;

— eksperyment badający przejście jakościowo odrębnych dziedzin w inne. Takim eksperymentem było laboratoryjne, a następnie przemysłowe zrealizowanie bezpośredniej syntezy NH_4 , która w warunkach naturalnych praktycznie nie zachodzi. Innym przykładem jest sztuczna promieniotwórczość czy też ogólnie transmutacja pierwiastków.

Wspólną zasadą we wszystkich tych rodzajach eksperymentu jest kontrolowane wywoływanie zjawisk.

Znaczenia metody eksperymentalnej dla rozwoju współczesnej cywilizacji nie można przecenić. Dzięki niej ludzkość zdobyła istotną część nowoczesnej wiedzy o przyrodzie, w następstwie zaś większość wynalazków nowoczesnej techniki. Zakres stosowności eksperymentu ograniczony jest jednak do zjawisk powtarzających się w warunkach przynajmniej częściowo takich samych. Znaczy to oczywiście, że nie sposób eksperymentować nad zjawiskami rzeczywiście indywidualnymi i niepowtarzalnymi. Stąd biorą się właśnie pewne trudności przy zastosowaniu tej metody do badania zjawisk np. historyczno-społecznych.

LOGICZNE PODSTAWY METODY EKSPERYMENTALNEJ

Logicznym narzędziem eksperymentu jest rozumowanie indukcyjne, które uważa się za szczególny przypadek tłumaczenia, a mianowicie za tłumaczenie uogólniające. Tłumaczenie polega na dobieraniu racji do danego następstwa, znanego jako prawda.

Jedziemy pociągiem. Pociąg staje, nie dojeżdżając do stacji. Trwa to już dłuższą chwilę. Zniecierpliwiony maszynista gwizdże. Domyślamy się, że stoimy „pod sygnałem” i że „semafor jest zamknięty”. Powyższy przykład jest przykładem tłumaczenia, ale nie indukcji, która występuje tylko wtedy, gdy na podstawie zauważonych faktów domyślamy się twierdzenia ogólnego.

Od wieków ludzie obserwowali spadanie ciał. Newton wytłumaczył je za pomocą prawa powszechnej grawitacji. I to jest właśnie klasyczny przykład indukcji.

Omówiony w poprzednim rozdziale historyczny rozwój metod doświadczalnych wiąże się ściśle z rozwojem ich aparatu logicznego. Logiczną podstawą naturalnej matki eksperymentu — obserwacji jest arystotelesowa indukcja przez proste wyliczanie, oparta przede wszystkim na badaniu kategorii substancji i jakości.

Celem tego badania jest klasyfikacja, której pierwszym stopniem bywa najczęściej poszukiwanie podobieństwa, następnym zaś — wzajemne podporządkowywanie poszczególnych dziedzin.

Indukcję przez proste wyliczanie charakteryzuje zdanie postaci: *S* jest (nie jest) *P*. Rozróżnia się dwa rodzaje takiej indukcji: wyczerpującą i niewyczerpującą. Oto przykład indukcji wyczerpującej: „Tlen dysocjuje w wysokiej temperaturze; azot dysocjuje w wysokiej temperaturze; wodór dysocjuje w wysokiej temperaturze. Tlen, azot i wodór są gazami dwuatomowymi. Wszystkie gazy dwuatomowe dysocjują w wysokiej temperaturze”. Stwierdziwszy kolejno o każdym elemencie danej klasy, że ma określoną właściwość, a nadto wiedząc, że wyliczone elementy razem wyczerpują ogół tej klasy, budujemy uogólnienie przypisu-

jące tę właściwość każdemu elementowi tej klasy. To uogólnienie jest więc uzasadnione w sposób zupełny, daje jednak stosunkowo niewiele. Wniosek wysnuty z faktów nie wychodzi poza te fakty. Nauka jednak dąży do szerszych wyników, choćby kosztem zmniejszenia pewności. Pozwala na to indukcja niewyczerpująca.

Oto przykład tego rodzaju indukcji: „Słońce jest w przybliżeniu kulą; Wenus jest w przybliżeniu kulą; Gwiazda Polarna jest w przybliżeniu kulą. Słońce, Wenus i Gwiazda Polarna są ciałami niebieskimi. Wszystkie ciała niebieskie są w przybliżeniu kulami”. Istotnie, tak zapewne jest, jednakże uogólnienie powyższe jest słabo uzasadnione. Wyliczając bowiem kilka egzemplarzy danej klasy i przenosząc zauważoną w nich jakąś właściwość na ogół egzemplarzy tej klasy musimy się liczyć z tym, że trafi się pewna ilość wyjątków od naszej tezy ogólnej w obrębie tej klasy. Omylimy się przecież, gdy będziemy rozumować analogicznie na temat barwy metali: „Żelazo ma odcień srebrzysty; cynk ma odcień srebrzysty; ołów ma odcień srebrzysty. Żelazo, cynk i ołów są metalami. Wszystkie metale mają odcień srebrzysty”. Oczywiście ten wynik rozumowania nie jest prawdziwy. Niewyczerpująca indukcja przez proste wyliczanie jest więc twórcza, lecz jako sposób uzasadniania uogólnień bardzo słaba. Można powiedzieć, że jest tym słabsza, im bardziej twórcza.

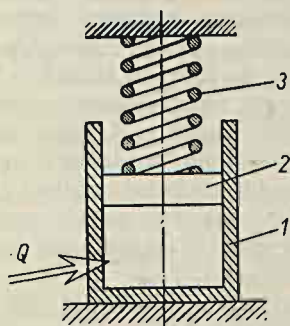
Z chwilą powstania eksperymentu jakościowego ta skodyfikowana przez Arystotelesa logika stała się już jednak niewystarczająca. W medycznej szkole Hipokratesa zaczęto eksperymentować z organizmem ludzkim. W wyniku eksperymentów stwierdzono, że organizm ten należy uważać za pewien układ, o którego wewnętrznych zmianach można sądzić na podstawie zmian powierzchniowych, łatwych do obserwowania. „Sztuka lekarska, pisze Hipokrates, chociaż jest pozbawiona możliwości oglądania okiem, którym wszyscy wszystko najdokładniej widzą, z jednej strony ropni wewnętrznych, z drugiej wątroby, nerek oraz wszystkiego, co w jamie brzusznej się mieści, wynalazła mimo to sobie ku pomocy inne środki skuteczne.

Wszak z czystości i ochrypłości głosu, z szybkości lub powolności oddechu, ze wszystkich wydzielin, które występują tam, gdzie są otwarte dla nich drogi — z woni, barwy, wreszcie rzadkości lub gęstości, domyśla się ona — po rozważeniu wszystkiego, czego to są objawy. Kiedy zaś objawów tych chorzy nie zdradzają i sama natura dobrowolnie ich nie dostarcza, sztuka lekarska wynalazła środki przynaglające, dzięki którym natura, gwałtownie bezbolesnemu ulegając, wydaje je i przeto biegłym w sztuce tej wyjaśnia, co czynić im wypada. Z jednej strony zmusza ona gorąco naturalne ciała ostrością napojów i jadła do wyrzucania na

zewnątrz flegmy, aby ukazawszy się oku, pozwoliła na wnioski o tym, czego widzenie jest dla sztuki tej niemożliwe, z drugiej — za pomocą biegu i wspinania się na wzgórza przynagla oddech do świadczenia o tym, o czym ten zdolny jest świadczyć.”*

Podstawowym celem nawet najprymitywniejszego eksperymentu jest badanie związków. Z tego powodu w logice należało kategorie substancji i jakości zastąpić kategoriami relacji i przyczynowości, należało logikę klasyfikacji zastąpić logiką systemową. Zaczątki takiej logiki powstały już w starożytności. Był to badany przez stoików okres warunkowy: „jeśli a to b ”. „Jeśli flegma chorego zawiera ślady krwi, to chory ma niezdrowe płuca”.

Prawdziwy rozwój logiki systemowej zaczął się jednak dopiero wraz z powstaniem eksperymentu ilościowego, co nastąpiło w początkach wieku XVII. Głównym zadaniem, jakie postawiono przed tym eksperymentem, było wykrycie mechanizmu zjawisk, co prowadziło każdorazowo do stwierdzenia ilościowego stosunku między poszczególnymi czynnikami interweniującymi w zjawisku. Te ilościowo badane czynniki są w klasycznym eksperymencie niezmiennie jakościowo. Próby matematycznego ujęcia wyników pomiarów dokonywanych podczas eksperymentowania wiążą się ściśle z genezą pojęcia funkcji. Do pojęcia funkcji logika systemowa dochodzi poprzez analizę problemu zmienności. Punktem wyjścia w tych rozważaniach jest założenie, że na zmianę badaną nie wpływają inne zmiany zachodzące w tym samym czasie.



Rys. 2.1. Hipotetyczne stoisko do określania równania stanu gazów doskonałych:

1 — cylinder, 2 — tłok, 3 — sprężyna, Q — ciepło doprowadzane do gazu zamkniętego w cylindrze

Następstwem tego było wprowadzenie do nauki szeregu abstrakcji, takich jak gaz idealny, ciało doskonale sztywne czy układ odosobniony. Wpłynęło to także na sposób realizacji eksperymentu, który starano się prowadzić w warunkach pełnej izolacji.

Przeprowadźmy klasyczny eksperyment z gazem w celu określenia równania stanu dla tego gazu. Eksperyment przeprowadza-

* B. Farrington: *Nauka grecka*, Warszawa, PWN 1951, s. 89.

my na hipotetycznym stoisku, przedstawionym na rys. 2.1. Gaz badany znajduje się w cylindrze, który jest zamknięty tłokiem. Na tłok działa sprężyna, której siła nacisku oczywiście wzrasta w miarę przesuwania się tłoka ku górze. Położenie tłoka zależy więc od ciśnienia panującego w cylindrze, a to z kolei od temperatury gazu. Temperaturę można regulować podgrzewając lub oziębiając cylinder. Parametrami zmieniającymi się w tym zjawisku są: temperatura — T , ciśnienie — p i objętość właściwa — v . Należy określić zależność między tymi parametrami, czyli znaleźć postać funkcji

$$F(T, p, v) = 0$$

Na podstawie pomiarów dokonanych przy różnych położeniach tłoka otrzymuje się zależność

$$\frac{pv}{T} = f(p, T) = R$$

Funkcja $f(p, T)$ zależy od rodzaju gazu. Jej charakter dla powietrza przedstawia rys. 2.2.

Równanie stanu w powyższej postaci byłoby jednak mało przydatne w praktyce. Ale bliższa analiza wykresu z rys. 2.2 wykazuje, że w pewnym obszarze ciśnień i temperatur można przyjąć niezależność stosunku $\frac{pv}{T}$ od tem-

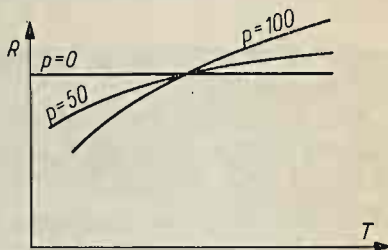
peratury i ciśnienia. Otrzymuje się wtedy uproszczone równanie stanu w kształcie

$$\frac{pv}{T} = \text{const}$$

Gaz, który ściśle podporządkowuje się temu równaniu, nazwano gazem idealnym. Uściślenie powyższego równania wymaga głębszego wnikięcia w fizyczną strukturę materii. Opierając się na kinetycznej teorii gazów van der Waals otrzymał równanie o następującej postaci

$$\frac{\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b)}{T} = \text{const}$$

gdzie a i b przedstawiają pewne wielkości zależne dla danego czynnika termodynamicznego tylko od temperatury.



Rys. 2.2. Charakter zależności stałej gazowej powietrza R od temperatury T i ciśnienia p

Postęp w opisie zjawisk uwarunkowany jest więc z jednej strony postępem w zrozumieniu mechanizmu badanego procesu, polegającym na stopniowym uwzględnianiu czynników coraz głębiej tkwiących w zjawisku, z drugiej zaś postępem w technice pomiarowej, dzięki któremu niezauważalne poprzednio wpływy stają się widoczne.

Logiczne podstawy eksperymentu ilościowego zostały opracowane przez Franciszka Bacona, a następnie ustalone w ostatecznej postaci przez Johna Stuarta Milla w jego pięciu kanonach ujmujących różne metody rozumowania za pomocą indukcji eliminacyjnej. Są to metody: jedynej zgodności, jedynej różnicy, metoda łączna — zgodności i różnicy, metoda zmian towarzyszących oraz metoda reszt. Kanony te stanowią równocześnie pięć formalno-logicznych wzorców badań eksperymentalnych.

Metodę jedynej zgodności przedstawia następujący schemat:

$$\begin{array}{lll} A & B & C \quad \alpha \beta \gamma \\ A & B & D \quad \alpha \beta \delta \\ A & C & D \quad \alpha \gamma \delta \end{array}$$

gdzie: $A B C D$ są to poprzedniki, $\alpha \beta \gamma \delta$ — odpowiadające im następniki.

We wszystkich przypadkach stale powtarzającym się poprzednikiem jest A oraz stale powtarzającym się następnikiem — α . Można z tego wysnuć twierdzenie uogólniające, że po każdym A następuje α .

Przykład:

A — połączenie kwasu z zasadą
 α — powstanie soli,

$B C D \beta \gamma \delta$ — rozmaite okoliczności, zmiennie towarzyszące podczas kolejnych prób, np. różne naczynia, różne temperatury składników, różne ciśnienia otoczenia itp.

Uogólnienie: każde połączenie kwasu z zasadą wywołuje powstanie soli.

Schemat metody jedynej różnicy uwidacznia następujące zestawienie poprzedników i następników:

$$\begin{array}{lll} A & B & C \quad \alpha \beta \gamma \\ & B & C \quad \beta \gamma \end{array}$$

Przykład: celem badania jest stwierdzenie, który z organów — oczy, nos czy uszy służą do patrzenia.

Oznaczamy:

A — zamknięcie oczu,

α — niewidzenie,

B — zatkanie uszu,

β — niesłyszenie,

C — zatkanie nosa,

γ — nieodczuwanie zapachu.

Uogólnienie: widzimy za pomocą oczu.

Przykładem mniej trywialnym może być badanie roli różnych narządów zmysłowych w procesie uczenia się zwierząt w sytuacji labiryntowej.

Problem do zbadania brzmiał: jakie jest znaczenie poszczególnych narządów zmysłowych w nabywaniu sprawności ruchowych? Zwierzętami badanymi były białe szczury. Stoisko badawcze stanowił labirynt, to jest urządzenie złożone z wielu ścieżek, częściowo kończących się ślepymi uliczkami, przy czym całość dróg jest dla zwierzątka w procesie postrzegania niemożliwa do ogarnięcia. Okazało się, że zwierzę potrafi wyjść z labiryntu jedynie dzięki powtarzaniu prób i nieświadomemu poprawianiu błędów. Podczas eksperymentu porównywano ze sobą czynności zwierząt normalnych z okaleczonymi (np. pozbawionymi wzroku) po zupełnym zagojeniu ran.

Na metodzie jedynej różnicy opiera się znaczna część eksperymentów w naukach humanistycznych, wykonywanych za pomocą tak zwanych grup równoważnych. Idea prowadzenia takich badań jest następująca: jeśli dwie pod istotnymi względami jednakowe grupy ludzi wykonują pod wpływem jednakowych bodźców taką samą czynność i jeśli jedna z tych grup wykonuje ją pod wpływem bodźca dodatkowego, różnice w skutkach przypisać należy temu właśnie bodźcowi. Przykładem może tu być eksperyment z zakresu psychologii, w którym chodziło o stwierdzenie, która z trzech form instruowania: objaśnienie słowne, pokaz czy łączenie jednego z drugim jest najbardziej skuteczna?

Zorganizowano trzy równoważne grupy studentów. Ścisłe jedną i tę samą treść w postaci czterotaktowego ćwiczenia gimnastycznego podawano indywidualnie uczestnikom tych grup w trojaki sposób: wyłącznie słownie, wyłącznie pokazowo oraz pokazowo-słownie. Szło o stwierdzenie: po ilu próbach i podaniach instrukcji ćwiczący z różnych grup wykonują zadanie bezbłędnie?

Zestawiając w pewien sposób metodę zgodności z metodą różnicy, otrzymuje się metodę łączną zgodności i różnicy, której schemat ma taką postać:

A B C	$\alpha \beta \gamma$
A B D	$\alpha \beta \delta$
A D E	$\alpha \delta \epsilon$

B E	$\beta \epsilon$
C E	$\gamma \epsilon$
C D	$\gamma \delta$

Z pierwszych trzech układów otrzymuje się uogólnienie dotyczące stałego następstwa między A i a . Pozostałe trzy układy umacniają to przekonanie poprzez stwierdzenie braku a , gdy brak jest A .

Przykład:

A — zwiększenie sprężu w silniku spalinowym,	a — wzrost sprawności silnika,
B — zastosowanie paliwa o zmniejszonej wartości opałowej,	β — spadek mocy silnika,
C — zwiększenie intensywności chłodzenia cylindrów,	γ — spadek temperatury głowicy mierzonej pod świecą,
D — zwiększenie intensywności olejenia silnika,	δ — spadek temperatury oleju,
E — dodanie składników przeciwstukowych do paliwa,	ϵ — niewystępowanie zjawiska stuków przy dużych sprężach.

Uogólnienie: zwiększenie sprężu w silniku spalinowym powoduje wzrost jego sprawności.

Metoda zmian towarzyszących jest szczególnym przypadkiem metody różnicy, zachodzącym wtedy, gdy ilościowa zmiana jednego z poprzedników wywołuje ilościową zmianę następnika. A oto schemat tej metody:

$$\begin{array}{cc} A & B \\ A_1 & B \end{array} \quad \begin{array}{c} a \beta \\ a_1 \beta \end{array}$$

Przykład: badanie wpływu temperatury na ciśnienie gazu zamkniętego w naczyniu o stałej objętości.

A — temperatura 300°K ,
A_1 — temperatura 600°K ,
a — ciśnienie 2 ata,
a_1 — ciśnienie 4 ata,
B — eksperyment przeprowadzany z powietrzem znajdującym się w naczyniu metalowym,
β — w zakresie temperatur $300 \div 600^\circ\text{K}$ między badanym gazem i naczyniem nie zachodzi reakcja chemiczna.

Uogólnienie: wzrost temperatury gazu znajdującego się w naczyniu zamkniętym wywołuje wzrost ciśnienia tego gazu. Wykonanie większej ilości prób doprowadzi do bardziej ogólnego twierdzenia, że ciśnienie gazu znajdującego się w stałej objętości jest wprost proporcjonalne do jego temperatury.

Ostatnia metoda badania indukcyjnego, a mianowicie metoda reszt streszcza się w następującym schemacie:

$A B C D$

$\alpha \beta \gamma \delta$

$D \left\{ \begin{array}{l} \text{występuje stale przed} \\ \text{ma po sobie stale} \end{array} \right\} \delta$

Jeśli usuniemy z jakiegoś zjawiska takie jego składniki, które są, jak wiemy z poprzednich wniosków indukcyjnych, skutkiem określonych poprzedników, to reszta jest skutkiem poprzedników pozostałych.

Przykład: chcemy stwierdzić, co jest przyczyną powstawania pęknięć ścianek komory spalania silnika. W rachubę wchodzi: wysokie ciśnienie, duża prędkość przepływu, wysoka temperatura spalania i szkodliwe dodatki zawarte w paliwie, które działając na materiał ścianek, wywołują zmniejszenie jego wytrzymałości.

Oznaczamy:

A — wysokie ciśnienie,

α — duże naprężenia w materiale ścianki,

B — wysoka temperatura spalania,

β — nagrzewanie się ścianki,

C — duża prędkość przepływu,

γ — powstawanie pulsacji strumienia spalin,

D — szkodliwe dodatki zawarte w paliwie,

δ — zmniejszenie własności wytrzymałościowych materiału ścianki.

Po usunięciu poprzedników $A B$ i C stwierdzamy nadal pękanie ścianek komory.

Uogólnienie: pękanie ścianek komory jest wywołane szkodliwymi domieszkami zawartymi w paliwie, które działając na materiał ścianek, zmniejszają jego własności wytrzymałościowe.

Jak wynika z powyższego przykładu, metoda reszt jest pewną odmianą metody jedynej różnicy, którą stosuje się wtedy, gdy w badanym zjawisku złożonym znane są już z badań poprzednich niektóre procesy składowe.

Ta opracowana przez Bacona i Milla indukcja eliminacyjna umożliwia, jak widać, tworzenie uogólnień wykraczających poza dane wyjściowe. Uogólnienia te poza tym stara się dość poważnie uzasadnić.

Stosowalność jednak wymienionych pięciu kanonów nawet na terenie badań fizykalnych jest wyraźnie ograniczona. Kanony te należy traktować jako pewnego rodzaju abstrakcyjne modele metod badawczych, a nie jako rzeczywiste zasady, których należy ściśle przestrzegać, przeprowadzając eksperyment. Na przykład metoda jedynej zgodności wymaga, aby zdarzeniu A w każdym przypadku towarzyszyło zdarzenie a przy obecności lub nieobecności wszelkich okoliczności poza tym, a przecież niektórych okoliczności nie można zmienić lub wyeliminować. Na przykład wszystkie na ogół doświadczenia prowadzone są przecież w warunkach działania grawitacji ziemskiej oraz oddziaływania Słońca i Księżyca.

Podobnie kanon jedynej różnicy wymaga, by wszystkie okoliczności po wyeliminowaniu procesu badanego były te same, czego prawie nigdy nie jesteśmy w stanie zrealizować.

Ponadto wszystkie kanony, poza kanonem zmian towarzyszących, dotyczą nie tyle wykrywania rodzaju zależności między wielkościami interweniującymi w zjawisku, co wykrywania związku między cechami lub zdarzeniami. Obniża to, niestety, ich wartość użytkową, gdyż, jak wiemy, naukę współczesną interesują właśnie przede wszystkim zależności funkcyjne.

Opisane poprzednio doświadczenie (rys. 2.1), którego celem było określenie równania stanu gazów idealnych (czyli wykrycie funkcyjnej zależności między temperaturą, ciśnieniem i objętością gazu), można przedstawić wg następującego schematu logicznego

$$A_1 \ B_1 \ C_1$$

$$A_2 \ B_2 \ C_2$$

$$A_3 \ B_3 \ C_3$$

gdzie: A — temperatura gazu T ,

B — ciśnienie gazu p ,

C — objętość gazu v ,

indeksy 1, 2, 3 — pomiary rejestrujące poszczególne zmiany parametrów.

Oczywiście badanie można przeprowadzić (na zmodyfikowanym nieco stoisku) ograniczając ilość zmiennych parametrów z trzech do dwu:

(I) $A_1 \ B_1 \ C_1$
 $A_1 \ B_2 \ C_2$
 $A_1 \ B_3 \ C_3$

(II) $A_1 \ B_1 \ C_1$
 $A_2 \ B_1 \ C_2$
 $A_3 \ B_1 \ C_3$

(III) $A_1 \ B_1 \ C_1$
 $A_2 \ B_2 \ C_1$
 $A_3 \ B_3 \ C_1$

Otrzymuje się wtedy w wyniku matematyczne opisy wyidealizowanych procesów składowych:

$$z \text{ (I)} \quad - pv = \text{const, gdy } T = \text{const;}$$

$$z \text{ (II)} \quad - \frac{T}{v} = \text{const, gdy } p = \text{const;}$$

$$z \text{ (III)} \quad - \frac{T}{p} = \text{const, gdy } v = \text{const.}$$

Ogólnie rzecz biorąc, przy wykrywaniu istnienia zależności, jak i przy określaniu jej charakterystyki, zbyteczne jest krępowanie się założeniem, że badany czynnik zależy od jednego tylko z grupy czynników. Poddanych badaniu jako podejrzanych o to, że pośród nich znajduje się czynnik uzależniający.

Przeprowadzany w warunkach odosobnionych eksperyment wyodrębniający umożliwia zresztą uniezmiennienie pewnych parametrów, co jest jego oczywistą zaletą, a z czego też skwapliwie i często korzystamy.

Zdarzają się jednak przypadki, gdy nie można podczas eksperymentu zachować ani warunków odosobnienia, ani odizolowania badanego zjawiska od wpływu czynników ubocznych. Przypadki takie zachodzą przy badaniu zjawisk masowych. Chcemy np. określić zależność między urodzajem jakiegoś gatunku ziemniaków a dozami pewnego nawozu sztucznego, użytego do ulepszania gleby. Badania tego nie możemy, niestety, uniezależnić od wpływu zmiennych warunków. Aby zabezpieczyć się przed błędnymi wnioskami, które możemy wysnuć na podstawie przypadkowego wyniku doświadczenia, przeprowadzamy po kilkanaście prób z każdą dawką, a wyniki opracowujemy za pomocą metod, których dostarcza nam statystyka matematyczna.

Logicznym narzędziem tego typu eksperymentowania jest indukcja statystyczna. Ma ona tę wspólną cechę z indukcją przez proste wyliczanie, że gromadzi obfitość faktów, różni się zaś od postępowania według kanonu zmian towarzyszących tym, że nie dba o niezmiennność warunków, w których daną zależność się bada. Indukcja statystyczna nie poszukuje uogólnień w rodzaju „każde A jest B”, czy też „każdemu A towarzyszy a”, lecz stara się przede wszystkim określić przeciętną wartość danego zbioru wartości badanej wielkości zmiennej. Interesuje ją nie tyle stan poszczególnych jednostek, co stan zbiorowości. Doszukując się prawidłowości w procesach masowych indukcja statystyczna wyznacza korelacje, czyli współzależności między wartościami je-

dnej zmiennej a odpowiadającymi im wartościami innej. Powstałe w ten sposób zależności nie mają charakteru praw deterministycznych, jak w przypadku uogólnień uzyskanych metodą indukcji eliminacyjnej. Metody statystyczne uniemożliwiają odpowiedź na pytanie, jaki będzie stan układu w danej chwili. Pozwalają jednak na określenie prawdopodobieństwa tego stanu.

Na podstawie tych metod nie można nic powiedzieć o losie poszczególnych zjawisk. Można natomiast z pewnym prawdopodobieństwem ustalić los zbiorowiska.

W tym zagadnieniu indukcja statystyczna wychodzi poza zakres logiki dwuwartościowej, w której każde zdanie mające sens jest albo prawdziwe, albo fałszywe. Zdanie „za rok pojedę na Targi do Poznania” nie może być jednak ani prawdziwe, ani fałszywe i ma jakąś wartość trzecią, niezdecydowaną, zawartą między fałszem i prawdą. Zdarzeniu temu można przypisać w zależności od warunków nieskończenie wiele stopni prawdopodobieństwa. Ten fakt właśnie stał się przyczyną powstania logik wielowartościowych, od trójwartościowej aż po logikę nieskończenie wielowartościową.

Przy badaniu zależności może się okazać, że jeden z badanych czynników jest od drugiego niezależny, przy danych wartościach innych nieobojętnych czynników lub nawet przy jakichkolwiek wartościach tych czynników. Tego rodzaju odkrycie bywa czasem bardzo doniosłe. Za przykład może służyć postulat Avogadra o niezależności liczby drobin gazu w jednostce objętości i w takich samych warunkach fizycznych od jego składu chemicznego oraz niezależność okresu wahań wahadła od amplitudy wahań, przy dowolnej ustalonej długości wahadła i danej stałej grawitacyjnej, przy zachowaniu pewnych niezbyt wielkich rozmiarów amplitudy.

Ogólna metoda stwierdzania niezależności czynnika D od czynnika A przy danych wartościach czynników BC (stałych lub zmiennych) polega na tym, że zestawia się wyniki obserwacji wg następującego schematu:

$$\begin{array}{lll} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_3 & B_1 & C_1 & D_1 \end{array}$$

gdzie wartość A za każdym razem jest inna, a wartość D ciągle zostaje ta sama. Oczywiście takie indukcyjne uzasadnienie niezależności zawsze pozostawia możliwość omyłki. Zdarzyć się bowiem może np., że między A i D istnieje zależność okresowa, a my notujemy przypadkiem tylko te sytuacje, w których zmieniające się A odpowiada niezmiennemu D .

Jak już o tym była mowa w rozdziale poprzednim, eksperyment współczesny wychodzi poza ramy ilościowego eksperymentu wyodrębniającego. Cechują go poza tym i przede wszystkim zmiany jakościowe. Stąd bierze się nadana mu nazwa eksperymentu ilościowo-jakościowego.

Logiczny opis takiego procesu zawiera zdanie: „*A* w okolicznościach *C* przechodzi w *B* w okolicznościach *D*”. Fazy *A* i *B* powiązane są z towarzyszącymi im okolicznościami *C* i *D*, i odwrotnie *C* i *D* też są ze sobą powiązane, tylko że nie wprost, lecz poprzez zmianę *A* do *B*. Istotnym elementem procesu są tendencje do zmiany kryjące się w fazie *A*, a występujące w okolicznościach *C*. Okoliczności *C* tendencje te wzmagają albo tłumią — ewentualnie jedno i drugie i utrzymują dynamiczną równowagę między *A* i otoczeniem. *A* i *B* podlegają jedynie zmianom ilościowym, a ich stałość jakości jest określona przez równowagę sprzeczności. Przejście od *A* do *B* możliwe jest w środowisku *C*, które przejdzie w środowisko *D* wskutek tego, że w systemie (*A*, *C*) oddziaływa stała suma sprzeczności, zmieniając stopniowo strukturę *A* w strukturę *B*. Inaczej mówiąc dla jakościowo określonego obiektu *A* w otoczeniu *C* istnieje pewien system wewnętrznych sprzeczności, które zdecydowanie doprowadzają do powstania pewnego obiektu *B* w okolicznościach *D*, charakteryzującego się nowym typem sprzeczności. Sprzeczności te warunkują istnienie nowego systemu (*C*, *D*).

Przykład: badamy przejście wody w parę przegrzaną przy stałym ciśnieniu pod wpływem doprowadzania ciepła.

A — woda,

C — temperatura niższa od temperatury wrzenia,

B — para przegrzana,

D — temperatura wyższa od temperatury nasycenia.

Uogólnienie: przejście ze stanu skupienia ciekłego do gazowego jest spowodowane rozluźnieniem więzi międzycząsteczkowych, będącym następstwem wzrostu energii kinetycznej cząsteczek wywołanego doprowadzeniem ciepła. Istotą więc sprzeczności określającą egzystencje H_2O w poszczególnych stanach skupienia jest relacja pomiędzy siłami międzycząsteczkowymi oraz siłami wynikającymi z ruchów cząsteczek, które zależą od temperatury czynnika.

PSYCHOLOGICZNE ASPEKTY EKSPERYMENTU

Niezbędnym elementem każdego eksperymentu jest obserwacja, na którą składa się zawsze szereg aktów postrzegania zmysłowego. Postrzeganie ma charakter procesu psychicznego, polegającego na odbijaniu badanego zjawiska przez umysł poznającego podmiotu. Czynnikiem pośredniczącym w tym procesie są zmysły, które absorbują poszczególne składniki bodźcowe, powstające na skutek oddziaływania postrzeganych przedmiotów na odpowiednie narządy. Oddziaływanie to nigdy nie ogranicza się do jednego izolowanego i lokalnego pobudzenia, lecz przeciwnie, zawsze jest związane z kompleksami równoczesnych i sukcesywnych pobudzeń przeważnie od razu kilku ośrodków zmysłowych. Zaabsorbowany w ten sposób surowy materiał zmysłowy zostaje w umyśle postrzegającego uzupełniony i wzbogacony, a niekiedy i przekształcony pod wpływem ubiegłych doświadczeń, które pozostawiły tam mniej lub więcej trwałe ślady pamięciowe. Tak intelektualnie przepracowane wrażenia zmysłowe tworzą przedstawienia stanowiące wspólnie z przekonaniami zasadnicze składniki wiedzy o przedmiotach.

Relacja więc między przedmiotem postrzegającym i jego przedstawieniem zależy w dużej mierze od szeregu czynników subiektywnych, a przede wszystkim od wrażliwości zmysłów oraz stanu umysłu. Zauważony przy drodze w półmroku krzew głogu może się wydać w różnych przypadkach raz rzeczywiście krzewem, a drugi raz zaczajonym złoczyńcą lub nawet upiorem.

Ten subiektywizm wrażeń zmysłowych stał się głównym źródłem powątpiewań o doskonałości wiedzy opartej na doświadczeniu. Jest to rzeczywiście newralgiczne miejsce metody doświadczalnej, będące w wielu przypadkach przyczyną błędów i skażeń. Łatwo jest jednak zapobiec temu, stosując każdorazowo zasadę wszechstronnej i wielokrotnej obserwacji przy jednoczesnej powściągliwości w wyciąganiu wniosków.

Powstawanie wrażeń można przedstawić za pomocą następującego schematu. Obserwowany obiekt emituje bodźce fizyczne, które są pochłaniane przez receptory rozmieszczone w poszczególnych organach zmysłowych. Pod wpływem tych bodźców, tak w organach, jak i w powiązanych z nimi ośrodkach nerwowych, zachodzą odpowiednie procesy fizjologiczne, które inicjują następnie powstanie procesów psychicznych, a w ich wyniku ukształtowanie się i uświadomienie sobie przez umysł wrażenia zmysłowego. Podstawową cechą zmysłów jest ich wrażliwość na działanie bodźców. Wrażliwość charakteryzują dwa progi:

— próg absolutny, określający graniczne wartości fizycznej właściwości bodźca, poniżej której (lub powyżej) spostrzeżenie znika;

— próg różnicy, będący różnicą cech fizycznych dwu bodźców, która może być już dostrzeżona przez obserwującego.

Na gruncie właściwości fizycznych można wyróżnić wrażliwość mechaniczną, termiczną, chemiczną, wzrokową i słuchową.

Z punktu widzenia obserwacji (do której należy zaliczyć oczywiście także i obserwację przyrządów pomiarowych) najważniejszą rolę odgrywa wrażliwość wzrokowa, następnie słuchowa i ewentualnie mechaniczna (m.in. dotyk).

Zależność wrażeń od podniet wykazuje pewne prawidłowości, które ujęte zostały w postaci praw psychofizycznych. Są to:

- prawo swoistej energii narządów zmysłowych;
- prawo Webera-Fechnera;
- prawa adaptacji i kontrastu.

Pierwsze z tych praw zostało sformułowane przez Johanesa Müllera. Ujmuje ono jakościową zależność między rodzajem podniety, rodzajem narządu zmysłowego, na który ta podnieta działa, oraz rodzajem wrażenia. Każdy narząd zmysłowy swoją budową jest przystosowany do reagowania na właściwą podniętę. I tak podniętą właściwą dla oka jest promień światła, dla ucha — fala głosowa, dla narządu dotyku — nacisk, dla narządu smaku — płyn, dla narządu powonienia — ciało lotne itp. Zdarza się jednak, że zjawiska różne od podniet właściwych stają się podnietami dla narządu zmysłowego, wywołując wrażenia zmysłowe jako podniety niewłaściwe.

Na przykład niewłaściwą podniętą dla ucha i dla narządu smaku jest prąd elektryczny, który w uchu wywołuje szumy, a na języku pozostawia wrażenie smaku kwaśnego. Rozróżnianie podniet właściwych i niewłaściwych prowadzi do następujących stwierdzeń:

— takie same podniety działające na różne narządy zmysłowe dają wrażenia różnego rodzaju. Podnieta mechaniczna, działająca

na różne narządy, daje wrażenie błysku, szumu, nacisku lub bólu. Podobnie prąd elektryczny wywołuje wrażenia błysku, szumu, kwasu lub drętwienia.

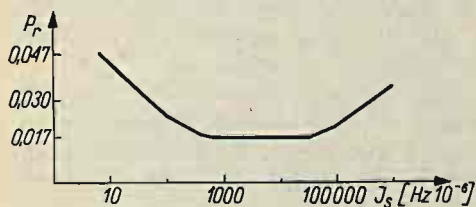
— różne podniety, właściwe i niewłaściwe, działając na taki sam narząd zmysłowy dają wrażenia tego samego rodzaju. Promień światła, nacisk lub uderzenie czy też prąd elektryczny, działając na oko, dają wrażenie wzrokowe, podnieta akustyczna lub elektryczna działająca na ucho — wrażenie słuchowe.

Przytoczone fakty można ująć w prawo o następującym brzmieniu: każdy narząd zmysłowy reaguje na różne podniety właściwym sobie rodzajem wrażenia, przy czym rodzaj wrażenia zależy od narządu zmysłowego, na który podnieta działa, nie zaś od rodzaju podniety.

Drugie z kolei prawo: Webera i Fechnera ustala ilościową zależność przyrostu intensywności wrażenia od przyrostu intensywności podniety, czyli znany z potocznego życia związek, według którego im silniejsza podnieta, tym większa też intensywność wrażenia. Prawo to można sformułować następująco: przyrost intensywności podniety wywołujący najmniejszy dostrzegalny przyrost intensywności wrażenia jest określony różnym dla różnych rodzajów wrażeń ułamkiem działającej podniety; inaczej mówiąc, próg różnicy jest proporcjonalny do siły działającej podniety.

Jednym z następstw tego prawa jest to, że jeżeli intensywność dwóch podmiotów zmienia się w jednakowym stosunku, to różnica intensywności wrażeń pozostaje niezmienną; a zatem stosunki intensywności barw i dźwięków pozostają niezmiennymi bez względu na to, czy jesteśmy bliżej, czy dalej od źródła światła lub głosu.

Jeśli światło będzie 100 razy silniejsze, różnice w oświetleniu przedmiotów będą ustokrotnie, ale różnice względne pozostaną te same: to co było odpowiednio poniżej lub powyżej progu, zachowuje tę właściwość, a więc to, co było wyraźne, pozostaje wyraźne, co było mętne, pozostaje mętne. Omawiane prawo nie



Rys. 3.1. Wartość progu różnicy P_r w zależności od intensywności światła J_s .

jest jednak bezwzględnie ściśle. Jeśli światło stanie się bardzo słabe lub oślepiające, wygląd przedmiotów się zmieni, a szczególnie przestaną być dostrzegalne. Wynika to stąd, że na dwu krańcach skali intensywności progi stają się wyższe. Zjawisko to

ilustruje np. wykres na rys. 3.1. Wykres przedstawia zależność wartości progu różnicy, wyrażonego ułamkiem dziesiętnym, od intensywności światła, na którą wpływa częstotliwość fal świetlnych. Prawo Webera-Fechnera sprawdza się tu tylko w strefie intensywności średnich, ale one właśnie ważne są w praktyce.

Następne prawa: adaptacji i kontrastu są uzupełnieniem prawa swoistej energii narządów zmysłowych. Tamto orzeka, że treść wrażenia zmysłowego nie zależy od jakości podniety, lecz od rodzaju narządu zmysłowego; prawa adaptacji i kontrastu dodają, że zależy ona nadto od stanu narządu zmysłowego, pośrednio zaś od wrażeń zmysłowych doznawanych jednocześnie lub uprzednio; podniety działające na narząd zmysłowy wpływają na jego stan i na to, jak reaguje on na inne podniety jednoczesne lub późniejsze. Zanurzymy na przykład na pewien czas jedną rękę do naczynia z wodą ciepłą, a drugą do naczynia z wodą zimną, a następnie przeniesmy ręce do trzeciego naczynia z wodą letnią; ta ostatnia wydaje się zimna dla ręki wyjętej z wody ciepłej, a ciepła dla ręki wyjętej z wody zimnej. Pochodzi to stąd, że każda ręka z osobna przystosowała się do pewnej temperatury.

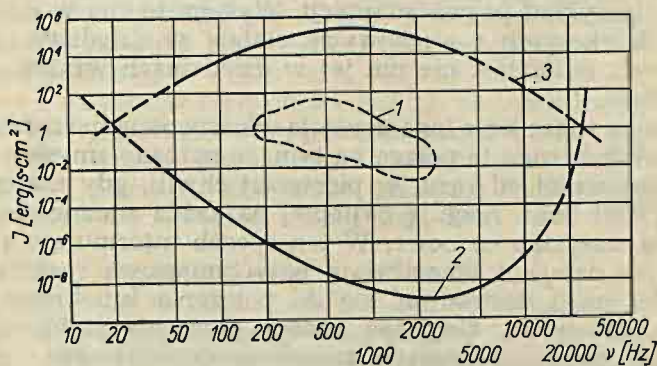
Jest to przykład prawa adaptacji. Występuje ona w dziedzinie wrażeń dotykowych i węchowych, słabiej w dziedzinie wrażeń smakowych, natomiast nie ma jej w dziedzinach wrażeń słuchowych i bólu.

Adaptacja wiąże się z inną doniosłą właściwością narządów zmysłowych. Właściwość ta polega na tym, że narządy zmysłowe działają najsprawniej od razu, w pierwszej chwili, gdy nie są zmęczone. Dzięki temu reagują najlepiej na każdą zmianę, na każdy ruch i na wszystko co nowe. W ten sposób informują o tym, co właśnie się dzieje, i umożliwiają natychmiastową reakcję organizmu, by mógł dostosować się do położenia lub bronić przed niebezpieczeństwem. Gdy zaś bodźce otoczenia stabilizują się, adaptacja pozwala narządowi zmysłowemu wypocząć i przygotować do późniejszego działania. dopełnieniem prawa adaptacji jest prawo kontrastu. Oto kilka przykładów. Gdy zmarznąętą rękę włożymy do chłodnej wody, woda wyda się ciepła, gdy do wody o tej samej temperaturze włożymy rękę nagrzaną, woda wyda się zimna. Gdy po gorzkiej soli napijemy się zwykłej wody, wyda się ona słodka, a po słodkim ciastku, herbata z cukrem — gorzka. Gdy spojrzymy w zachodzące czerwone już słońce, a następnie skierujemy wzrok na szarzące niebo, pojawiają się przed nami plamy kształtu tarczy słonecznej, zabarwione na kolor dopełniający, w tym przypadku ciemnozielony. Zjawisko to tłumaczy się obniżeniem przez adaptację wrażliwości oka na kolor

uprzednio działającej podniety, wskutek czego na neutralnym tle pojawiają się plamy o kolorze dopełniającym. Kontrastowość wzrokowa jest więc niejako psychologicznym odpowiednikiem dopełniania się kolorów.

Dalszą konsekwencją adaptacyjnych własności zmysłów jest bezwładność wrażeń, przejawiająca się w tym, że wrażenie nie osiąga od razu tego poziomu intensywności, jaki powinien odpowiadać jego przyczynie fizycznej. I odwrotnie, wrażenie może zamierać powoli, a więc trwać dłużej niż jego przyczyna. Właśnie to dłuższe trwanie wrażenia wyjaśnia na przykład, dlaczego punkt świetlny przenoszony szybko w ciemności zdaje się zostawiać za sobą świecący ślad.

Koniecznym warunkiem spostrzeżenia jest uwaga. Terminem tym oznaczamy postawę umysłu, którą charakteryzuje koncentracja na określonym fragmencie obserwowanej rzeczywistości. Działanie uwagi można porównać do działania soczewki skupiającej: zacieśnia ona zakres świadomości i skupia ją tak, iż przedmiot, na który uwaga jest skierowana, staje jak gdyby w pełnym świetle, a wszystkie inne zostają jak gdyby poza polem widzenia.



Rys. 3.2. Pole wrażliwości słuchowej człowieka w zależności od częstotliwości ν i natężenia dźwięku J :
1 — obszar zasadniczych dźwięków używanych w mowie,
2 — linia progu absolutnego, 3 — linia postrzeżeń dotykowych

W zależności od tego, czy pewne zjawiska lub przedmioty zwracają naszą uwagę, czy też odwrotnie, my naszą uwagę zwracamy na jakieś zjawisko lub przedmiot, rozróżniamy uwagę samorzutną lub dowolną.

Drogą uwagi samorzutnej spostrzegamy zjawiska wyróżniające się czy to intensywnością, czy ruchem, czy też przez to, że są

przyjemne lub nieprzyjemne. Uwaga samorzutna jest zwykle krótkotrwała i przerzuca się z przedmiotu na przedmiot.

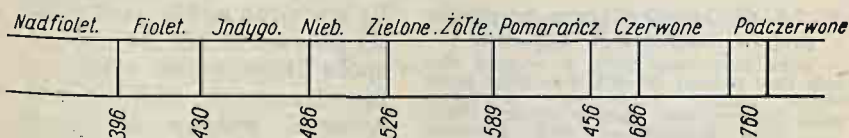
Jedynie uwaga dowolna pozwala na dłuższe, skupione utrzymywanie myśli na jednym przedmiocie i dlatego jest ona niezbędna przy wszelkiej obserwacji o charakterze naukowym. Stan uwagi znamionuje zacieśnienie zakresu życia psychicznego do zjawiska spostrzeganego; wszystko przeto, co przeciwdziała temu zacieśnieniu, przeciwdziała zarazem uwadze i postrzeganiu. Najczęstszym czynnikiem tego rodzaju jest jednoczesna wielość zdażeń, z których każde kieruje ku sobie uwagę samorzutną.

Jak już o tym była uprzednio mowa, wrażliwość zmysłów określałają dwa progi: próg absolutny oraz próg różnicy.

Próg absolutny rozdziela niejako świat na dwa obszary zjawisk: postrzeganych i niepostrzeganych (rys. 3.2 oraz 3.3). Próg różnicy natomiast określa możliwość rozeznania w przedmiotach postrzeganych.

Na przykład zdolność wzroku do rozróżnienia elementów przestrzeni charakteryzuje się trzema progami różnicy. Są to:

- próg widzenia niezróżnicowanego,
- próg widzenia rozdzielnego,
- próg rozpoznania kształtu.



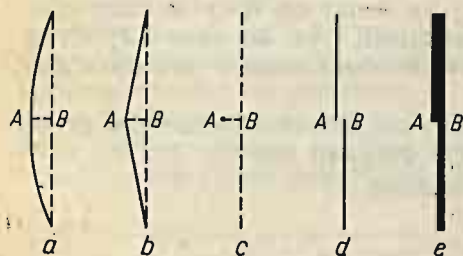
Rys. 3.3. Promieniowanie widzialne dla człowieka w widmie słonecznym. Liczby oznaczają długości fal w μ .

Próg widzenia niezróżnicowanego jest określony za pomocą kąta, pod którym obserwowany przedmiot staje się widoczny jako niezróżnicowana plama. Praktycznie zagadnienie sprowadza się tu do możliwości zauważenia punktów i linii. Jeśli badany obiekt stanowi punkt świetlny, to próg widzenia niezróżnicowanego zależy od jego jasności. Bardzo jaskrawe punkty na ciemnym tle są zauważalne już przy kątach widzenia większych od $15''$.

Ciemne obiekty na białym tle mogą być widoczne pod kątem $25''$.

Próg widzenia rozdzielnego określa najmniejszy kąt między dwoma sąsiednimi obiektami (punktami, liniami, powierzchniami, rozdzielonymi odstępem o innej jaskrawości), pod

którym te dwa obiekty są widziane niezależnie. Zależy on od wielkości, barwy, kształtu i położenia obserwowanych przedmiotów. Tak na przykład dla poziomo usytuowanych pasm próg ten ma mniejszą wartość niż dla pasm pionowych. Dla obiektów czarnych, umieszczonych na białym tle, próg widzenia rozdzielnego rośnie wraz ze wzrostem oświetlenia aż do mniej więcej odpowiadającego 200—500 lx, po czym utrzymuje się na stałym poziomie. Dla przypadków odwrotnych, to znaczy białych przedmiotów na czarnym tle, próg ten ma maksimum przy oświetleniu 5 lx, a następnie ze wzrostem światłości gwałtownie maleje.



Rys. 3.4. Charakterystyczne przykłady progów rozpoznania kształtu:

a — próg krzywizny (69°), b — próg zlamania linii prostej (5°—8°), c — próg przesunięcia punktu środkowego względem prostej łączącej dwa punkty skrajne (60°), d — próg przesunięcia linii prostych względem siebie, gdy obie linie nie stanowią przedłużenia jedna drugiej (10°—12°), e — próg przesunięcia linii prostych, gdy stanowią one granice między ciemnym i jasnym polem (7°)

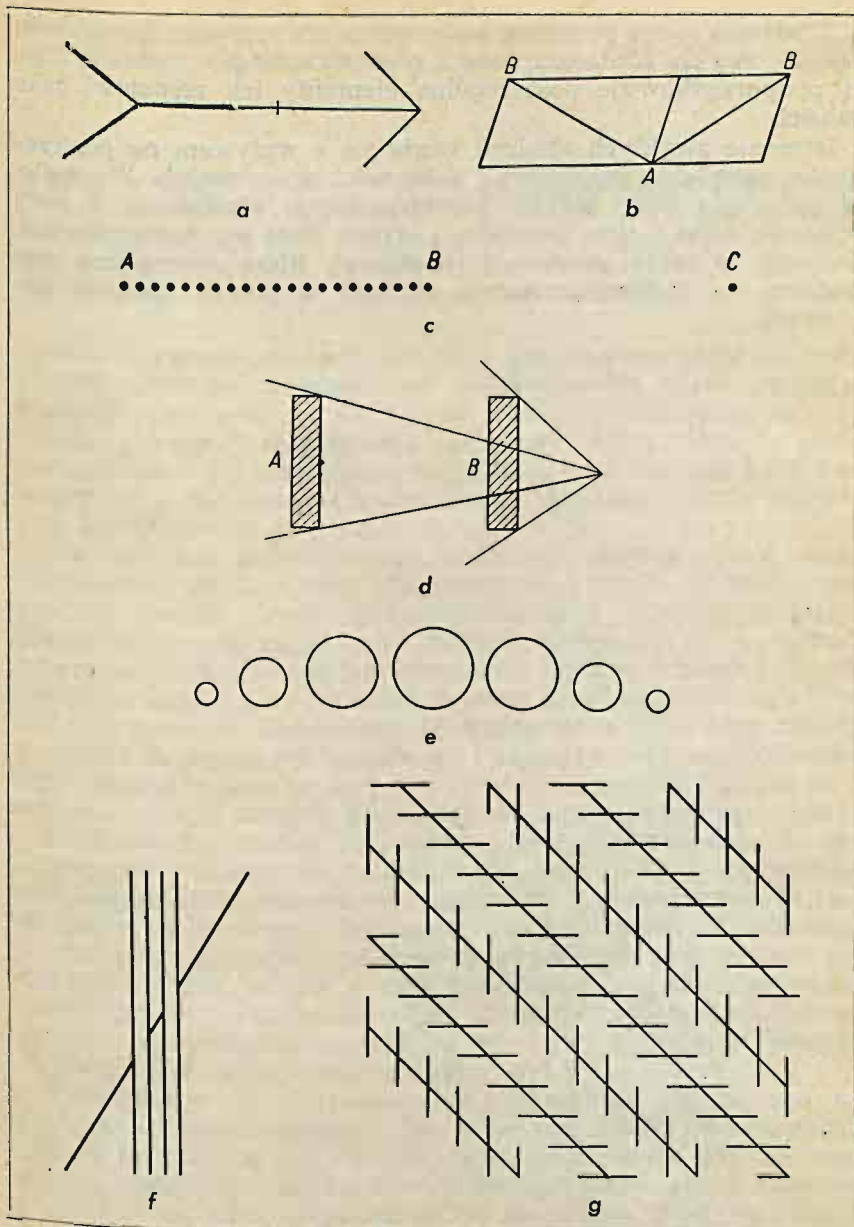
Liczby w nawiasach oznaczają doświadczalnie określone wartości progów

Miarą progu rozpoznania kształtu jest najmniejszy kąt charakteryzujący rozmiary części składowych obserwowanego obiektu, mających istotne znaczenie dla ustalenia jego formy. Wartość tego progu zależy od geometrii przedmiotu (rys. 3.4).

Z psychologicznego punktu widzenia każdy postrzegany przedmiot nie stanowi zespołu istniejących obok siebie elementów, których właściwości byłyby w sposób niezmienny określone przez podrażnienia lokalne receptorów. Jest on pewną jednostką, której każda część ma określoną funkcję. Punkt może mieć funkcję wier-

chołka, środka lub punktu przecięcia; linia natomiast — funkcję boku, podstawy, przekątnej lub osi symetrii. A więc jakaś część w jednej całości różni się od takiej samej części w innej całości, gdy nie spełnia tam tej samej funkcji. Na ogół dodanie nowych linii do jakiejś figury zmienia wszystkie jej widoczne własności geometryczne. W ten sposób zmieniają się funkcje poszczególnych elementów kształtu pierwotnego.

Na przykład na rys. 3.5a odcinki linii poziomej są równe, ale jeden wydaje się dłuższy od drugiego, gdy dorysuje się ukośne linie pomocnicze. W ten sposób powstają zjawiska złudzeń optyczno-geometrycznych (rys. 3.5).



Rys. 3.5. Przykłady złudzeń optyczno-geometrycznych

Złudzenia te nie pochodzą z zewnętrznych przyczyn fizycznych, tak jak zwykle złudzenia, lecz z plastyczności postrzeżenia, które podporządkowuje poszczególne elementy ich zespołowi jako całości.

Istnienie zwykłych złudzeń wiąże się z wpływem na postrzeganie: nawyków, przekonań i skłonności uczuciowych. We mgle, w półmroku przy szybko przebiegających zjawiskach z góry powzięta myśl o tym, co widzę i słyszę, staje się wszechwładna. Dotyczy to także obserwacji naukowej, która szczególnie jest podatna na niebezpieczeństwo złudzeń w pobliżu progów postrzeżeń.

ROZUMOWANIE I MYŚLENIE REFLEKSYJNE

Wobec każdego problemu istnienia można zająć dwie postawy intelektualne: przekonanie lub wątplenie. Na wybór rodzaju postawy wpływa szereg warunków, z których szczególne znaczenie mają warunki uczuciowe i akty woli. Wpływ woli na przekonania łączy się z wpływem czynników uczuciowych, gdyż wola przejawia się tendencją osobowości do koncentracji wszystkich jej dyspozycji psychicznych.

Aby akt woli był skuteczny, musi być poparty wiarą, musi tłumić skrupuły i wyrzec się wszelkiej krytyki. W pracy badawczej wartość naukową oczywiście mają tylko przekonania oparte na rozumowaniu, czyli zależne wyłącznie od warunków intelektualnych. Przejawiają się one w ogólnej tendencji do ujmowania wszystkich przekonań w jedną usystematyzowaną i konsekwentną całość. Kontrolują, by każda nowa myśl była zgodna z ogółem dawniejszych przekonań i skłaniają, aby spośród kilku myśli akurat się nasuwających wybrać myśl będącą logiczną konsekwencją tych, których prawdziwość już nie budzi wątpliwości.

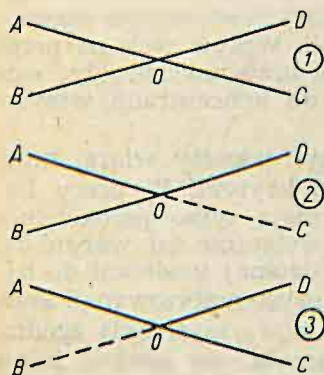
Rozumowanie można zdefiniować jako przyjmowanie za sąd prawdziwy wniosku nie na podstawie jego istotnej oczywistości lub bezpośrednio sprawdzonej zgodności z doświadczeniem, ale na podstawie stosunków logicznych z przesłankami. W badaniach naukowych prądródłem wszystkich przesłanek jest metoda indukcyjna, która, jak już o tym była mowa, wyprowadza uogólniające prawa z zaobserwowanych szczegółowych faktów. Zasady formowania wniosków zależą od przyjętej metody, z których najważniejsze są dwie następujące.

Rozumowanie przez analogię. Polega ono na dobieraniu współnastępstw do wspólnej racji. Oto przykład: „Sosna zatrzymuje igły na zimę, jodła zatrzymuje igły na zimę, świerk zatrzymuje igły na zimę, więc zapewne i jałowiec zatrzymuje igły na zimę, gdyż też należy do roślin iglastych”. Racją w tym rozumowaniu jest istotna cecha będąca podstawą podobieństwa (igły zamiast liści) oraz przyczyna oczekiwanego przez

nas skutku (zatrzymywania igieł na zimę). Te dwa czynniki nie zawsze się pokrywają. Gdybyśmy w naszym rozumowaniu zamiast „jałowca” podstawili „modrzew”, wniosek byłby fałszywy. I to jest głównym źródłem błędów w rozumowaniu przez analogię. Ma ono jednak, podobnie jak indukcja niewyczerpująca, ogromne walory inwencyjne, stając się nieraz czynnikiem inspirowującym wiele nowych i cennych pomysłów.

Rozumowanie dedukcyjne. Stanowi ono ściśle sformalizowaną metodę wnioskowania (dobieranie następstw o nieznaney dotąd wartości logicznej do racji, znanej jako prawda) i dowodzenia (dobieranie racji znanej jako prawdziwa do danego następstwa, którego wartości logicznej jeszcze nie znamy).

Warunkiem rozumowania dedukcyjnego jest przekształcanie przedstawień. Np. udowodnienie twierdzenia, że dwa kąty wierzchołkowe są sobie równe (rys. 4.1), polega na spostrzeżeniu kąta AOD lub COD do 180° , to znaczy że w figurze 1 należy odnaleźć figurę 2 i 3. Najpierw BD służy za podstawę figury, a odcinek AO odchodzi od niej, natomiast odcinek CO jest zneutralizowany; następnie AC staje się podstawą, a odcinek OD jest tym, który dzieli kąt 180° . Części figury zmieniają więc swe funkcje, a czasami w przypadkach bardziej skomplikowanych, nawet i wygląd.



Rys. 4.1. Przykład rozumowania dedukcyjnego

To samo zjawisko zachodzi w każdym rozumowaniu. W przykładzie sylogizmu: „Wszyscy ludzie są śmiertelni, Sokrates jest człowiekiem, Sokrates jest śmiertelny”, przedstawienie Sokratesa zmienia się, gdy widzimy go raz jako mędrca, którego myśli ujęte w formie platońskich dialogów przetrwały wieki, a drugi raz jako człowieka takiego, jak wszyscy, a więc takiego, który podlega prawu śmierci i musi umrzeć.

Rozumowanie naukowe opiera się na dwóch istotnych zasadach: niesprzeczności i przyczynowości.

Zasada niesprzeczności wymaga, aby myśli były ze sobą zgodne i konsekwentne; nie pozwala ona na przeczenie sobie samemu, to znaczy nie pozwala przypisywać i równocześnie odmawiać jakiemuś przedmiotowi dowolnej, ale tej samej cechy.

Zasada przyczynowości opiera się na stwierdzeniu, że wszystkie fakty podlegają prawom, czyli że każdy fakt jest całkowicie zdeterminowany przez swe przyczyny, przy czym te same przyczyny wywołują zawsze te same skutki.

W warunkach wyidealizowanych z zasad tych wynikałyby następujące wnioski:

— jeśli stwierdzą niezgodność u kilku obserwatorów, to na podstawie zasady niesprzeczności mogą przypuszczać, że obserwowali oni różne przedmioty;

— jeśli w warunkach, które uważam za identyczne, obserwuję raz *A*, a raz *B*, mogę wnioskować na podstawie zasady przyczynowości, że w obu przypadkach bez mojej wiedzy działały różne czynniki.

Niestety, wnioski te nie zawsze są słuszne, gdyż często przyczyną niezgodności są błędy obserwacji.

Przyswojenie sobie tych podstawowych zasad myślenia logicznego wymaga pewnej dojrzałości umysłowej. Umysł dziecka i umysł człowieka pierwotnego jest w wielu przypadkach prelogiczny. Obydwie te umysłowości wysuwają w postrzegającym przedmiocie lub zjawisku na pierwszy plan niedostrzegalne zmysłami pewne właściwości mistyczne, jakieś tajemne siły czy tajemne mistyczne powiązania jednych faktów z innymi. Ten pierwotny sposób myślenia znajdował nieraz wyraz w poglądach nawet wielu uczonych. Jeszcze w XVI w. Kepler przyjmował, że planety są posłuszne prawom, gdyż anioł kieruje ich biegiem. Wynikało to stąd, że Kepler nie umiał oddzielić pojęcia prawa od pojęcia umysłu, który zna prawo i czuwa nad jego realizacją. I dziś analizując na przykład zaistniałe wypadki niejeden posiadający nawet średnie wykształcenie inspektor BHP doszukuje się ich przyczyn przede wszystkim w sferze niezrozumiałych dla niego zjawisk takich, jak „prądy błędzące” lub „drgania samowzbudne”.

Myślenie logiczne wyrosło na gruncie działalności praktycznej. Rozwiązywanie nawet najprostszych problemów technicznych wymaga myślenia zdyscyplinowanego i poddanego kontroli. Gdy idzie o zaspokajanie potrzeb bieżących, każdy człowiek (nawet człowiek pierwotny i nawet dziecko) staje się realistą: potrafi obserwować i odkrywać przyczynowość fizyczną. Szybko dochodzi też do wniosku, że w życiu praktycznym ważne są nie fantastyczne pomysły, lecz rzeczywiste i powtarzalne związki między faktami.

W ten sposób w umyśle ludzkim powstała tendencja do tworzenia stałych przedmiotów poznania oraz stałych stosunków między tymi przedmiotami.

Można wyróżnić niejako trzy szczeble wiedzy ludzkiej opartej na tej zasadzie:

— *szczebel spostrzeżeń*, które ustalają kształt, barwę czy wielkość pewnych przedmiotów, co pozwala później rozpoznać je wśród innych oraz dostrzec zmiany w ich na przykład położeniu;

— *szczebel pojęć ogólnych*, na którym widoczną ogólną zmianę przedmiotu spostrzeganego ujmuje się jako przemieszczenie części, które same w sobie są niezmiennie. W zmianach wyglądu jakiegoś ciała, zniekształconego lub podzielonego, stwierdza się więc np. stałość masy, objętości, ciężaru lub liczby składników;

— *szczebel pojęć ściśle naukowych*, które otrzymuje się drogą abstrakcji z danych bezpośredniego doświadczenia. Są to np. takie właściwości, jak prędkość, przyspieszenie, ciśnienie czy temperatura. Właściwości te stają się elementami nowych stałych stosunków, wyrażonych określonymi prawami eksperymentalnymi.

Z tych trzech rodzajów stałości przedmiotów pierwszy jest dany już w samym zjawisku i nie wymaga namysłu. Trzeci natomiast występuje dopiero po namyśle, gdyż opiera się na doświadczeniu opracowanym przez rozum.

Drugą tendencją, która ukształtowała się w umyśle pod wpływem praktyki dnia codziennego, jest chęć uogólniania. To, że ogień można otrzymać przez pocieranie drzewa w pewien sposób, jest wiedzą zdobytą na drodze uogólnienia z wielu poszczególnych faktów. Poprawne uogólnianie musi być oparte na odkryciu istotnego czynnika. To co nieistotne, a więc w przypadku wzniesienia ognia w najpierwotniejszy sposób, kształt czy wielkość kawałka drewna, nie wchodzi w skład uogólnienia. Natomiast to, co istotne, na przykład jego stopień suchości, powinno się w nim zawierać. Oddzielenie czynników istotnych od nieistotnych jest więc równoznaczne z początkiem wiedzy, której dalszy krok w drodze do powstania nauki stanowi uogólnienie.

Inną ważną z punktu widzenia pracy badawczej tendencją umysłu jest jego dążenie do pewności. Właśnie ideał zupełnego zmatematyzowania wszelkiej wiedzy, ideał nauk przyrodniczych stworzony na wzór i podobieństwo geometrii i arytmetyki wyrasta z tęsknoty za znalezieniem zupełnie pewnych praw natury. Bezwzględna odtwarzalność prawidłowo przeprowadzonych eksperymentów w warunkach zabezpieczających je przed interwencją nieznanymi czynników zewnętrznych utwierdziła ludzi w przekonaniu o istnieniu takich praw. Wpłynęło na to także w dużym stopniu wychowanie społeczne, w którym zawsze chętnie posługiwano się sędami apodyktycznymi.

Ostatnią interesującą eksperymentatora skłonnością umysłu jest chęć porządkowania. Prowadzi ona do klasyfikacji przedmiotów i zjawisk, a więc do ustalenia podobieństwa między obserwowanym przedmiotem i innymi znanymi z poprzednich doświadczeń. Wszystkie wymienione tendencje zmuszają do uproszczeń, które w pewnych przypadkach mogą być źródłem poważnych błędów. Szczególnie ostrożnym należy być przy uogólnianiu wyników własnych eksperymentów. Uogólnianie w takim przypadku jest pewną formą tłumaczenia. Przez tłumaczenie bowiem danego faktu rozumiemy podciąganie go pod jakieś prawo ogólne. Naukowe tłumaczenie wymaga jednak bogatych obserwacji i krytycznej myśli; im większe uogólnienie pragniemy osiągnąć, tym więcej musimy zebrać materiału obserwacyjnego i tym krytyczniej do niego podchodzić. Na niebezpieczeństwo umysł ludzki skłonny jest do formułowania sądów nawet wtedy, gdy nie posiada środków do znalezienia odpowiedzi rzeczywiście poprawnej. Kiedy naukowe tłumaczenie zawodzi dlatego, że stan wiedzy jest jeszcze niedostateczny, by móc wyciągnąć prawidłowe wnioski ogólne, jego miejsce zajmuje wyobrażenia dostarczając pseudotłumaczenia. Takie pseudotłumaczenie nawet najbardziej fantastyczne znajduje często posłuch szczególnie wtedy, gdy zaspokaja któreś z ogólnych pragnień psychicznych. Szczególnie niebezpieczne są tłumaczenia za pomocą powierzchownych analogii często o charakterze antropomorficznym, gdyż one najłatwiej trafiają do przekonania umysłem pozbawionym krytycyzmu.

Drugim częstym źródłem błędów jest poszukiwanie pewności. Ale pewność na gruncie naukowym jest rzadko osiągalna. Istnieje tylko kilka prostych praw fizycznych, które obowiązują bez wyjątków. Obok nich występuje natomiast wiele praw mających wyjątki, a wyjątków tych jest tym więcej, im prawo jest ogólniej sformułowane. Psychologowie tłumaczą poszukiwanie pewności chęcią powrotu do czasów dzieciństwa, wolnych od wątpliwości i charakteryzujących się zaufaniem do wiedzy starszych.

Z tej tendencji umysłu zrodziło się właśnie rozumowanie dedukcyjne. Ale wiemy już, że jest ono o tyle tylko pewne, o ile pewne są przesłanki. Warto go jednak przyswoić sobie, aby przynajmniej we wnioskowaniu i tłumaczeniu nie popełniać błędów formalnych.

Również dążenie do porządkowania jest przyczyną poważnych błędów w rozumowaniu. „Rozum ludzki — pisze Franciszek Bacon* — ma tę właściwość, że skłonny jest przyjmować większy

* Bacon: *Novum Organum*, PWN, Warszawa 1955, str. 69.

porządek i większą prawidłowość w świecie niż naprawdę znajduje i jakkolwiek w przyrodzie istnieje wiele rzeczy jedynych w swoim rodzaju i całkiem od siebie różnych, to jednak rozum wymyśla między nimi paralele, odpowiedniości i stosunki, które w rzeczywistości nie istnieją. Stąd owe fikcje, że wszystkie ciała niebieskie poruszają się po doskonałych kołach... Przyjęło się także dowolnie, że tzw. elementy* pozostają do siebie pod względem gęstości w stosunku dziesięć do jednego i inne tego rodzaju mrzonki. Ta fantastyczność panuje nie tylko w poglądach, lecz także w prostych pojęciach."

Myślenie jest procesem, który towarzyszy każdemu działaniu. Czynnikiem inspirującym jego powstanie jest zawsze jakaś trudność lub jakiś stan niepewności. Następnie, jeśli myślenie jest świadome, zjawia się koncepcja rozwiązania. Dopiero wtedy dochodzi do głosu rozumowanie orzekające, czy pomysł należy odrzucić, czy przyjąć. Jeśli pomysł zostanie odrzucony, wraca się do poprzedniego stadium i proces powtarza się. A więc myślenie twórcze jest procesem typu „prób i błędów”. Składa się na nie szereg domysłów lub hipotez, które są kolejno poddawane badaniu. Źródłem tych domysłów są zawsze minione doświadczenia i poprzednio nabyte wiadomości. Takie refleksyjne myślenie wymaga pewnego wysiłku, gdyż wiąże się z koniecznością przewyciężenia bezwładu umysłu, który skłania się do przyjęcia myśli na podstawie ich wartości powierzchownej.

W metodzie eksperymentalnej myślenie ma szczególne znaczenie w fazie wyciągania wniosków z doświadczenia. Jego doniosłość polega przede wszystkim na tym, że dane czy stwierdzone fakty nasuwają w czasie jego trwania na myśl inne fakty, które nie są bezpośrednio dane. W ten sposób przesłanki wyjściowe zostają niejako wzbogacone o nowe przesłanki, dzięki czemu zwiększa się zakres możliwości wyciągania wniosków. Ten proces, prowadzący od tego, co jest dane, do tego, czego jeszcze nie ma, bardzo łatwo podlega błędowi, wpłynąć nań może bowiem całe mnóstwo przyczyn niedostrzeżonych lub nieuwzględnionych, jak minione doświadczenia, osobisty interes, lenistwo umysłowe, otoczenie przepełnione przestarzałymi tradycjami itp.

Zasadniczą cechą produktywnego myślenia jest niewyciąganie pochopnych wniosków bez dostatecznych danych, do czego zawsze skłonny jest nowicjusz. Trzeba wziąć pod uwagę wszystkie nasuwające się pomysły. Jednak świadome tworzenie pomysłów i kierowanie ich powstaniem jest, niestety, niemożliwe. Wszystko co można zrobić świadomie, to przygotować nasz umysł, celowo

* To jest ziemia, woda, powietrze i ogień.

skierować uwagę na pewien problem, skupić się na nim i wszechstronnie oceniać wartość i przydatność różnych przypuszczeń. Przy wszystkich takich samych warunkach, im większy posiadamy zasób wiedzy, tym większe mamy szanse wartościowych skojarzeń. Nowe i świeże skojarzenia łatwiej też powstają z różnorodnych zasobów pamięci niż ze zbioru wiadomości obejmującego jedną dziedzinę. Uczni, którzy dokonali ważnych i oryginalnych odkryć, z reguły wykazywali szerokie zainteresowania i studiowali zagadnienia nie związane z ich specjalnością.

Z psychologicznego punktu widzenia myślenie jest procesem, w którym uzewnętrznia się wzajemne oddziaływanie intelektu i badanego przedmiotu lub zjawiska. Wytworem tego procesu są pojęcia i wiadomości, które włączają się natychmiast w jego tok, wzbogacając go i warunkując dalszy jego przebieg. W przebiegu tym można wyróżnić dwa zasadnicze składniki: analizowanie i syntetyzowanie oraz ich pochodne: abstrahowanie i uogólnianie.

Analiza i synteza nie są jakąś wyłączną właściwością myślenia. Występują one również w innej formie poznania, a mianowicie w poznaniu zmysłowym. Dlatego w nich właśnie uzewnętrznia się głównie jedność procesu poznawczego.

W myśleniu refleksyjnym analiza i synteza są wzajemnie powiązane i uwarunkowane. Prawidłowa analiza jakiejkolwiek całości jest zawsze analizą nie tylko jej elementów składowych, lecz również związków lub stosunków między nimi. Ustalenie tych związków wyodrębnionych przez analizę dokonuje się właśnie za pomocą syntezy.

Ten rodzaj analizy związanej z syntezą odgrywa bardzo istotną rolę w myśleniu teoretycznym, którego zadaniem jest odkrywanie nowych jakości przedmiotów i ujmowanie ich za pomocą nowych pojęć. Analiza przedmiotu czy zjawiska zawsze zakłada istnienie syntezy, ponieważ realizuje się dzięki zestawieniu badanego obiektu z innym. Synteza zaś zakłada istnienie analizy, ponieważ w nowy sposób zestawia elementy wyodrębnione w jej przebiegu.

Jedność syntezy i analizy uwidacznia się plastycznie w trakcie rozpatrywania procesu porównywania. Porównanie zaczyna się od zestawienia zjawisk, a więc od aktu syntetycznego. Za pośrednictwem tego aktu urzeczywistnia się analiza porównywanych zjawisk, a mianowicie wyodrębnienie zarówno ich cech wspólnych, jak i różnych. To, co w rezultacie analizy okazało się wspólne, samo z kolei jednoczy uogólniane zjawiska. Porównywanie jest więc analizą, która dokonuje się poprzez syntezę i prowadzi do uogólnienia, czyli do nowej syntezy.

Początkowo analiza obejmuje całe pole sytuacji problemowej. W miarę jednak jej rozwoju poszczególne aspekty problemu, które w toku analizy okazują się nieistotne dla rozwiązania zagadnienia, wyłączają się i odpadają jeden za drugim. W rezultacie analiza koncentruje się na coraz węższym obszarze, który coraz ściślej wiąże się z danym problemem. W ten sposób koncentracja procesu analitycznego doprowadza do uchwycenia istotnych elementów zagadnienia.

Poznawcze znaczenie analizy wiąże się z tym, że wyróżnia ona i wyodrębnia cechy istotne. Dokonuje się to początkowo dzięki temu, że w postrzeganiu otaczającej nas rzeczywistości na pierwszy plan wybijają się przede wszystkim te cechy, które oddziałują poprzez silne bodźce, lub te, o których znaczeniu poucza doświadczenie. Pobudzenie wywołane działaniem tych bodźców hamuje, zgodnie z prawem ujemnej indukcji, wpływ pozostałych bodźców. Wskutek tego następuje wyróżnienie w postrzeganiu pewnych cech spośród innych, nieodróżnicowanych.

W ten sposób podana we wrażeniu zmysłowym całość zostaje rozcłonkowana, a z jej rozlicznych i pogmatwanych elementów wyodrębnia się poprzez analizę interesujące nas zjawisko w czystej postaci, oddzielone od ubocznych, nieraz przypadkowych i obcych zjawisk, maskujących jego naturę, jednak pozostawione w kontekście istotnych dla niego prawidłowości. W tym przypadku analizowanie staje się abstrahowaniem, które jest specyficzną postacią procesu analizowania, niezbędną przy przejściu do myślenia pojęciowego.

Analityczny charakter abstrakcji naukowej polega na tym, że oddziela ona rzeczy istotne od mało ważnych i w ten sposób z postrzeganej, nieuporządkowanej i pogmatwanej konkretnej rzeczywistości tworzy przejrzysty model.

Proces abstrakcji odbywa się na dwu poziomach: na poziomie poznania zmysłowego oraz poziomie myślenia oderwanego. Pierwsza elementarna forma abstrakcji nie ujawnia żadnych nowych, nie danych w doznaniach zmysłowych cech przedmiotu. Jej pozytywna funkcja poznawcza polega na modelowaniu tego, co się poznaje zmysłowo, zgodnie z potrzebami działania praktycznego. Element abstrakcji występuje już w każdym odruchu. Odruch bowiem jest reakcją na konkretny bodziec, przy czym reakcja ta jest względnie niezależna od innych, równocześnie działających bodźców.

Abstrakcja charakterystyczna dla myślenia oderwanego wyróżnia się tym, że chociaż wywodzi się z danych zmysłowych, to jednak wykracza poza ich obręb. Odrywając się od ubocznych przypadkowych okoliczności, które maskują istotne cechy zja-

wiska, abstrakcja ukazuje te cechy w czystej wyidealizowanej postaci. Taka abstrakcja nie polega na zwykłym wyborze pewnych cech zjawiska spośród tych, które są bezpośrednio dane, lecz jest również przekształceniem tych cech w sensie uwyrażnienia i uwydatnienia najbardziej charakterystycznych ich elementów.

Dlatego mówi się, że proces abstrakcji, który rozwinął się w nowoczesnym przyrodoznawstwie, przenika poza zjawiskową stronę rzeczy i że odkrywa istotę rzeczy. W ten sposób abstrakcja naukowa staje się szczególnie na drodze do myślowej rekonstrukcji konkretnego. Przez konkretny rozumiemy nieskończone bogactwo własności i stosunków, które charakteryzują najmniejszy nawet wycinek rzeczywistości.

Ta konkretność świata obiektywnego jest absolutna, toteż tylko nieskończona ilość pojęć, określeń pojęciowych i praw mogłaby wyczerpać bogactwo stosunków i właściwości, jakie w nim występują. Człowiek nie może uchwycić tej absolutnej konkretności przyrody od razu. Odkrywa on stopniowo poszczególne zjawiska i procesy, ujawnia ich właściwości; rozpoznaje poszczególne stosunki i w ten sposób krok po kroku zbliża się do pełnego poznania.

Podobnie jak w abstrakcji, rozróżniamy wśród uogólnień dwie ich postacie: empiryczne uogólnienie elementarne oraz uogólnienie, do którego wznosi się myślenie teoretyczne w wyniku poznania prawidłowości występujących w badanym zjawisku.

Pierwszy typ uogólnienia: empiryczne można wyrazić za pomocą prostego schematu. Jeśli mamy zjawiska p_1, p_2, p_3 i p_4 , to możemy pojęcie ogólne uzyskać w ten sposób, że porównujemy cechy tych zjawisk, koncentrujemy uwagę na cechach wspólnych, a abstrahujemy od cech, które różnią poszczególne zjawiska. Zakładamy, że zjawisko:

p_1 ma cechy a, b_1, c_1, d_1
 p_2 ma cechy a, b_2, c_2, d_2
 p_3 ma cechy a, b_3, c_3, d_3
 p_4 ma cechy a, b_4, c_4, d_4

Jeśli zjawiska p_1, p_2, p_3, p_4 tworzą klasę p , to tę klasę można ująć w pojęciu, które zawiera cechę a .

W ten sposób powstałe uogólnienie charakteryzuje się następującymi trzema niedostatkami:

— nie gwarantuje, że wyróżniona cecha wspólna jest równocześnie istotna dla badanych zjawisk;

— nie może doprowadzić do odkrycia czegoś innego poza tym, co dane jest bezpośrednio w postrzeganiu zmysłowym,

— nie prowadzi do poznania teoretycznego, to jest nie stwarza możliwości sformułowania ścisłych praw, które charakteryzują każdą naukę.

Do uogólnienia drugiego rodzaju, uogólnienia niejako wyższego rzędu, prowadzi droga poprzez analizę i abstrakcję, to jest poprzez wydzielenie z badanego zjawiska cech istotnych w ich prawidłowych związkach. Uogólnienia te dokonują się w końcowym procesie badania, a więc podczas wnioskowania. Stanowią one niezbędną przesłankę poznania teoretycznego. Poznanie takie zawsze bowiem zakłada istnienie uogólnienia, gdyż rozwiązać problem teoretycznie znaczy nie tylko rozwiązać go dla danego szczególnego przypadku, lecz również dla wszystkich przypadków jednorodnych. Ten proces ekstrapolacji bezpośrednich wyników doświadczeń na zjawiska uważane za podobne z punktu widzenia cech istotnych jest zawsze związany z możliwością popełnienia błędów. Błąd będzie wynikał z niewłaściwej oceny podobieństwa zjawisk lub zakresu działania wykrytych i uogólnionych zależności.

Oprócz merytorycznych źródeł błędów mogą istnieć błędy wynikające z formalnych niedociągnięć rozumowania.

Błędne oczywiście będzie rozumowanie typu:

 ręka dotyka pióra,
 pióro dotyka papieru, a więc
 ręka dotyka papieru.

Podobny charakter mieć też będzie wniosek uczonego w następującej znanej anegdocie:

Uczony przeprowadza doświadczenie z tresowaną pchełką. Kładzie ją na lewej dłoni, mówi „hop”, i pchełka skacze mu na dłoń prawą. Doświadczenie powtarza trzykrotnie, aby zgodnie z zasadami prawidłowo przeprowadzonego eksperymentu odeprzeć ewentualny zarzut przypadkowości wyników. Następnie bierze pincetę, wyrывa pchełce nogi i w tych nowych warunkach powtarza próbę. Mówi „hop”, lecz pchełka pozostaje na dłoni. Uśmiech zadowolenia przewija się na twarzy uczonego. Powtarza jeszcze bez rezultatu dwukrotnie swoje „hop” i zaraz potem zasiada do biurka, wyjmując dziennik prób i na gorąco zapisuje: „Jeśli pchełce wyrwiemy nogi, to wtedy pchełka traci słuch”.

Aby myśleć poprawnie i uniknąć oczywiście sprzeczności wewnętrznej, należy kierować się w rozumowaniu czterema następującymi podstawowymi prawami logiki:

- tożsamości,
- sprzeczności,
- wyłączonego środka,
- racji dostatecznej.

Prawo tożsamości orzeka oczywistą prawdę, że to, co jest: jest. Jest ono odbiciem faktu, że określone zjawiska w pewnych warunkach mogą być uznane za identyczne oraz że to samo zjawisko lub ten sam przedmiot mogą istnieć przez jakiś okres czasu w postaci względnie niezmiennej, w ciągu którego w rozumowaniach należy przywiązywać im tę samą treść. Naruszenie tego prawa polega głównie na uznaniu tych samych myśli za różne tylko z tego powodu, że wyrażono je za pomocą niepokrywających się terminów przyjętych mylnie za synonimy.

Prawo sprzeczności stwierdza, że żadna rzecz nie może być i nie być zarazem. Inaczej mówiąc, dwie sprzeczne myśli o tym samym fakcie nie mogą być jednocześnie i pod tym samym względem prawdziwe i fałszywe. Jedna z nich musi być fałszywa, a druga prawdziwa. Okno, które zostało otworzone, może zostać zamknięte, lecz niemożliwe jest, aby okno było równocześnie otwarte i zamknięte.

Wszelkie zdania i wnioski, w których zestawione są cechy zgodne, trzeba uważać za prawdziwe. Jeśli żelazo jest metalem, a każdy metal przewodnikiem ciepła, należy przyjąć za prawdę, że żelazo jest przewodnikiem ciepła.

Prawo wyłączonego środka utrzymuje, że dwa sądy, z których jeden coś stwierdza o danym przedmiocie lub zjawisku, a drugi temu zaprzecza, nie mogą być oba fałszywe. Jeden z sądów musi być fałszywy, a drugi prawdziwy. Inaczej mówiąc, każda rzecz musi być albo nie być. Czyli, jeśli pomyślimy sobie jakąś rzecz i jakąś cechę, to ta cecha musi albo przynależeć, albo nie przynależeć do danej rzeczy. Prawo to nie jest bezpośrednio tak oczywiste jak dwa poprzednie. Mógłby ktoś powiedzieć, że woda nie zawsze jest gorąca lub zimna, że przecież może być ona jeszcze letnia albo ciepła. Ten zarzut prowadzi do rozróżnienia, które ma wielkie znaczenie logiczne i którego przecoczenie często jest źródłem błędów. Prawo wyłączonego środka nie mówi nic bowiem o orzeczeniach „gorący” i „zimny”, lecz odnosi się tylko do terminów „gorący” i „niegorący”. Jeśli się więc termin „niegorący” zastąpi terminem „zimny”, to się popełni błąd.

Prawo wyłączonego środka wymaga w każdym zagadnieniu zajęcia zasadniczego stanowiska. Za każdym razem, gdy między stwierdzeniem a zaprzeczeniem czegokolwiek nie ma sądu pośredniego, wtedy należy usunąć niejasność i ustalić, które twierdzenie jest prawdziwe, a które fałszywe.

Prawo racji dostatecznej można sformułować następująco: żaden fakt nie stanie się bez racji, dla której ma się stać właśnie on, a nie co innego.

Tak na przykład, jeżeli dwie szale, zupełnie jednakowe pod każdym względem, zawiesimy na wadze i jednakowo obciążymy, to waga musi pozostać bez ruchu i w równowadze, ponieważ nie ma żadnej racji, dla której jej stan równowagi mógłby zostać naruszony.

Z tego prawa wynika, że aby można było uznać jakieś twierdzenie za w pełni uzasadnione, trzeba koniecznie mieć dostateczne podstawy, na mocy których można uważać to twierdzenie za prawdziwe. Konieczność uzasadniania twierdzeń jest konsekwencją najistotniejszej właściwości wszystkich zjawisk występujących w przyrodzie, że są one przygotowane istnieniem zjawisk poprzedzających. Tak jak zjawiska w przyrodzie, tak myśli w rozumowaniu muszą być ze sobą powiązane, jedna z drugiej musi wynikać i jedna drugą uzasadniać. Aby udowodnić wysunięte twierdzenie, należy przedstawić odpowiednie racje. Racje te stanowią pewien związek prawd.

Twierdzenie jest uzasadnione w stopniu dostatecznym, gdy poza przedstawionymi racjami niczego już więcej nie potrzeba. Twierdzenia, których nie uznano ani za na pewno prawdziwe, ani na pewno fałszywe, powinno się uważać za prawdopodobnie prawdziwe lub prawdopodobnie fałszywe. Twierdzeniami prawdopodobnie prawdziwymi można się posługiwać jako prawdopodobnymi hipotezami lub roboczymi uogólnieniami.

Zaznaczający się w ostatnich latach eksplozywny rozwój cybernetyki stworzył podstawy do zastąpienia w poważnym stopniu pracy umysłowej człowieka pracą maszyn. Początkowo maszyny mogły dokonywać jedynie najprostszego aktu myślenia, jakim jest liczenie. Obecnie szersze zastosowanie znalazły także maszyny zdolne do rozwiązywania zadań logicznych. Konstrukcja ich jest podobna do konstrukcji cyfrowych maszyn liczących. Ta zbieżność wynika z analogii między logiką i matematyką, na podstawie której zbudowano aparat logiczny, traktujący myśli podobnie jak w matematyce traktuje się symbole algebraiczne. Posługując się taką symboliką, można trzy podstawowe operacje logiczne „i”, „lub”, „nie”, czyli koniunkcję („wczoraj był mróz i wczoraj padał śnieg”), alternatywę („latem wyjedziemy nad morze lub w górę”) i negację („nieprawda, że on zdał egzamin”) zastąpić odpowiednimi działaniami algebraicznymi: koniunkcję — mnożeniem, alternatywę natomiast dodawaniem (negacja nie ma odpowiednika).

Jeśli teraz potrafimy wyrazić prawdę i fałsz w języku zrozumiałym dla maszyny matematycznej (czyli w języku cyfr), to stanie się ona maszyną logiczną. Jest to dość łatwe, gdy maszyna operuje dwójkowym systemem liczbowym zawierającym cyfry

0 i 1. Wtedy oznaczając prawdę przez 1, a fałsz przez 0 można jednoznacznie określić wyniki operacji logicznych. Podobnie bowiem jak wartość sumy i iloczynu zależy od wartości ich składników i czynników, tak samo prawdziwość zdań złożonych — alternatywy i koniunkcji — zależy od prawdziwości zdań wyjściowych.

Pamiętając, że dodawanie i mnożenie liczb zapisanych w systemie dwójkowym dokonuje się według następujących reguł: $0 + 0 = 0$; $0 + 1 = 1$; $1 + 0 = 1$; $1 + 1 = 10$; $0 \cdot 0 = 0$; $0 \cdot 1 = 0$; $1 \cdot 0 = 0$ i $1 \cdot 1 = 1$, można łatwo proces rozumowania zastąpić rachunkiem.

Przykład 1. Zdania wyjściowe:

Kolumb odkrył Amerykę (prawda — 1),

Kolumb znalazł drogę do Indii (fałsz — 0).

Alternatywa:

Kolumb odkrył Amerykę lub odkrył drogę do Indii.

Analogonem alternatywy jest dodawanie

$$1 + 0 = 1$$

Wniosek:

Alternatywa jest prawdziwa.

Przykład 2. Zdanie wyjściowe:

Liczba π jest wymierna (fałsz — 0).

Liczba π jest zawarta między 3 i 4 (prawda — 1).

Koniunkcja:

Liczba π jest wymierna i jest zawarta między 3 i 4.

Analogonem koniunkcji jest mnożenie

$$0 \cdot 1 = 0$$

Wniosek:

Koniunkcja jest fałszywa.

Ponieważ maszyna matematyczna wykonuje poszczególne operacje bardzo szybko (20 tysięcy operacji na sekundę i więcej), może więc z powodzeniem zastąpić człowieka w rozwiązywaniu żmudnych zadań logicznych.

Oto klasyczny już dziś przykład, niemożliwy prawie do rozwiązania bez pomocy maszyny logicznej:

„Wiadomo, że inżynierowie mówią zawsze prawdę, a handlowcy kłamią. G i F są inżynierami. C oświadcza, że D jest handlowcem. A natomiast, że B twierdzi, że C oświadcza, że D mówi, że E upiera się, że F neguje, że G jest inżynierem. Jeśli A jest handlowcem, to ilu inżynierów mamy w tej grupie osób”.

Praktyczne zastosowanie znalazły maszyny logiczne m.in. jako integralne zespoły zestawów kontrolnych, służących do automatycznego wykrywania usterek w skomplikowanych urządzeniach technicznych, takich jak samoloty czy pociski kierowane.

ELEMENTY METODY EKSPERYMENTALNEJ

Ostatecznym celem nauki poza przewidywaniem jest tworzenie rzeczy użytkowych. W realizacji tego celu metoda eksperymentalna odgrywa rolę istotną. Nowe lekarstwa, nowe metody nauczania, nowe odmiany roślin czy nowe urządzenia techniczne są jej wytworem. Każdy taki wytwór, zanim dostanie się do rąk konsumenta, przechodzi, ogólnie biorąc, trzy rodzaje badań eksperymentalnych. Są to:

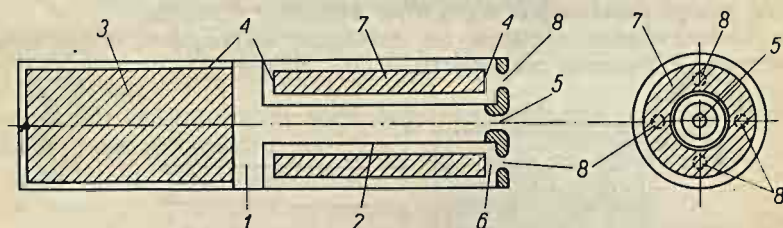
- badania podstawowe,
- badania rozwojowe,
- badania kontrolne.

W badaniach podstawowych studiuje się zasadnicze zjawiska występujące w przyrodzie. Stają się one później podstawą wszelkich pomysłów realizatorskich. Zasadniczo badania podstawowe prowadzi się abstrahując od ich późniejszego zastosowania. Czasem jednak wynikają one wprost z potrzeb użytkowych. Dzieje się to wtedy, gdy nowe zjawisko zostało wyodrębnione podczas prób z jakimś wytworzonym przez ludzi urządzeniem. Obecnie takich przypadków jest coraz więcej, gdyż coraz większą część naszego otoczenia stanowią produkty ludzkiej działalności.

Badania rozwojowe dotyczą konkretnego wytworu. Jego pomysł oparty o dotychczasowe doświadczenie, a mający na celu rozwiązanie jakiejś trudności lub poprawienie istniejącej niedoskonałości, zostaje skonkretyzowany w postaci metody, przedmiotu użytkowego lub urządzenia. Metoda, przedmiot lub urządzenie nigdy od razu nie spełniają założeń i muszą przejść szereg prób, zanim mogą być oddane do powszechnego użytkowania. Sposób postępowania w badaniach rozwojowych jest następujący. Wytwór zostaje rozczyłkowany na zespoły, a te z kolei na elementy. Bada się najpierw elementy, potem zespoły, na końcu całość. W badaniach tych można wyróżnić dwa zasadnicze etapy: etap badań funkcjonalnych i etap badań eksploatacyjnych.

Badania funkcjonalne określają parametry pracy wytworu, badania eksploatacyjne natomiast — jego żywotność i obszar zastosowania. Oddany do produkcji wytwór ma zawsze przewidziane w procesie technologicznym próby kontrolne, które zapewniają odpowiednią jakość odtwarzania. Niektóre z tych prób dotyczą każdego produktu, inne, prowadzone aż do zniszczenia, dokonuje się na egzemplarzach wybranych metodami statystycznymi.

Załóżmy, że naszym zadaniem jest realizacja raketowego układu napędowego, przedstawionego na rys. 5.1. Układ zawiera dwa silniki raketowe na stały materiał pędny: marszowy i startowy.



Rys. 5.1. Schemat raketowego układu napędowego:

1 — silnik marszowy, 2 — przewód odprowadzający spaliny, 3 — ziarno materiału pędowego silnika marszowego, 4 — inhibitor, 5 — dysza silnika marszowego, 6 — silnik startowy, 7 — ziarno materiału pędowego silnika startowego, 8 — dysza silnika startowego

W komorze spalania silnika marszowego znajduje się ziarno palące się na powierzchni czołowej. Inne powierzchnie ziarna są pokryte inhibitorem, to jest materiałem zabezpieczającym je przed zapłonem. Wytworzone podczas palenia się ziarna spaliny wypływają przez dyszę, która połączona jest z komorą silnika odpowiednim przewodem. Przewód ten stanowi wewnętrzną ściankę drugiego zespołu układu, a mianowicie silnika startowego. W silniku tym ziarno ma przekrój pierścienia i pali się na dwu powierzchniach cylindrycznych; powierzchnie boczne ziarna są inhibitowane. W tylnej ściance korpusu silnika startowego umieszczono cztery dysze. Na ścianki i dysze silników działają gorące spaliny, których temperatura wynosi ponad 2000°C . Ciśnienie panujące w silnikach jest rzędu 50 kg/cm^2 . Silniki powinny wytwarzać określone ciągi w określonym czasie.

Zgodnie z omówioną wyżej metodą realizacji wszelkiego rodzaju nowych urządzeń wymagających badań, układ napędowy dzielimy na dwa zespoły, które będziemy początkowo badać niezależnie (rys. 5.2 a i b).

Program badań powinien obejmować rozwiązywanie następujących głównych zagadnień.

Zagadnienia podstawowe:

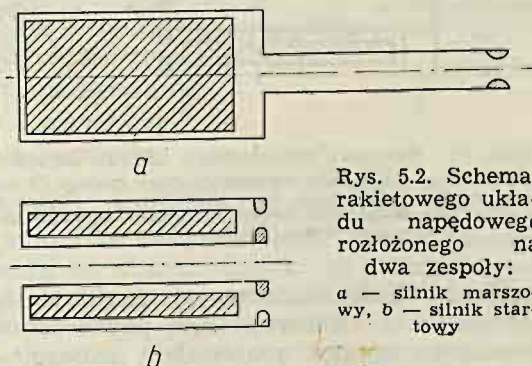
- wytrzymałość powłok cienkościennych silnie obciążonych cieplnie i mechanicznie;
- spalanie rezonansowe w silniku startowym.

Zagadnienia funkcjonalne:

- dobór właściwego przekroju krytycznego dysz;
- dobór właściwego materiału na dysze i ścianki;
- dobór odpowiedniego inhibitora.

Zagadnienia eksploatacyjne:

- zabezpieczenie zespołu silnikowego w warunkach użytkowania przed działaniem wpływów atmosferycznych;
- uodpornienie silników na działanie wstrząsów, które mogą występować podczas transportu.



Rys. 5.2. Schemat rakietowego układu napędowego rozłożonego na dwa zespoły:

a — silnik marszowy, b — silnik startowy

W przypadku produkcji w proces technologiczny zostaną włączone między innymi następujące próby kontrolne:

- wytrzymałościowa próba hydrostatyczna, którą przejdzie każdy wyprodukowany silnik;
- próba pracy układu na hamowni, którą będą przechodzić wybrane egzemplarze z serii.

A oto drugi przykład z zupełnie innej dziedziny. Eugen Sandow, będąc z natury wątki i słabowity, postanowił uczynić z siebie atletę. W tym celu ukończył najpierw medycynę, aby lepiej poznać budowę człowieka i pracę jego mięśni, a następnie opracował własną metodę opartą w głównej mierze na ćwiczeniach z hantlami, którą eksperymentalnie zbadał na sobie. Metoda ta od pięćdziesięciu lat cieszy się dużym powodzeniem wśród zwolenników ćwiczeń siłowych.

Zasady tej metody są następujące:

— poszczególne partie mięśni rozwijane są niezależnie za pomocą odpowiednio dobranego ćwiczenia (np. „Ćwiczenie 7. Naprzemianstronne wznosy ramion obciążonych hantlami do poziomu. Ramiona całkowicie wyprostowane w łokciach. Klatka piersiowa wysunięta w przód. Głowa nieruchoma”);

— ćwiczyć należy seriami;

— ilość ćwiczeń w serii oraz ciężar hantli należy stopniowo zwiększać.

Sandow w czasie kształtowania się swojej metody rozwiązał następujące zagadnienia.

Zagadnienia podstawowe:

— czynniki wpływające na rozwój mięśni.

Zagadnienia funkcjonalne:

— wybór optymalnych ćwiczeń dla rozwoju poszczególnych partii mięśni;

— dobór optymalnych serii oraz optymalnych ilości serii podczas jednego programu ćwiczeń.

Zagadnienia eksploatacyjne:

— optymalny wiek rozpoczęcia ćwiczeń siłowych;

— sposoby zabezpieczenia ćwiczącego przed przetrenowaniem względnie złymi skutkami zbyt forsownego treningu.

Badania kontrolne podczas „eksploatacji” metody przeprowadza sam na sobie każdy ćwiczący, trener lub lekarz.

Każdy racjonalnie przeprowadzony eksperyment składa się z następujących elementów:

— postawienie problemu;

— ustalenie dotychczasowego stanu wiedzy na temat postawionego problemu;

— hipoteza;

— eksperyment właściwy;

— opracowanie wyników obserwacji i pomiarów.

Problem musi być jasno i ściśle sprecyzowany. Takie postawienie problemu wymaga jednak pewnej wiedzy o badanym przedmiocie. Dlatego często samo postawienie problemu wiąże się z poważnymi studiami. Problemy powstają w sposób naturalny przy zetknięciu się z jakąś trudnością. W eksperymentalnych badaniach podstawowych problem dotyczy wyświetlenia jakiegoś związku lub szczegółowego opisu zjawiska. W pracach konstrukcyjnych problem określają warunki techniczne lub, jak je się czasami nazywa, taktyczno-techniczne. Ustala się je analizując konkretne potrzeby bieżące albo na przyszłość.

Przed przystąpieniem do rozwiązania problemu należy zapoznać się ze stanem wiedzy oraz dotychczasowymi osiągnięciami

na ten temat. Studia muszą być gruntowne, ale bez zbytniego wgłębiania się w szczegóły, bo, jak mówił Bernard Shaw, „od czytania mózg próchnieje”. Następnie należy znów jasno i ściśle postawić hipotezę, która na ogół składa się z dwu modeli abstrakcyjnych: modelu dającego opisać się słowami (np. fizycznego) oraz modelu matematycznego, będącego matematycznym opisem poprzedniego. W przypadku realizacji urządzeń technicznych hipoteza sprowadza się do projektu wykonawczego, który obejmuje: opis i rysunki konstrukcyjne (model fizyczny) oraz obliczenia (model matematyczny). Umiejętność myślenia abstrakcyjnego decyduje o prawidłowo postawionej hipotezie. Z hipotezy wynika wprost program, według którego należy przeprowadzić eksperyment. W programie powinno być wyraźnie zaznaczone, co i jak obserwować oraz co i jak mierzyć. Wyniki obserwacji i pomiarów muszą być dokładnie zarejestrowane. Stanowią one później podstawę do opracowań, na gruncie których wysnuwa się następnie wnioski szczegółowe i uogólnienia.

Oto dwa przykłady metody eksperymentalnej. Pierwszy przykład dotyczy odkrycia Ameryki przez Kolumba.

Problem: znaleźć drogę do Indii płynąc na zachód.

Stan wiedzy na ten temat: pewien żeglarz twierdził, że gdy został raz zepchnięty przez wiatr z kursu, dotarł, jadąc na zachód, do lądu i stamtąd powrócił.

Hipoteza: ponieważ ziemia jest kulista, więc płynąc w kierunku zachodnim musi się dotrzeć na Wschód.

Eksperyment: realizacja wyprawy złożonej z trzech statków.

Wyniki: odkrycie nowego lądu.

Powyższy przykład zawiera wiele znamion klasycznego odkrycia w nauce. A oto one:

— autor pomysłu miał poważne trudności ze sfinansowaniem eksperymentu;

— ostatecznie odkrył nie to, czego szukał;

— nie zyskał uznania wśród współczesnych ani nawet potomnych, którzy przez niego odkryty ląd nawet nie nazwali jego imieniem;

— obecnie mamy dowody, że nie był on pierwszym Europejczykiem, który dotarł do Ameryki;

— mimo to uważa się go dziś za jednego z największych geniuszów ludzkości, a rok odkrycia Ameryki stał się datą otwierającą nową erę w dziejach.

Drugi przykład zaczerpnijmy z zakresu badań podstawowych, a mianowicie z dziedziny wpływu cieczy nielepkiej.

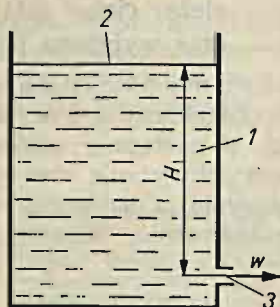
Problem: określić, od czego zależy prędkość wypływu cieczy doskonałej przez mały otwór ze zbiornika o dużym i niezmiennym przekroju poziomym.

Hipoteza:

Model fizyczny (rys. 5.3). W zjawisku występują dwie wielkości fizyczne zmienne: prędkość wypływu w , jako zmienna zależna, i wysokość napełniania zbiornika H , jako zmienna niezależna, oraz dwie wielkości stałe: ciężar właściwy cieczy γ oraz przyspieszenie ziemskie g . Powierzchnia przekroju poziomego zbiornika jest tak duża w stosunku do powierzchni otworu, że w małym przedziale czasowym wysokość napełniania zbiornika

Rys. 5.3. Wypływ cieczy doskonałej ze zbiornika o dużym przekroju poziomym przez mały otwór:

1 — zbiornik, 2 — powierzchnia cieczy, 3 — otwór, przez który wypływa ciecz z prędkością w



można uważać za niezmienną. Wypływ cieczy przez otwór jest wywołany różnicą ciśnień panujących w zbiorniku i w atmosferze. Samo zjawisko można uważać za proces przekształcania energii potencjalnej w kinetyczną.

Model matematyczny. Z prawa zachowania energii wynika, że obie przekształcające się energie: potencjalna i kinetyczna, są sobie równe. Zapisujemy to w postaci równania:

$$\frac{w^2}{2g} = \frac{H}{\gamma}$$

stąd

$$w = \sqrt{\frac{2gH}{\gamma}}$$

Program badania: będziemy określać prędkość wypływu cieczy przy kilku wysokościach napełnienia zbiornika.

Dane wyjściowe:

g — przyspieszenie ziemskie [m/s^2];

f — powierzchnia przekroju otworu [m^2];

γ — ciężar właściwy cieczy [kG/m^3].

Wielkości mierzone:

H — wysokość napełniania zbiornika [m];

w — prędkość wypływu [m/s].

Wysokość H mierzymy bezpośrednio na przykład za pomocą liniału, prędkość w natomiast pośrednio, ważąc ciecz, która napłynęła w określonym czasie do podstawionego naczynia, i następnie obliczając ją z równania ciągłości strugi

$$\frac{G}{t} = f \gamma w$$

gdzie: G — ciężar cieczy [kG];

t — czas wypływu [s].

Eksperyment: Badanie przeprowadzamy na stoisku (rys. 5.3). Zatykamy otwór, napełniamy zbiornik do określonej wysokości, a następnie odsłaniając otwór podstawiamy naczynie w celu schwytania cieczy. Mierzmy stoperem czas napełniania naczynia, a następnie ważymy ciecz. Czynność tę powtarzamy kilkakrotnie. Wyniki zapisujemy w tablicy (tabl. 5.1).

Tablica 5.1.

Wyniki pomiarów

Lp.	H	τ	G
	m	s	kG
1	1,000	75,8	0,983
2	0,800	86,1	0,995
3	0,600	98,2	0,974

Tablica 5.2

Wyniki obliczeń

Lp.	H	V	V_t	V/V_t
	m	m/s	m/s	—
1	1,000	4,31	4,43	0,970
2	0,800	3,86	3,96	0,973
3	0,600	3,30	3,43	0,967

Wysokość napełniania zbiornika mierzymy z dokładnością do 1 mm, ciężar cieczy do 1 grama, a czas wypływu do 0,1 sekundy.

Opracowanie wyników: Wyniki obliczeń przedstawiliśmy w postaci tablicy (tabl. 5.2). Na podstawie przeprowadzonej analizy błędów wnioskujemy, że prędkość wypływu można określić z dokładnością do 0,01 m/s. Porównując jednak rzeczywistą prędkość wypływu z teoretyczną, którą spodziewaliśmy się otrzymać w oparciu o naszą hipotezę, stwierdzamy, że prędkość rzeczywista jest zawsze mniejsza od teoretycznej i że stosunek tych prędkości jest w naszym przypadku mniej więcej równy

0,97. Wyciągamy z tego hipotetyczny wniosek, że ogólne równanie wypływu powinno mieć następującą postać

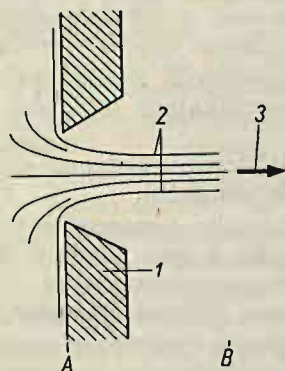
$$w = a \sqrt{\frac{2gH}{\gamma}}$$

gdzie: a — współczynnik wypływu.

Doszukując się przyczyny tego faktu, bardziej szczegółowo obserwujemy zjawisko wypływu i zauważamy, że wypływający strumień po opuszczeniu otworu przewęża się (rys. 5.4). Pisząc równanie ciągłości strugi dla przekrojów A i B i uwzględniając nieściśliwość cieczy, otrzymujemy:

$$f_A V_A = f_B V_B$$

Widać z tego, że prędkość przepływu w przekroju otworu jest mniejsza niż po ustaleniu się poprzecznej powierzchni strumienia wypływającego, gdzie cała będąca do dyspozycji energia potencjalna została już zamieniona na energię kinetyczną.



Rys. 5.4. Zjawisko przewężenia strugi występujące podczas swobodnego wypływu cieczy ze zbiornika przez otwór z zaostrożonymi krawędziami:

1 — ścianka naczynia, 2 — graniczne linie prądu strumienia wypływającego, 3 — kierunek wypływu

Domyślamy się, że wartość współczynnika wypływu, który uwzględnia zjawisko przewężenia, będzie zależał przede wszystkim od kształtu otworu. Jest to nowa hipoteza, która po głębszej analizie powinna się stać podstawą do opracowania nowego i szerszego programu badań.

Powyższy przykład uwydatnia dwie istotne, często spotykane cechy metody eksperymentalnej:

— wynik badania tylko częściowo potwierdza hipotezę, gdyż nie zawierała ona wszystkich czynników mających wpływ na przebieg zjawiska, które byliśmy w stanie zauważyć;

— podstawowym wnioskiem, jaki możemy wysnuć na podstawie dotychczasowych wyników, jest stwierdzenie konieczności prowadzenia dalszych eksperymentów, które pogłębią i rozszerzą nasze wiadomości o badanym zjawisku.