Wydawnictwo Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie

Marian Głowacki

ENERGIA I INFORMACJA

Częstochowa 2006

Panu Maciejowi Węgrzynowi w dowód przyjaźni [illegible]
22.10.2015

Recenzenci
Władysław Błasiak
Longin Gładyszewski

Redaktor
Przemysław Lasota

Korektor
Mirosław Łapot

Projekt okładki
Tomasz Wolski

Redakcja techniczna
Jacek Kukułka

© Copyright by Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie
Częstochowa 2006

ISBN 83 – 7098 – 977 – 2

Wydawnictwo Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie
42 – 200 Częstochowa, ul. Waszyngtona 4/8
tel. (0 34) 378 43 29, fax (0 34) 378 43 19.
www.ajd.czest.pl
e-mail: wydawnictwo@ajd.czest.pl
Wydanie I. Objętość 8,375 ark. druk. (A5).

Spis treści

Wstęp 5

1. Pojęcie energii 7

2. Przekaz energii 12
   2.1. Przekaz energii cieplnej 12
   2.2. Przekaz energii mechanicznej 15
   2.3. Energia potrzebna do życia organizmów żywych. Przekaz energii biologicznej 19
   2.4. Powstawanie i przekaz energii w obwodach prądu 20
   2.5. Przekaz energii fal elektromagnetycznych 22

3. Informacja i jej przekaz 28
   3.1. Model Shannona-Weavera przekazu informacji 29
   3.2. Podstawy matematycznej teorii informacji 33
   3.3. Przekazywanie informacji na odległość 38
   3.4. Przekaz informacji przy pomocy sygnałów elektrycznych 42
   3.5. Teoria informacji a przekaz kartograficzny 48
   3.6. Przekaz informacji genetycznych 53

4. Energia i informacja w termodynamice 58

5. Energia i informacja w pomiarze fizycznym 64

6. Energia i informacja w fizyce kwantowej 73

7. Energia i informacja w procesach sterowania 78
   7.1. Procesy sterowania, układy sterujące i sterowane. Układy samodzielne 78
   7.2. Przekaz informacji – informowanie 86
   7.3. Ilość informacji a jej treść 96

8. Język jako podstawowa forma przekazu informacji 99
   8.1. Modele języka a przekaz informacji 99
   8.2. Struktury i cechy języka nauk przyrodniczych 110

9. Model probabilistyczny uczenia się 117

10. Przetwarzanie informacji. Informatyka 121
10.1. Zastosowanie komputera 122
10.2. System komputerowy, kodowanie informacji, programowanie 124
11. Związki energii i informacji 127
Literatura 130

Wstęp

W 1948 roku ukazała się praca Shannona *Matematyczna teoria łączności*, która dała podstawę współczesnej teorii informacji. Była ona ukoronowaniem procesu, który rozpoczął się w roku 1838, gdy Morse zbudował pierwszy telegraf i powstał alfabet do dziś nazywany alfabetem Morse'a. Pojawiło się pojęcie kodowania jako dokładnego odtwarzania jednego pojęcia przy pomocy innego. Brak prądu w obwodzie jako pauza, krótki impuls prądu jako kropka i dłuższy impuls prądu jako kreska pozwoliły zakodować dowolny tekst i przesłać go na odległość. Już wtedy obok problemów związanych z kodowaniem i przesyłem informacji pojawił się problem szumów, czyli zniekształceń informacji przesyłanych liniami telegraficznymi.

Problemy szumów pogłębiły się, gdy w 1875 roku Bell zbudował pierwszy telefon. Rozwiązanie znalazł Fourier. Zgodnie z jego teorią, wszystkie przebiegi można opisać przez rozkładanie sygnałów na składowe sinusoidalne i uzyskiwanie czystych sygnałów po usunięciu osłabień i przesunięć fazowych.

W 1924 roku Nyquist opracował teorię czynników wpływających na prędkość przesyłu telegraficznego oraz wykazał, że można tak formować sygnały telegraficzne, aby mogły być przesyłane tą samą linią co telefoniczne. Ustalił on również szerokość kanałów dla danych sygnałów.

W 1928 roku kontynuował te prace Chartree i w książce *Przekaz informacji* określił prędkość przesyłu informacji.

Wreszcie w 1948 roku ukazały się dwie prace – Wienera *Cybernetyka* i wspomniana na wstępie *Matematyczna teoria łączności* Shannona. Obie rozważały problemy przekazu informacji, ale to praca Shannona stała się punktem wyjścia do dalszych rozważań, zwłaszcza po kolejnej książce, wydanej wspólnie z Weaverem *Matematyczna teoria informacji*, w której autorzy stworzyli obowiązujący do dziś model przekazu informacji.

Dziś jest oczywiste, że warunkiem koniecznym dla zajścia jakiegokolwiek zdarzenia we wszechświecie jest dostarczenie układowi lub ciału, którego dotyczy zdarzenie, energii i informacji.

Tak jest w przyrodzie nieożywionej i ożywionej. Elektron w lampie kineskopowej porusza się w kierunku do ekranu od działa elektronowego, bo za pośrednictwem pola elektromagnetycznego otrzymał informację od ekranu, że jest on naładowany dodatnio, i energię od tegoż pola, człowiek zaś przechodzi przez jezdnię na zielonym świetle, bo otrzymał informację od systemu sygnalizacyjnego oraz energię ze zjedzonego wcześniej posiłku.

Niniejsza praca jest poświęcona związkom energii i informacji w różnych dziedzinach działalności ludzkiej. Autor ma nadzieję przybliżyć czytelnikowi posiadającemu elementarne przygotowanie matematyczne, podstawowe wiadomości o źródłach energii, jej przekazie oraz zapoznać go z podstawami matematycznej teorii informacji oraz cybernetyki.

1. Pojęcie energii

Aby zrozumieć rozważania dotyczące związków energii i informacji, należałoby dokładnie określić, co to jest energia. Tymczasem ścisłe określenie tego pojęcia jest trudne. Różni autorzy próbują to zrobić w różny sposób, większość autorów nie definiuje energii jako pojęcia ogólnego, lecz wprowadzają pojęcie konkretnej energii, np. R. Resnick i D. Halliday w I tomie *Fizyki* [55] wprowadzają energię potencjalną i kinetyczną.

W *Słowniku fizycznym* [63] można przeczytać, że energia jest to „...uniwersalna wielkość fizyczna, nadająca się do opisu wszelkiego rodzaju procesów i oddziaływań występujących w przyrodzie. Najistotniejszą cechą energii jest to, że podlega ona zasadzie zachowania. Jest funkcją stanu układu fizycznego... Energia może być przenoszona z jednego obiektu fizycznego do drugiego".

W *Kursie fizyki* B. Jaworski i inni [29] wiążą energię z ruchem. Piszą: „Jedyną miarą różnych rodzajów ruchu jest energia. Energia układu charakteryzuje ilościowo ten układ z punktu widzenia ilościowych i jakościowych przemian ruchu, jakie mogą w tym układzie zachodzić. Przemiany te uwarunkowane są zarówno wzajemnym oddziaływaniem ciał układu na siebie, jak i na ciała zewnętrzne względem układu. Ruch jest nieodłączną cechą materii. Dlatego każde ciało jest obdarzone energią albo, jak mówimy, ma zapas energii, będącej miarą jego ruchu. W celu ilościowego scharakteryzowania jakościowo różnych rodzajów ruchu badanych w fizyce, wprowadza się odpowiadające im rodzaje energii: mechaniczną, wewnętrzną, elektromagnetyczną itd."

Sz. Szczeniowski w I części *Fizyki doświadczalnej. Mechanika i akustyka* [68] najpierw wprowadza pojęcie pracy mechanicznej, a dopiero potem definiuje energię jako „zmagazynowaną zdolność wykonywania pracy".

Mała encyklopedia powszechna PWN [39] definiuje energię podobnie jak Szczeniowski. Pod hasłem „Energia" można przeczytać, że jest to „wyrażana w jednostkach pracy wielkość fizyczna określająca zdolność układu do wykonania pracy".

Czym jest więc energia? Najprościej można powiedzieć: jest to wielkość fizyczna, skalarna i addytywna, charakteryzująca stan układu. Jest stała dla układu odizolowanego, to znaczy takiego, na który nie działają żadne siły zewnętrzne. Zdanie to jest treścią zasady zachowania energii w ujęciu klasycznym.

Dla potrzeb niniejszej pracy odpowiednim wydaje się określenie, którego używają Bolton [6] i Rogers [57]. Mówi ono, że energia to coś wytworzone przez paliwo, coś za co płacimy. Źródłem energii jest paliwo. Jest to niewątpliwie daleko idące uproszczenie, ale przydatne w tłumaczeniu zjawisk życia codziennego.

Żyjemy w cywilizacji, w której paliwo odgrywa podstawową rolę. Nie można się obejść bez paliwa. Węgiel dla silnika parowego, benzyna dla silnika spalinowego, obrok dla konia, żywność dla człowieka, wszystko to jest konieczne i wszystko posiada określoną cenę i wszystko wymaga nakładu kosztów, nawet w przypadku „darmowej energii", jaką daje spiętrzona woda, wiatr czy promienie słoneczne. Dzięki paliwu pociągi, samochody jeżdżą, statki pływają, samoloty latają, najrozmaitsze maszyny wykonują pracę.

Energia uzyskana z paliwa może być wykorzystana na najrozmaitsze sposoby. Jeśli zasila silniki samochodu, lokomotywy, samolotu, statku, skutkiem jest ruch. W przypadku windy, skutkiem jest wzniesienie ciężaru do góry. Paliwo zużywane w palenisku podnosi temperaturę. Pożywienie jako paliwo pozwala człowiekowi chodzić, utrzymywać stałą temperaturę ciała i w ogóle żyć.

Dostarczona energia może więc przesunąć przedmiot, zmienić lub podtrzymać jego prędkość. W każdym z tych przypadków zostaje wykonana praca. W fizycznym rozumieniu, praca jest wykonywana, jeśli poruszamy jakieś przedmioty wbrew jakiejś sile, np. wznoszenie wiadra przeciw sile ciężkości, przesuwanie szafy przeciw sile tarcia. W celu wykonania pracy dostarczana jest energia, uzyskana dzięki paliwu. Praca określa więc energię przekazaną przez jakiś przedmiot lub układ oraz pobraną przez jakiś przedmiot lub układ. Praca jest miarą energii, jaką przedmiot X przekazał przedmiotowi Y, działając nań siłą wzdłuż pewnej drogi. Po wykonaniu pracy oba przedmioty znajdują się w stanach innych niż przed wykonaniem pracy, są na innych wysokościach, mają inne prędkości.

Pracę definiuje się jako iloczyn siły i odległości przebytej w kierunku działania siły. Jeśli siła wynosi 1N, a odległość 1m, wykonana praca jest jednostkowa i jest równa 1 dżulowi ($1J = 1N \cdot 1m$).

Przy tej samej ilości zużytego paliwa, nie biorąc pod uwagę strat energii, uzyskuje się ten sam iloczyn siły przez odległość, np. dwukrotne zwiększenie siły przy tej samej ilości paliwa dwukrotnie zmniejszy przebytą odległość.

W przypadku człowieka energia może być wykorzystana do pracy w sensie fizjologicznym, nie fizycznym. Jeśli np. utrzymywany jest w powietrzu ciężki przedmiot, pojawia się zmęczenie, mimo że fizycznie praca nie została wykonana, bo przedmiot nie zmienił położenia. Mięśnie są napięte, bo docierają do nich impulsy nerwowe z mózgu. Na ich przemieszczenie jest zużywana energia uzyskana z pożywienia.

Z wykonywaniem pracy i zachowaniem lub utratą energii łączą się pojęcia sił zachowawczych i niezachowawczych. Jeżeli jakiś przedmiot podniesiemy na pewną wysokość, to wykonamy pracę przeciw sile ciężkości. Praca ta nie ginie: odnajdujemy ją w energii potencjalnej, którą możemy znów wykorzystać do wykonania pracy. Praca wykonana przeciw sile ciężkości została „zachowana" w postaci energii potencjalnej. Siłę ciężkości zaliczamy do kategorii „sił zachowawczych". Siłami zachowawczymi są również siły wywierane przez ciała sprężyste odkształcone. Jeśli naciągniemy łuk, wykonamy pracę, która zostanie zachowana w postaci energii potencjalnej naciągniętej cięciwy łuku. Energia ta może zostać z powrotem zamieniona na pracę, tj. wystrzelenie strzały.

Inaczej jest w przypadku „sił niezachowawczych". Jeśli przesuwamy ciało po poziomym stole ruchem jednostajnym, działamy na niego siłą równą co do wartości sile tarcia. Wykonujemy pracę przeciw sile tarcia. Po przesunięciu ciała nie zwiększamy jego energii mechanicznej, potencjalnej ani kinetycznej. Praca przeciwko sile tarcia została bezpowrotnie zmarnowana. Siła tarcia zalicza się więc do kategorii „sił niezachowawczych". Jednak mimo że praca nie powiększyła energii mechanicznej ciała, nie zginęła. Zmieniła się bowiem w energię cieplną. Zostało ogrzane ciało i powierzchnia stołu oraz otaczające powietrze. Mówimy, że na skutek istnienia sił niezachowawczych energia rozprasza się.

Do sił niezachowawczych zaliczają się również siły wywierane przez mięśnie człowieka. Jeśli zatrzymamy siłą mięśni pędzący wózek, energia kinetyczna wózka rozproszy się. Powstaną inne rodzaje energii, jak: energia cieplna oraz energia chemiczna w mięśniach (w zmęczonych mięśniach wydzieli się kwas mlekowy) [49].

Z inną formą przekazu energii mamy do czynienia, gdy dzięki paliwu uzyskuje się podniesienie temperatury jakiegoś układu lub przedmio-

tu. Potocznie mówi się wtedy, że przedmiotowi lub układowi dostarczono ciepło. Wtedy paliwo spalając się traci energię, a ogrzany przedmiot zyskuje energię. W procesach termodynamicznych wprowadza się pojęcie entropii. Pojęcie to jest również używane przez teorię informacji [61].

Procesy związane ze wzrostem temperatury układu, będącego zbiorem cząsteczek gazu doskonałego, łączą się ze wzrostem entropii układu. Dostarczenie układowi o temperaturze T energii cieplnej ΔQ zwiększa entropię o:

$$\Delta S = \Delta Q/T. \tag{1.1}$$

Z drugiej strony, wzrost temperatury układu powoduje wzrost energii wewnętrznej cząsteczek gazu, ich ruch staje się coraz szybszy i zmniejsza się uporządkowanie układu (rośnie ilość możliwych rozkładów energii). Wzrost entropii z tego punktu widzenia jest postrzegany statystycznie jako:

$$\Delta S = k\,\Delta \ln P, \tag{1.2}$$

gdzie: k – stała Boltzmanna – $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K,

P – prawdopodobieństwo termodynamiczne określające stopień nieuporządkowania układu.

W układach, w których procesy przebiegają bez ingerencji z zewnątrz, niejako w naturalnym kierunku, entropia zawsze wzrasta. Zwiększa się nieuporządkowanie układu.

Z energią i entropią wszechświata łączy się jeden ze sposobów przedstawiania zasad termodynamiki [20]. Dwie zasady termodynamiki formułuje się niekiedy w następujący sposób:

— pierwsza zasada termodynamiki: energia wszechświata jest zawsze stała,

— druga zasada termodynamiki: entropia wszechświata zawsze wzrasta.

Każdy naturalny proces zachodzi wtedy, gdy w jego wyniku następuje wzrost entropii. Równowaga panuje wtedy, gdy każda zmiana stanu powoduje zmniejszenie entropii [6].

Szybkość przekazu energii od jednego układu do drugiego nazywa się mocą. Ponieważ ilość przekazanej energii mierzona jest pracą, moc określa się również jako ilość pracy, którą urządzenie może wykonać w jednostce czasu. Urządzenie, które jest w stanie wykonać pracę 1 dżula w czasie 1 sekundy, ma moc jednostkową 1 wata (1wat = 1J/s). W prak-

tyce używana jest jednostka mocy 1 KM = 736W (koń mechaniczny). Przykładowo, samochód o mocy 60 KM i masie 800 kg w ciągu 1 s może, ruszając z miejsca, przejechać odległość około 5,25 m, prędkość zaś 100 km/h (około 27,8 m/s) osiągnie w czasie około 7 s.

Podsumowując, nic w przyrodzie nie może się zdarzyć bez dostarczenia energii do układu ciał lub ciała, którego to zdarzenie dotyczy. Przy opisie zjawisk fizycznych mówi się o różnych rodzajach energii: mechanicznej jako sumy energii kinetycznej i potencjalnej ciężkości, energii potencjalnej sprężystości powiązanej ściśle z energią kinetyczną w ruchu drgającym, energii cieplnej, chemicznej, elektrycznej, wewnętrznej, jądrowej, spoczynkowej itp.

W układach odizolowanych jeden rodzaj energii może być zamieniany w inny. W rzeczywistości zawsze istnieją straty energii na pokonanie najróżniejszych oporów ruchu. Z zamianą energii mamy jednak do czynienia na co dzień. We współczesnym świecie żyjemy w cywilizacji elektryczności i w zasadzie wykorzystanie każdego paliwa kończy się na uzyskaniu energii elektrycznej, która jest wykorzystywana do najróżniejszych celów. W elektrowniach energię spalania węgla, gazu, mazutu, energię jądrową, energię słoneczną, energię wiatru zamienia się na ruch turbin wytwarzających prąd elektryczny. Ten, przekazywany liniami przesyłowymi, zasila najróżniejsze urządzenia w domach, sklepach i fabrykach. W akumulatorach na energię elektryczną zamienia się energia chemiczna.

2. Przekaz energii

2.1. Przekaz energii cieplnej

Kiedy dwie części ciała stałego utrzymywane są w różnych temperaturach, wtedy, jak wykazuje doświadczenie, rozkład temperatury między nimi jest ciągły. Przekaz energii, wywołany różnicą temperatur dwu przylegających części ciała, nazywa się przewodnictwem cieplnym [55].

Jeśli wziąć płytkę o powierzchni przekroju A i nieskończenie małej grubości dx, której dwie powierzchnie mają różne temperatury, to szybkość przepływu energii cieplnej określa podstawowe prawo przewodnictwa cieplnego:

$$\frac{dQ}{dt} = -kA\frac{dT}{dx}, \tag{2.1}$$

gdzie: $\frac{dQ}{dt}$ – szybkość przepływu energii cieplnej,

$\frac{dT}{dx}$ – gradient temperatury,

k – stała proporcjonalności, zwana przewodnością cieplną.

Kierunek przepływu energii wybiera się w kierunku wzrastania wartości x, ponieważ energia przepływa w kierunku malejącej temperatury T. Stąd w równaniu znak minus. Szybkość przepływu energii jest dodatnia, gdy gradient temperatury jest ujemny.

Dla pręta o długości L i stałym przekroju poprzecznym A można określić ilość energii cieplnej Q przeniesionej w czasie t, jeśli między końcami istnieje gradient temperatury ΔT:

$$\frac{Q}{t} = kA\frac{\Delta T}{L}. \tag{2.2}$$

Materiały o dużej przewodności cieplnej są dobrymi przewodnikami energii cieplnej, materiały o małej przewodności to izolatory cieplne. Wartość stałej k wzrasta nieznacznie ze wzrostem temperatury. Dla przykładu: bardzo dobry przewodnik cieplny, jakim jest miedź, ma przewod-

ność 385,11 J/smK, a bardzo dobry izolator cieplny, jakim jest drewno, ma przewodność około 0,01 J/smK, a więc około 40 000 razy mniejszą.

Przewodnictwo cieplne zachodzi również w gazie, kiedy istnieje różnica temperatur wywołana przyczynami zewnętrznymi i różne warstwy gazu mają różną temperaturę, czyli są obdarzone różną energią wewnętrzną [29].

Ilość energii cieplnej ΔQ przenoszonej w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię, w kierunku normalnej n do tej powierzchni jest określona prawem Fouriera przewodnictwa cieplnego dla gazu. Znak minus we wzorze oznacza, że energia przenosi się w kierunku malejącej temperatury:

$$\Delta Q = -K\frac{dt}{dx}, \tag{2.3}$$

gdzie: $\frac{dt}{dx}$ – gradient temperatury na jednostkę długości w kierunku normalnej n do powierzchni, przez którą jest przenoszona energia,

K – współczynnik przewodnictwa cieplnego wskazujący, jaka ilość energii cieplnej przenosi się przez jednostkową powierzchnię w jednostce czasu przy gradiencie temperatury równym jednostce.

Drugim rodzajem przekazu energii cieplnej jest promieniowanie. Każde ogrzane ciało staje się źródłem promieniowania, którego długości fal rozkładają się w sposób ciągły od bardzo dużych dla niskich temperatur do bardzo małych dla wysokich temperatur. Gdy temperatura, do której ogrzane jest ciało, nie przekracza 400° C, promieniowanie nie jest widoczne dla oka i nazywa się promieniowaniem cieplnym lub podczerwonym. W temperaturach wyższych długości fal, przy których występuje maksymalna zdolność emisyjna ciała, zmniejszają się i zaczyna dominować promieniowanie widzialne (światło widzialne obejmuje promieniowanie o długościach fal w przedziale od około 0,8 do 0,4 mikrometra) [69].

Promieniowanie różnych ciał w tej samej temperaturze nie jest jednakowe. Natężenie promieniowania emitowanego przez jakieś ciało zależy od zdolności pochłaniania tego ciała.

Zdolnością pochłaniania α(T) nazywa się ułamek wskazujący, jaka część promieniowania padająca na powierzchnię ciała została pochłonięta

(promieniowanie wypełnia przestrzeń zamkniętą, otoczoną ściankami o tej samej temperaturze).

Zdolność emisyjna danego ciała $\varepsilon(T)$ jest określona przez ilość energii wypromieniowanej przez jednostkę powierzchni danego ciała w ciągu jednej sekundy i jest związana ze zdolnością pochłaniania (absorpcyjną) wzorem:

$$\frac{\varepsilon(T)}{\alpha(T)} = E(T) \ . \tag{2.4}$$

Stosunek ten jest funkcją samej tylko temperatury i jest równy zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego, czyli takiego, którego zdolność absorpcyjna $\alpha(T) = 1$. Zależność ta nosi nazwę prawa Kirchhoffa.

Zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego określa prawo Stefana-Boltzmanna:

$$E(T) = \sigma T^2, \tag{2.5}$$

gdzie: $\sigma = 5{,}57 \cdot 10^{-8}\ W/m^2 K^4$.

Zdolność emisyjną dowolnego ciała o temperaturze T można określić wzorem:

$$\varepsilon = \alpha\sigma T^4. \tag{2.6}$$

Jeśli ciało ma temperaturę T_1 i znajduje się w otoczeniu T_2 ($T_1 > T_2$ oraz T_2 = const), to emituje oraz pochłania energię cieplną i w rezultacie przekazuje w jednostce czasu pewną ilość energii cieplnej do otoczenia określoną wzorem:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha S\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right). \tag{2.7}$$

Wzór jest słuszny przy założeniu, że zdolność absorpcyjna ciała nie zależy od temperatury. Założenie to jest słuszne tylko w przybliżeniu dla wielu ciał, zwłaszcza pochłaniających niezbyt silnie, α zależy wyraźnie od temperatury.

Dla orientacji, dla promieniowania wysyłanego przez ciało doskonale czarne o temperaturze 100° C powierzchnia pokryta sadzą ma zdolność absorpcyjną α = 0,98, a dla wypolerowanej powierzchni srebrnej $\alpha = 0{,}02$.

Jednym z podstawowych źródeł energii przekazywanych Ziemi drogą promieniowania jest Słońce. Zdolność bezpośredniego wykorzystania

energii słonecznej do budowy związków chemicznych mają rośliny, ponieważ zawierają one chlorofil (reakcja fotochemiczna).

Źródłem energii słonecznej są reakcje termojądrowe zachodzące w jego wnętrzu, polegające na syntezie helu z atomów wodoru w bardzo wysokiej temperaturze wnętrza Słońca.

Na Słońcu zachodzą reakcje podobne jak w bombie termojądrowej. Olbrzymie ciśnienie powoduje, że zachodzi reakcja łączenia się czterech jąder wodoru w jedno jądro helu.

Podczas tej syntezy wyzwala się olbrzymia ilość energii. Trwa to od miliardów lat i będzie trwało co najmniej kilka miliardów lat, gdyż wodór stanowi około trzech czwartych ogólnej masy Słońca. Jedną piątą stanowi hel, a reszta to inne pierwiastki. Tylko w ciągu jednej sekundy traci ono w postaci promieniowania około 4 miliardów ton swej masy. Wynika to z prawa Einsteina określającego równoważność masy i energii. Na szczęście jest to tylko niewielki procent masy Słońca. Można obliczyć, że od czasu powstania Ziemi, co nastąpiło około 4,5 miliarda lat temu, Słońce straciło zaledwie 0,02 procenta swojej masy [59].

W tym czasie dzięki energii Słońca na Ziemi powstały złoża paliw kopalnych, tj. ropy naftowej, gazu ziemnego, węgla. Paliwa te powstały przed milionami lat z ówcześnie istniejących roślin.

Energia cieplna może być przekazywana również przez unoszenie. Przenoszenie energii cieplnej przez unoszenie polega na przenoszeniu energii razem z materią. Gęstość ogrzanej cieczy lub gazu jest na ogół mniejsza niż ich gęstość w temperaturach niższych; jeśli zatem jakaś część cieczy czy też gazu ulega ogrzaniu, to na mocy prawa Archimedesa wypchnięta zostaje ku górze i unosi ze sobą energię cieplną. W ten sposób wytwarza się prąd konwekcyjny. Prądem konwekcyjnym jest również wiatr, wiejący z miejsc bardziej ogrzanych do chłodniejszych. Typowymi prądami konwekcyjnymi są prądy występujące w powietrzu nad rozgrzaną ziemią, np. piaskiem. Prądy te, tzw. termiki, mają wielkie znaczenie w szybownictwie [69].

2.2. Przekaz energii mechanicznej

Zasada zachowania energii jest podstawowym tematem fizyki i inżynierii. Nakłada ona poważne ograniczenia na możność uzyskiwania energii i na przechodzenie energii z jednej formy w drugą [49].

Jedną z podstawowych form energii, jaką posiadają ciała, jest energia mechaniczna. Energia ta stanowi sumę energii potencjalnej i kinetycznej ciała. Jeśli ciało znajduje się blisko powierzchni Ziemi, energię mechaniczną można zapisać wzorem:

$$E_M = E_K + E_P = mv^2 + mgh, \tag{2.8}$$

gdzie: m – masa ciała,
v – prędkość ciała w ruchu postępowym,
g – przyspieszenie ziemskie,
h – wysokość, na jakiej znajduje się ciało nad powierzchnią ziemi.

Jeśli ciało znajduje się w dużej odległości od Ziemi, energia potencjalna ciała w danym punkcie pola grawitacyjnego wynosi $E_p = -GmM/r$ i wzór przybierze postać:

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GmM}{r} \tag{2.9}$$

gdzie: M – masa Ziemi,
G – stała grawitacji,
r – odległość ciała o masie m od środka Ziemi.

Należy zaznaczyć, że jedyną siłą, jaka działa na ciało w rozważanym przypadku, jest siła grawitacji, która jest siłą zachowawczą. Praca wykonana przez siłę zachowawczą nie zależy od długości drogi między dwoma punktami, a praca po drodze zamkniętej jest równa zero. Siłami zachowawczymi są także siły działające w polu elektrostatycznym.

Siłą niezachowawczą jest tarcie. W wyniku pracy siły tarcia następuje wzrost energii wewnętrznej ciał przemieszczających się względem siebie, co zazwyczaj objawia się wzrostem ich temperatury. Tak więc, gdy energia kinetyczna ciała podlegającego tarciu maleje, energia kinetyczna jego cząsteczek rośnie. Następuje rozgrzewanie się ciała.

Zasada zachowania energii mechanicznej mówi, że w układzie zamkniętym, w którym działają tylko siły zachowawcze, energia mechaniczna jest stała:

$$E_M = \text{const.} \tag{2.10}$$

Z zasady tej wynika, że ciała w polu grawitacyjnym, jeśli nie uwzględnić siły tarcia, tracąc energię kinetyczną, wznoszą się, zwiększając energię potencjalną, i odwrotnie – spadając, zwiększają energię kinetyczną. Jeśli zachodzi to w próżni, zasada zachowania energii mechanicz-

nej jest spełniona. Jeśli ruch odbywa się w powietrzu i zachodzi tarcie, spełniona jest zasada zachowania energii, gdyż część energii mechanicznej zamienia się na energię cieplną.

Najbardziej ogólny jest przypadek, gdy oprócz siły zachowawczej F_c, która jest tylko funkcją położenia, na układ działa siła zewnętrzna F_z oraz występuje siła tarcia F_t. Wtedy siła wypadkowa wynosi:

$$F_w = F_c + F_z + F_t. \tag{2.11}$$

Jeśli na skutek działania powyższych sił nastąpi zmiana położenia ciała o Δs, wtedy zostanie wykonana praca, a przyrost energii kinetycznej ciała ΔE_k wyniesie:

$$\Delta E_k = F_w \Delta s\,. \tag{2.12}$$

Po podstawieniu wartości ze wzoru (1.15) i przekształceniu można otrzymać:

$$F_z \Delta s = \Delta E_k - F_c \Delta s - F_t \Delta s\,. \tag{2.13}$$

Drugi wyraz jako praca wykonana na pokonanie sił zachowawczych jest równy przyrostowi energii potencjalnej ciała ΔE_p, trzeci zaś jest pracą wykonaną przez ciało na ogrzanie siebie i otoczenia, czyli na wzrost energii wewnętrznej ΔU (energii kinetycznej i potencjalnej indywidualnych cząsteczek i atomów). Po uwzględnieniu tych uwag wzór (2.13) przybierze postać:

$$F_z \Delta s = \Delta E_k + \Delta E_p + \Delta U. \tag{2.14}$$

Z powyższego równania wynika, że każda praca wykonana na ciele przez czynnik zewnętrzny równa się sumie wzrostów energii kinetycznej, energii potencjalnej i energii wewnętrznej. Wykonanie pracy nad ciałem przez czynnik zewnętrzny stanowi więc jedną z form przekazu energii.

Jedną z form energii potencjalnej jest energia potencjalna sprężystości. Ciało, np. sprężyna, może zostać odkształcone sprężyście przez siłę zewnętrzną. Siła ta wykona pracę przeciw sile sprężystości, odkształci sprężynę, która w ten sposób uzyska energię potencjalną sprężystości:

$$E_{px} = \frac{1}{2}\, kx^2, \tag{2.15}$$

gdzie: k – stała sprężystości sprężyny,
x – wartość odkształcenia.

Energia ta może zostać przekazana innemu ciału i zamienić się na energię kinetyczną.

Inną z form przekazu energii kinetycznej są zderzenia. Gdy dwa ciała zderzają się, może to być zderzenie sprężyste lub niesprężyste. W zderzeniu sprężystym całkowita energia kinetyczna układu zderzających się ciał po zderzeniu jest taka sama jak przed zderzeniem. Jeśli zderzają się centralnie (prędkości ich środków leżą na jednej prostej) dwie kule o masach: M i m oraz prędkościach: v_1 i v_2, wtedy zasada zachowania energii kinetycznej wygląda następująco:

$$\frac{1}{2}Mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}Mv_3^2 + \frac{1}{2}mv_4^2, \qquad (2.16)$$

gdzie: v_3 – prędkości kuli o masie m_1 po zderzeniu,
v_4 – prędkość kuli o masie m_2 po zderzeniu.

O ile w mikroświecie można przyjąć, że zachodzą zderzenia sprężyste, to w przypadku większości ciał makroskopowych część energii kinetycznej zostaje zamieniona na wykonanie pracy podczas odkształcenia ciał oraz na wzrost energii wewnętrznej ciał biorących udział w zderzeniu i otoczenia. W tym przypadku zachodzą zderzenia niesprężyste i jest spełniona zasada zachowania energii w sensie ogólnym. Można to zapisać następująco dla przypadku przedstawionego powyżej:

$$\frac{1}{2}Mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}Mv_3^2 + \frac{1}{2}mv_4^2 + \Delta U + \Delta W, \qquad (2.17)$$

gdzie: ΔU – przyrost energii wewnętrznej ciał biorących udział w zderzeniu niesprężystym i otoczenia,
ΔW – praca przeciw siłom sprężystości, wykonana w celu odkształcenia ciał.

W zderzeniach sprężystych i niesprężystych jest spełniona zasada zachowania pędu. W przypadku gdy dwa opisywane ciała po zderzeniu niesprężystym poruszają się razem, zasada ta wygląda następująco:

$$mv_1 + Mv_2 = (m + M)\,v, \qquad (2.18)$$

gdzie: v – prędkość połączonych mas po zderzeniu.

Gdy ciała po zderzeniu niesprężystym poruszają się osobno, zasadę zachowania pędu można przedstawić wyrażeniem:

$$mv_1 + Mv_2 = mV_1 + MV_2, \quad (2.19)$$

gdzie: V_1 – prędkość ciała o masie m po zderzeniu,
V_2 – prędkość ciała o masie M po zderzeniu.

2.3. Energia potrzebna do życia organizmów żywych. Przekaz energii biologicznej

Wszelkie procesy życiowe człowieka zależą od dostarczanej mu energii podczas przemiany materii. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych form energii potencjalnej jest energia chemiczna wyzwalana właśnie podczas przemiany materii [49]. Człowiek, podobnie jak każdy żywy organizm, pobiera ze środowiska zewnętrznego pożywienie, które po przerobieniu podczas procesu trawienia jest przyswajane przez organizm. Pokarm, składający się z tkanek roślinnych lub zwierzęcych, zawiera podstawowe produkty pokarmowe: białka, tłuszcze i węglowodany, „ukryte" w konstrukcji tkanek i dopiero proces trawienia rozbija tę konstrukcję, umożliwiając przyswojenie wartościowych składników pożywienia [58].

Przyswojone produkty pokarmowe mogą ulegać przebudowie chemicznej w organizmie człowieka (przemiana materii), a powstałe nowe związki chemiczne mogą być wykorzystane jako materiał do budowy elementów komórkowych lub ulec spaleniu, wyzwalając przy tym odpowiednią ilość energii.

Wewnątrz organizmu proste związki chemiczne łączą się w związki bardziej skomplikowane, niezbędne do życia. Nowo utworzone związki mają budowę charakterystyczną dla danego organizmu i dla poszczególnych tkanek.

Obok przyswajania produktów pokarmowych na drodze syntezy (asymilacji, anabolizmu), w organizmie następuje rozkładanie pewnych związków na prostsze, połączone z wyzwalaniem pewnej ilości energii (dysymilacji, katabolizmu). Ten rozpad związków organicznych, zwłaszcza węglowodanów, odbywa się głównie przez ich utlenianie, zwane potocznie spalaniem. Rezultatem tego spalania jest powstawanie energii cieplnej oraz końcowych produktów spalania. Produktami spalania ciał organicznych jest najczęściej dwutlenek węgla i woda. Zbędne produkty spalania są wydalane z organizmu.

Energia, którą człowiek lub zwierzę w ten sposób uzyskuje, to w gruncie rzeczy energia światła słonecznego, pierwotnie pobrana i zmagazynowana przez rośliny w trakcie wstępnej syntezy. Rośliny pobierają

wodę i dwutlenek węgla z powietrza i łączą je, tworząc cukry, skrobię i celulozę, które stanowią główne źródło energii dla zwierząt i ludzi.

Z trzech podstawowych produktów odżywczych: białek, węglowodanów i tłuszczów – za materiał budulcowy uważane są głównie białka. Tłuszcze i węglowodany należą do najbardziej typowych produktów energetycznych, które spalając się w organizmie, uwalniają przy tym energię cieplną. Różne produkty pokarmowe mogą w ogólnej przemianie materii wzajemnie zastępować się pod względem energetycznym. Zjawisko takie nosi nazwę izodynamii. Opierając się na tym, można zaspokajać potrzeby przemiany materii dowolna dietą. Na przykład 100 gramów tłuszczu, które dają przy spalaniu około 4 MJ energii, można zastąpić pod względem energetycznym około 220 gramami węglowodanów lub białek. Człowiek w stanie spoczynku zużywa w ciągu doby na każdy kilogram swojego ciała około 100 kJ energii, w czasie wykonywania pracy średnio ciężkiej około 200 kJ energii, a przy pracy ciężkiej do około 300 kJ energii.

Gdy paliwo węglowodanowe jest spalane w komórkach mięśni, około 25% energii może być wyzwolone jako praca mechaniczna. Człowiek może wykonywać pracę mechaniczną ze średnią mocą kilkuset watów. Nawet w czasie snu osoba dorosła dla podtrzymania funkcji biologicznych zużywa 80 J/s. W czasie jazdy rowerem z prędkością 15 km/h człowiek zużywa około 500 W, przy grze w koszykówkę około 700 W, ale tylko 100 W jest przekazywane na zewnątrz jako energia mechaniczna [49].

W normalnie działającym organizmie powinna istnieć równowaga między ilością energii dostarczanej do organizmu w formie pożywienia i energii zużywanej w czasie przemiany materii. Podczas wzrostu i rekonwalescencji bilans energetyczny powinien być dodatni.

2.4. Powstawanie i przekaz energii w obwodach prądu

Jedna z postaci prawa Ohma stwierdza, że gęstość prądu jest wprost proporcjonalna do natężenia pola elektrycznego, działającego na ładunki swobodne i wywołującego ich uporządkowany ruch. Jeśli w przewodniku występuje pole elektrostatyczne, wytwarzane przez elektrony i jony dodatnie (pole sił kulombowskich), to siły te powodują zawsze taką zmianę ich rozkładu, że pole elektryczne w przewodniku zanika, a potencjały we wszystkich punktach zrównują się. Z tego względu pole sił kulombowskich nie może wywołać stacjonarnego zjawiska uporządkowanego ruchu

ładunków, tj. nie może stanowić przyczyny powstawania stałego prądu elektrycznego.

Aby podtrzymać więc w obwodzie prąd, na ładunki swobodne powinny działać oprócz sił kulombowskich dodatkowo inne, nie elektryczne siły zewnętrzne. Siły te powinny powodować rozdzielanie ładunków i podtrzymywać różnicę potencjałów na końcach przewodnika. Pole elektryczne tych sił zewnętrznych wytwarzają źródła prądu (ogniwa galwaniczne, prądnice, akumulatory) [30].

Wielkością fizyczną, która określa przemianę pracy wykonanej przez te siły zewnętrzne kosztem energii wydatkowanej przez źródło prądu, jest siła elektromotoryczna źródła prądu (SEM). Wartość liczbowa siły elektromotorycznej równa się pracy, jaką wykonują siły zewnętrzne przy przemieszczeniu jednostkowego ładunku dodatniego wzdłuż przewodnika. Siła elektromotoryczna źródła prądu jest przyczyną pojawienia się napięcia na końcach obwodu otwartego i przepływu prądu w obwodzie zamkniętym.

Jeśli zamknięty obwód prądu stałego składa się ze źródła prądu o sile elektromotorycznej E i oporze wewnętrznym r oraz z części zewnętrznej o oporze R, wtedy natężenie prądu I w obwodzie określa prawo Ohma dla takiego obwodu:

$$I = \frac{E}{r + R} . \tag{2.20}$$

Prawo Ohma w tej postaci stanowi odpowiednik prawa zachowania energii dla obwodu elektrycznego. Prąd elektryczny przenosi więc energię. W przypadku gdy prąd elektryczny w obwodzie jest stały, a przewodniki tworzące obwód są nieruchome, praca sił zewnętrznych w źródle prądu zamieniona na energię uporządkowanego ruchu ładunków (prądu elektrycznego) jest w całości przetworzona na energię cieplną, tj. na nagrzewanie elementów obwodu. W czasie t prąd wykona więc pracę W zamienioną na energię cieplną zgodnie ze wzorem:

$$W = I^2 Rt , \tag{2.21}$$

W przypadku przewodnika o długości l, znajdującym się w polu magnetycznym o indukcji magnetycznej B, w którym płynie prąd I, pojawia się siła elektrodynamiczna F, powodująca ruch tego przewodnika:

$$F = BIl . \tag{2.22}$$

W tym przypadku energia przenoszona przez prąd elektryczny jest przetwarzana na energię ruchu przewodnika. Urządzenia, które to umożliwiają, to silniki elektryczne.

Do przesyłania energii elektrycznej służą linie wysokiego napięcia (energoelektryczne). Jest to zespół przewodów metalowych, napowietrznych lub podziemnych. Energia elektryczna jest przesyłana liniami wysokiego napięcia przy pomocy prądów o niskim natężeniu. Przesyłanie energii elektrycznej stało się możliwe po wynalezieniu transformatora, który pozwala na zwiększenie napięcia prądu zmiennego otrzymywanego w prądnicach do znacznych wartości, przy których straty przesyłowe są małe. Okoliczność ta zadecydowała o szerokim wykorzystaniu prądu zmiennego [70].

Pierwsza w dziejach linia wysokiego napięcia połączyła elektrownię wodną w Lauffen w Bawarii z wystawą elektrotechniczną we Frankfurcie nad Menem w roku 1891. Linia o długości 170 km przenosiła prąd trójfazowy o napięciu 8500 V.

Morskie linie kablowe od dawna stanowiły ważny obszar zastosowań technologii przesyłu energii elektrycznej wysokiego napięcia stałego (HVDC – High Voltage Direct Current). Pierwsza przemysłowa linia kablowa HVDC została zbudowana przez koncern ABB przeszło 50 lat temu (1954 r.). Był to morski kabel, łączący wyspę Gotland ze Szwecją, o zdolności przesyłowej 20 MW. Obecnie łączna przepustowość wszystkich linii HVDC na świecie przekroczyła już 8000 MW, a według przewidywań w 2005 r. osiągnie 14000 MW [19].

2.5. Przekaz energii fal elektromagnetycznych

Przekaz energii w postaci fal elektromagnetycznych łączy się bezpośrednio z przekazem informacji, ponieważ współcześnie informacja przekazywana jest najczęściej przy ich wykorzystaniu. Radio, telewizja, telefony komórkowe itd. to różne formy przekazywania informacji zakodowanych w postaci zmodulowanych fal elektromagnetycznych.
Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych opisują równania Maxwella, stanowiące podstawę elektromagnetyzmu. Zapisuje się je w postaci całkowej i różniczkowej. Równania przedstawiają się następująco [30]:

— **I równanie** odpowiada prawu Faradaya indukcji elektromagnetycznej i mówi, że zmienne pole magnetyczne w dowolnym punkcie przestrzeni wytwarza zmienne wirowe pole elektryczne.

Przedstawia to równanie w postaci całkowej:

$$\oint(\mathbf{E}, d\mathbf{l}) = -\frac{\delta\Phi}{\delta t}, \tag{2.23}$$

gdzie: dl – element obwodu zamkniętego,

$\frac{\delta\Phi}{\delta t}$ – zmiana strumienia magnetycznego przenikającego przez obwód, w czasie δt.

— **II równanie** odpowiada poszerzonemu prawu Ampera i mówi, że przyczyną powstawania pola magnetycznego jest prąd przewodzenia płynący w przewodniku oraz prąd przesunięcia w przestrzeni (zmiany pola elektrycznego).

Przedstawia to równanie w postaci całkowej:

$$\oint(\mathbf{H}, d\mathbf{l}) = \sum_{k=1}^{n} I_k + \frac{\delta\Phi}{\delta t}, \tag{2.24}$$

gdzie: **H** – wektor natężenia pola elektrycznego,
dl – element obwodu zamkniętego,
I_k – prąd przewodzenia,
$I_{przesunięcia}$ = (prąd przesunięcia).

— **III równanie** odpowiada prawu Gaussa, z interpretacją, że źródłem pola elektrycznego o strumieniu wektora indukcji **D**, przez dowolną powierzchnię zamkniętą S jest ładunek q. Przedstawia to równanie w postaci całkowej:

$$\oint DdS = q, \tag{2.25}$$

gdzie: dS – element powierzchni.

— **IV równanie** również odpowiada prawu Gaussa dla strumienia magnetycznego Φ (Φ = **B** S) przechodzącego przez dowolną powierzchnię zamkniętą S i mówi, że pole magnetyczne jest bezźródłowe. Przedstawia to równanie w postaci całkowej:

$$\oint Bds = 0, \tag{2.26}$$

gdzie: B – wektor indukcji magnetycznej,
dS – element powierzchni.

Odpowiednio równania Maxwella w postaci różniczkowej wyglądają następująco:

I. $$\text{rot}\,\mathbf{E} = -\frac{\delta B}{\delta t}\,, \tag{2.27}$$

II. $$\text{rot}\,\mathbf{H} = j_{\text{przewodzenia}} + j_{\text{przesunięcia}}\,, \tag{2.28}$$

gdzie: $j_{\text{przewodzenia}}$ – gęstość prądu przewodzenia,
$j_{\text{przesunięcia}}$ – gęstość prądu przesunięcia,

I. $$\text{div}\,\mathbf{D} = \rho, \tag{2.29}$$

gdzie: ρ = gęstość ładunku elektrycznego,

$$\text{div}\,\mathbf{B} = 0. \tag{2.30}$$

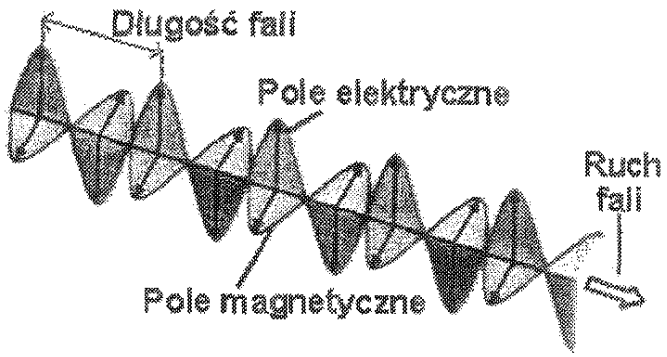
Maxwell nie tylko wyjaśnił zjawiska elektryczne i magnetyczne za pomocą powyższych równań, ale także wykazał, że przyspieszony ładunek musi promieniować pole elektryczne i magnetyczne oddalające się od źródła z prędkością $\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0}}$ m/s (μ_o – przenikalność magnetyczna próżni, ε_o – przenikalność elektryczna próżni). Wykazał także, że pola elektryczne i magnetyczne promieniowania są do siebie prostopadłe i tworzą także kąt prosty z kierunkiem rozchodzenia się fali elektromagnetycznej [50].

Jeśli spojrzeć na równania Maxwella, to można zobaczyć, że pola elektryczne i magnetyczne mogą utrzymywać się nawet po wyłączeniu źródła. Zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie zmiennego wirowego pola elektrycznego, a to z kolei zmiennego wirowego pola magnetycznego itd. Jeśli energia pola nie zostanie rozproszona, proces ten będzie trwał wiecznie, a w przestrzeni będzie się rozchodzić fala elektromagnetyczna o stałej prędkości równej c.

Do przekazu informacji wykorzystuje się fale elektromagnetyczne biegnące wzdłuż przewodów oraz w przestrzeni. Schemat rozchodzenia się fal elektromagnetycznych jako wzajemnie prostopadłych do siebie i do kierunku rozchodzenia się fali, drgań pól: elektrycznego i magnetycznego, przedstawiono na Rys. 2.1.

Energia fali składa się z dwóch części: elektrycznej i magnetycznej [70]. Gęstość energii pola elektrycznego jest równa:

$$W_e = \frac{1}{2}\,\varepsilon_o\,E^2\,, \tag{2.31}$$



Rys. 2.1. Schemat rozchodzenia się fal elektromagnetycznych (www.fizyka.net.pl)

ale:

$$E = \mu_o \, cH, \tag{2.32}$$

więc po podstawieniu do 2.32:

$$W_e = \frac{1}{2} \, \varepsilon_o \, \mu_o \, c \, E \, H, \tag{2.33}$$

gęstość zaś energii pola magnetycznego jest równa:

$$W_m = \frac{1}{2} \, \mu_o \, H^2, \tag{2.34}$$

ale:

$$H = \varepsilon_o \, c \, E, \tag{2.35}$$

więc po podstawieniu do 2.34:

$$W_m = \frac{1}{2} \, \varepsilon_o \, \mu_o \, c \, E \, H, \tag{2.36}$$

stąd całkowita gęstość energii jest równa:

$$W = W_e + W_m = \varepsilon_o \, \mu_o \, c \, E \, H. \tag{2.37}$$

Energia ta płynie w kierunku rozchodzenia się fali, z prędkością światła. Wartość oraz kierunek ilości energii fali w próżni, przechodzącej przez powierzchnię w jednostce czasu, opisuje (w układzie SI) wektor Poytinga [70]:

$$\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}. \tag{2.38}$$

Wektor Poytinga (wektor chwilowej gęstości strumienia energii elektromagnetycznej) jest to wektor **P**, którego kierunek pokrywa się z kierunkiem rozchodzenia się fali elektromagnetycznej, a wielkość równa się ilości energii przechodzącej w ciągu jednostki czasu przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku tego wektora i jednocześnie do kierunku wektorów **E** i **H**, zgodnie z własnościami iloczynu wektorowego.

Wprowadzenie wektora Poytinga pozwala wyraźnie podkreślić różnicę między prędkością rozchodzenia się zaburzenia elektromagnetycznego wzdłuż przewodnika a prędkością poruszania się elektronów wzdłuż przewodnika.

Powyższe rozważania dotyczą przypadku idealnego, gdy nie uwzględnia się strat energii na ogrzewanie przewodów.

W przypadku przekazu informacji drogą radiową fale elektromagnetyczne rozchodzą się w przestrzeni. Potrzebny jest nadajnik z anteną. W najprostszym przypadku jest to dipol elektryczny (oscylator Hertza). Hertz usunął z obwodu LC cewkę i zastąpił ją prostymi przewodami (zmniejszył przez to indukcyjność L obwodu) oraz rozsunął okładki kondensatora, by zmniejszyć pojemność C. To spowodowało „wydostanie" się linii pola elektrycznego na zewnątrz. Schemat takiego prostego oscylatora połączonego z induktorem jako źródłem drgań elektrycznych przedstawiono na Rys. 2.2.

W dużych odległościach od źródła fal wytwarzają się fale płaskie. Natężenie pola wynosi wtedy [70]:

$$H = 5\frac{l\,I}{r\,\lambda}\sin\varphi\cos 2\pi\left(\frac{T}{t}-\frac{r}{\lambda}\right), \tag{2.39}$$

gdzie: φ – kąt utworzony przez kierunek rozchodzenia się fali z osią dipola,

λ – długość fali,

l – długość dipola,

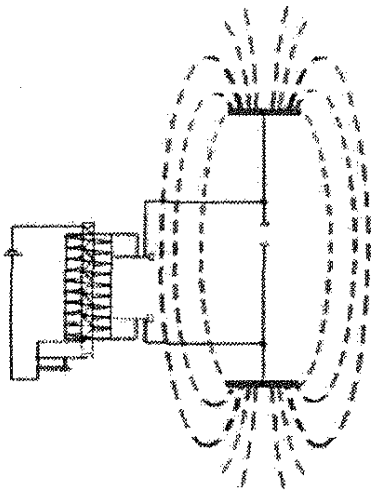
r – odległość od środka dipola,

T – okres drgań elektromagnetycznych źródła,

t – czas rozchodzenia się fali do punktu odległego o r od dipola,

oraz

$$E = (\sqrt{\mu_0/\varepsilon_0})\,H \tag{2.40}$$



Rys. 2.2. Schemat prostego oscylatora elektrycznego (www.fizyka.kopernik.mielec.pl)

Wzory te są słuszne tylko w obszarze, w którym fale mogą być uważane za płaskie. W sąsiedztwie dipola zależności są bardziej skomplikowane.

Promieniujący dipol traci energię elektryczną, która przetwarza się w energię fali. Dlatego też, chcąc uzyskać falę o stałym natężeniu, należy antenę wciąż zasilać energią. Strata energii jest wprost proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu w antenie, a więc ma podobny charakter jak strata energii na ciepło. Można więc mówić o oporze promieniowania, rozumiejąc przez to opór zastępczy, który spowodowałby straty na ciepło równe stratom na promieniowanie. Ten opór promieniowania jest odwrotnie proporcjonalny do kwadratu długości fali elektromagnetycznej.

3. Informacja i jej przekaz

Informację (z łacińskiego *informatio* – przedstawienie, wizerunek, *informare* – kształtować, przedstawiać) rozumie się jako treść komunikatu, sens przekazywanej wiadomości. Potocznie jest to wiadomość, komunikat, powiadomienie o czymś, zakomunikowanie czegoś, przekazanie wiadomości dotyczącej czegoś lub kogoś.

W czasach starożytnych i średniowiecznych termin „informacja" używany był przede wszystkim w opisie i wyjaśnianiu poznania, oznaczał treść poznawczą pochodzącą od rzeczy. Informacja była rozumiana jako rezultat czynności „in-formowania", czyli formułowania treści poznawczych. Pierwotne znaczenia terminu „informacja" miały związek z dziedziną poznania i społecznego funkcjonowania człowieka. Przez informację rozumiano również pouczenie (instrukcję) oraz rezultat pouczenia.

W filozofii scholastycznej termin „informatio" używany był jako termin techniczny, stosowany na określenie „in-formowania", to znaczy zdeterminowania, ukonstytuowania materii nad formę. Termin ten oznaczał zarówno proces formowania, jak i jego rezultat. W myśli scholastycznej informację rozumiano również jako ograniczenie intelektu przez formę.

Dziś informacją nazywa się dowolną wiadomość, na podstawie której odbiorca wiadomości opiera swoje działanie. Termin ten oznacza między innymi dane (wyrażone za pomocą znaków językowych), które można gromadzić, przetwarzać i przekazywać [4].

Źródłem informacji jest układ, skąd wiadomość pochodzi. Klasyfikacja wiadomości jest następująca [47]:

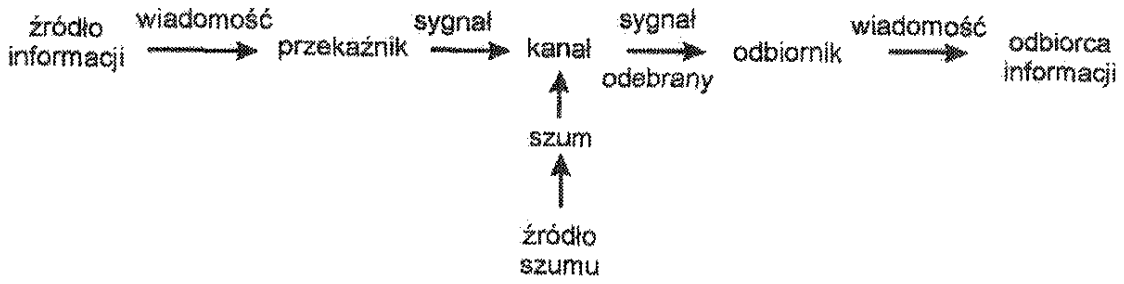
— zbiór binarny (x_2) jest najprostszym zbiorem zawierającym wiadomość typu tak – nie, które mogą być zakodowane w postaci układu cyfr 0-1,

— dyskretny zbiór wiadomości (x_L) zawiera wiadomości x_i, gdzie i = 1, 2, 3,..., L. Przykładem może być zbiór liter alfabetu polskiego (L = 32). Wiadomości tego typu mają na ogół strukturę ciągów zbudowanych z wiadomości elementarnych. W przypadku alfabetu będą to litery,

— ciągły zbiór wiadomości (x) zawiera wiadomości, których obrazem graficznym może być odcinek $<x_a , x_b>$. Taki zbiór nazywa się zbiorem jednowymiarowym. Przykładem może być zbiór wskazań mierników mierzących w sposób ciągły różne wielkości fizyczne, takie jak: temperatura, ciśnienie, napięcie elektryczne itp. Tego typu zbiór wiadomości może być również wielowymiarowy, np. zbiór współrzędnych obiektu w przestrzeni.

3.1. Model Shannona-Weavera przekazu informacji

Claude Shannon i Warren Weaver w 1947 stworzyli ogólny model przekazu informacji [62]. Jeśli rozważyć typowe formy przekazywania informacji, można zauważyć, że omawiany model mniej stosuje się do bezpośrednich form komunikowania się między ludźmi, a bardziej do form pośrednich, takich jak radio, gazety, telefon itp., gdzie jest wprowadzona technologia przekazu informacji.
Dla przykładu: telefon przekształca fale dźwiękowe na impulsy elektryczne, przekazuje je za pomocą przewodu, aby na końcu linii powrócić do fal głosowych. Schemat modelu przedstawiono na Rys. 3.1.



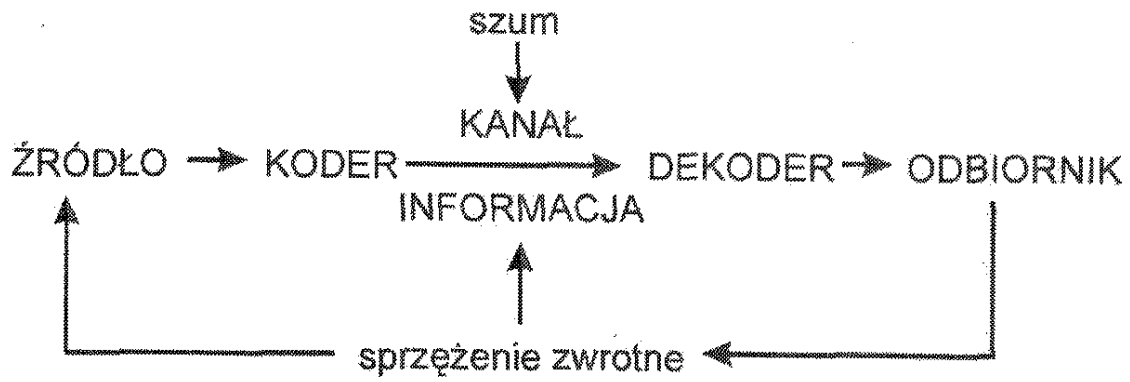
Rys. 3.1. Schemat ogólnego modelu przekazu informacji Shannona-Weavera

Źródło informacji przekazuje wiadomość poprzez przekaźnik, w którym następuje przetwarzanie tej wiadomości w odpowiedni sygnał lub ciąg sygnałów, które mogą być przekazane kanałem informacyjnym do odbiornika sygnałów. Odbiornik sygnałów przetwarza z powrotem sygnały w określoną informację. Istnieje możliwość, że na sygnał przenoszący wiadomość może nałożyć się szum informacyjny pochodzący z jakiegoś źródła szumów. W efekcie odbiorca nie musi odebrać identycznych sygnałów, jakie zostały wysłane przez przekaźnik informacji.

Model Shannona-Weavera (S-W) zakłada, że każdy przekaz informacji musi zawierać sześć elementów:

— źródło informacji,
— koder,
— informacja,
— kanał informacyjny,
— dekoder,
— odbiornik informacji.

Te sześć elementów przedstawia graficznie Rys. 3.2.



Rys. 3.2. Podstawowe elementy przekazu informacji

W omawianym modelu S-W, jeśli źródło informacji zamierza przekazać jakąś wiadomość, musi ona zostać zakodowana. Wymagane jest więc urządzenie kodujące, które przetworzy wiadomość w taką formę kodu, który może być przekazany w formie sygnałów do odbiorcy. W przypadku rozmowy telefonicznej rolę urządzenia kodującego odgrywa mikrofon, który przetwarza dźwięki w sygnały elektryczne, które mogą być przesłane do słuchawki.

W przypadku bezpośredniego przekazu wiadomości od człowieka do człowieka proces kodowania zachodzi bezpośrednio podczas artykułowania informacji w formie słów wraz ze zmianą natężenia dźwięków, modulacją i gestykulacją. Mazur [42] nazywa taką formę przekazu informacji parainformowaniem.

Przykładem może być przekaz wiadomości od nauczyciela do ucznia za pośrednictwem mowy. Źródłem wiadomości jest umysł nauczyciela, nadajnikiem są usta wysyłające sygnały, w postaci słów i zdań, które są ciągami sygnałów elementarnych (dźwięków). Kanałem jest powietrze przenoszące dźwięki. Odbiornikiem sygnałów są uszy ucznia. Obiektem

przeznaczenia wiadomości jest umysł ucznia, który przetwarza odebrane dźwięki w wysłaną wiadomość.

Określone ciągi sygnałów elementarnych nazywa się ciągami kodowymi. Poszczególnym wiadomościom, które są przekazywane przy pomocy określonego systemu przekazu informacji, są przyporządkowane ciągi kodowe. Zbiór ciągów kodowych wraz z zasadą ich przyporządkowania do odpowiednich wiadomości nazywa się kodem. Kodowanie jest operacją przyporządkowania do wiadomości odpowiednich ciągów kodowych.

Model S-W wyraźnie oddziela przekazywaną wiadomość od innych komponentów procesu komunikowania się, przy czym podstawowym pytaniem w procesie przekazu informacji jest, w jakim zakresie wiadomość odebrana pokrywa się z wiadomością przekazywaną.

Jednym z elementów systemu przekazywania informacji jest kanał. W kanale mogą powstawać zniekształcenia wysłanego sygnału. Te zniekształcenia, zwane szumem informacyjnym, nakładają się na przekazywane sygnały. Ilustruje to wzór:

$$S_o = S_w + S_z, \tag{3.1}$$

gdzie: S_o – sygnał odebrany,
S_w – sygnał wysłany,
S_z – sygnał zakłócający (szum informacyjny).

Ważny jest wybór kanału przekazu informacji. Należy wybierać taki kanał, który jest jednakowo dostępny dla nadawcy i odbiorcy wiadomości. Nie można np. przekazać informacji wizualnej ludziom niewidomym.

Model S-W dzieli szumy na fizyczne i semantyczne (znaczeniowe). Przykładami szumów fizycznych, z którymi mamy do czynienia na co dzień są:

— hałas uliczny podczas próby przekazu informacji głosowej,
— zasłanianie odbiornika telewizyjnego przez inną osobę,
— mgła przysłaniająca widok z samochodu,
— plamy na dokumencie,
— śnieżenie na ekranie TV itp.

Szumy te są do usunięcia, jeśli odbiorca lub nadawca informacji znają przyczynę szumu. Gorzej jest, gdy wiadomość jest zniekształcona przez przeciążenie kanału informacyjnego. Przeciążenie nie jest spowodowane przez źródło szumu, ale raczej przez przekroczenie pojemności

kanału podczas przekazu informacji od wielu źródeł. Tak jest na przykład podczas burzliwych dyskusji, gdzie zabiera głos równocześnie wielu dyskutantów. W tym przypadku jedne źródła informacji stają się źródłami szumów dla innych źródeł.

Szum semantyczny jest trudniejszy do zdefiniowania. Zależy od poziomu wiedzy ludzi przekazujących sobie wiadomość, ich umiejętności komunikacyjnych, ich doświadczenia, uprzedzeń itp. Można tu zaliczyć następujące rodzaje szumów:

— rozproszenie wiadomości przez szczególne zwrócenie uwagi na osobę, która przekazuje wiadomość bądź na inną osobę,
— różnice w użyciu kodów, tj. inne rozumienie znaczeń sygnałów, pod którymi jest zakodowana wiadomość, przez nadawcę i odbiorcę wiadomości,
— podkreślanie niewłaściwych części wiadomości, uważanych za ważne z punktu widzenia odbiorcy a zupełnie błahe dla nadawcy,
— stosunek do przekazującego wiadomość,
— stosunek do treści wiadomości.

Zakodowane wiadomości są rozkodowywane przez dekoder, to znaczy przez układ odtwarzający wiadomości na podstawie odebranych zakodowanych sygnałów. W przypadku bezpośredniego przekazu informacji między ludźmi mózg ludzki poprzez zmysły odbiera zakodowaną wiadomość i rozkodowuje ją.

W modelu S-W wiadomości są zakodowane w ciągi kodowe, te zaś są przekazywane przez kanał, odbierane przez odbiornik i rozkodowane. Zostaje podjęta decyzja o nadanej wiadomości w oparciu o odebrany ciąg sygnałów elementarnych. W prawidłowym torze informacyjnym nieodzowny jest kanał sprzężenia zwrotnego, gdyż kanałem tym obiekt przeznaczenia informacji może przekazać decyzję tzw. neutralną, która informuje nadawcę wiadomości, że z odebranych sygnałów kodowych nadanej wiadomości odtworzyć nie można.

Celem przekazu informacji jest nie tylko odbiór sygnałów, lecz także odbiór wysłanej wiadomości. Obiekt przeznaczenia wiadomości musi zatem podjąć odpowiednią decyzję po zdekodowaniu odebranych sygnałów. Ostateczna decyzja o odebranej wiadomości jest podejmowana w dwu etapach:

— podejmowanie decyzji o odbiorze kolejnych sygnałów,
— podejmowanie decyzji o nadanej wiadomości.

Istnieje tylko skończone prawdopodobieństwo, że źródło informacji prawidłowo dobierze sygnały dla przekazania informacji, istnieje również

skończone prawdopodobieństwo, że sygnały te nie zniekształcone dotrą do odbiorcy oraz że zostaną prawidłowo rozkodowane, dlatego zarówno wysyłanie, jak i odbiór sygnałów oraz podjęcie decyzji dotyczącej odebranej wiadomości mają charakter probabilistyczny.

3.2. Podstawy matematycznej teorii informacji

Pierwszym, który przedstawił informację jako wielkość mierzalną, był Hartley [25]. Jako punkt wyjścia przyjął znaki dwuznakowego dalekopisu, który mógł przenosić 32 sygnały typu 1 lub 0. Informacja, jaką niósł wg niego jeden znak, wynosiła:

$$i = \log_2 32 = \log_2 2^5 = 5 \text{ bitów/znak.} \tag{3.2}$$

Teorię informacji rozwinął w 1948 Shannon [61].Teoria ta nie ocenia wagi semantycznej informacji, ale może określić jej ilość. Jest to wielkość mierzalna fizycznie. Teoria informacji zajmuje się głównie optymalizacją przekazu informacji, jednak w niniejszym artykule będą rozważane te jej aspekty, które są związane z obserwacją układów fizycznych i pomiarami przeprowadzonymi w tych układach. Jeśli wziąć pod uwagę układ, który może się znajdować w jednym spośród $P_0 > 1$ różnych stanów o jednakowym prawdopodobieństwie zaistnienia i przeprowadzić jego obserwację, to wtedy po obserwacji można ustalić stan $P_1 = 1$, w którym znajduje się układ.

Jeśli przed obserwacją ilość informacji o układzie wynosiła $I_0 = 0$, to po obserwacji ilość informacji $I_1 > 0$. Ilość tę określa wyrażenie:

$$I_1 = K \ln P_0, \tag{3.3}$$

gdzie K jest wielkością stałą.

Wprowadzenie logarytmu jest uwarunkowane wymaganiem, aby ilość informacji miała cechę addytywności. W układzie będącym zespołem n niezależnych stanów elementarnych 1 lub 0 całkowita liczba stanów wynosi $P = 2^n$. Stąd ilość informacji można wyliczyć ze wzoru:

$$I = K n \ln 2. \tag{3.4}$$

Jeśli utożsamiać ilość informacji I z liczbą n jednostek dwójkowych, tzw. bitów, wtedy współczynnik $K = 1/\ln 2 = \log_2 e$, a ilość

$$I = \log_2 P = \log_2 2^n = n \text{ bitów.} \tag{3.5}$$

1 bit informacji uzyskuje się wtedy, gdy prawdopodobieństwa zaistnienia obu stanów 1 lub 0 są jednakowe ($P_0 = P_1 = 1/2$).

Jeśli przed obserwacją liczba możliwych stanów, w jakich może znaleźć się układ wynosiła $P_0 > 1$ oraz po obserwacji $P_1 \geq 1$, to wtedy

$$I_1 = K \ln (P_0/P_1) = K \ln P_0 - K \ln P_1, \tag{3.6}$$

a w zespole stanów 1 lub 0, w bitach:

$$I_1 = \log_2 P_0 - \log_2 P_1 \tag{3.7}$$

Jeśli rozważyć układ dwóch symboli 1 lub 0, to w przypadku N możliwych stanów można przyjąć, że N_0 stanów przyjmie postać 0, a N_1 stanów przyjmie postać 1, przy czym

$$N_0 + N_1 = N.$$

Prawdopodobieństwa, że N_0 stanów przyjmie postać 0 oraz że N_1 stanów przyjmie postać 1, wynoszą odpowiednio:

$$P_0 = N_0/N \quad \text{i} \quad P_1 = N_1/N, \quad \text{przy czym} \quad P_0 + P_1 = 1. \tag{3.8}$$

Jako przykład może posłużyć dwuznakowy alfabet Morse`a. Można znaleźć liczbę sposobów pojawienia się znaku 0 jako kombinację N_0 elementów spośród N możliwych:

$$P = N!/(N_0!\, N!). \tag{3.9}$$

Jest to liczba różnych słów zbudowanych z N „liter" 1 i 0, gdzie 0 jest używane N_0 razy, a $1 - N_1$ razy. Ilość informacji przypadająca na jedno wybrane słowo wynosi więc:

$$I = K \ln P = K (\ln N! - \ln N_0! - \ln N_1!). \tag{3.10}$$

Jeśli słowo jest długie oraz N, N_0, N_1 duże, to logarytmy silni mogą być aproksymowane za pomocą wzoru Stirlinga [10] w następujący sposób:

$$\ln Q! \approx Q (\ln Q - 1). \tag{3.11}$$

Można więc zapisać, że:

$$I \approx K [N (\ln N - 1) - N_0 (\ln N_0 - 1) - N_1 (\ln N_1 - 1)], \tag{3.12}$$

ale $N = N_0 + N_1$, więc ostatecznie średnia ilość informacji przypadająca na jedno słowo wynosi:

$$I \approx -K\,N\,[\,N_0/N \ln (N_0/N) + N_1/N \ln (N_1/N)]. \qquad (3.13)$$

Biorąc pod uwagę prawdopodobieństwa P_0 i P_1 z (3.8), można zapisać:

$$I \approx -K\,N\,(P_0 \ln P_0 + P_1 \ln P_1) = N\,i, \qquad (3.14)$$

gdzie i to średnia ilość informacji przypadająca na jedną literę (0 lub 1). Stąd:

$$i = -K\,(P_0 \ln P_0 + P_1 \ln P_1) \qquad (3.15)$$

lub w bitach:

$$i = -(p_0 \log_2 P_0 + p_1 \log_2 P_1). \qquad (3.16)$$

Uogólniając, można zapisać, że średnia ilość informacji przypadająca na symbol, traktowana jako wynik wyboru j-tego układu spośród N możliwości, wynosi:

$$i = -K \sum_{j=1}^{N} P_j P_j \ln P \quad . \qquad (3.17)$$

Jest to wzór Shannona [61]. Ilość informacji przypadająca na symbol wyrażona w bitach wynosi odpowiednio:

$$i = -\sum_{j=1}^{N} P_j \log_2 P_j \; . \qquad (3.18)$$

gdzie p_j – prawdopodobieństwa występowania poszczególnych symboli. Jeśli prawdopodobieństwa są równe, tj. $p_1 = p_2 = \ldots = 1/N$, wtedy średnia ilość informacji przypadająca na symbol wynosi:

$$i = -K \ln (1/N) = K \ln N, \qquad (3.19)$$

lub wyrażona w bitach:

$$i = \log_2 N \quad \text{gdzie} \quad N = 2^n \quad \text{stąd} \quad i = n. \qquad (3.20)$$

Ilość informacji w teorii łączności Shannona nazywa się również entropią [61]. Nazwa ta pojawiła się w wyniku matematycznych i pojęciowych analogii z entropią pojęciem mechaniki statystycznej. W termodynamice entropia określa stopień nieuporządkowania układu, wzrost entropii oznacza zmniejszenie wiedzy o układzie, czyli zwiększenie jego nieuporządkowania.

Dostarczenie informacji o układzie zmniejsza jego entropię, zwiększa uporządkowanie. Wzór (3.17) i następne można więc przedstawiać również jako entropię H, gdzie i = H.

Jeśli symbolami są cyfry przedstawiające liczbę będącą np. odczytem miernika, to wtedy ilość informacji przypadająca na jedną cyfrę zależy od systemu przedstawiania liczby. W systemie dwójkowym podstawa logarytmu wynosi 2. Przedstawia to wzór (3.20). Istnieje wtedy 2^n możliwości odczytu liczby (i = n bitów, czyli n cyfr zapisu dwójkowego).

Jeśli liczba zostanie przedstawiona w systemie dziesiętnym przez n cyfr, wtedy:

$$i = \log_2 10^n \quad \text{stąd} \quad i = n \log_2 10 \approx 3{,}32\ n \text{ bitów}. \qquad (3.21)$$

Widać, że cyfra systemu dziesiątkowego niesie 3,32 razy więcej informacji niż cyfra systemu dwójkowego.

Jak już wspomniano na wstępie, teoria informacji nie zajmuje się wartością informacji, tzn. jest obojętne, jakie znaczenie ma informacja dla odbiorcy. Znaczenie to jest subiektywne dla danego odbiorcy informacji i jest niemierzalne.

Gdy jest wykonywany pomiar wielkości fizycznej o stałej wartości, interesująca jest tylko dana informacja, gdyż mierzona wielkość jest stała w czasie. Jeśli jednak mierzona wielkość zmienia się w czasie, np. odległość między dwoma obiektami, wtedy już trzeba mówić o prądzie informacji. Dla przekazu informacji potrzebny jest skończony czas.

Przekaz informacji może dotyczyć następujących układów:

— człowiek – człowiek,
— człowiek – maszyna,
— maszyna – człowiek,
— maszyna – maszyna,
— ciało fizyczne – ciało fizyczne.

Informacje są przekazywane z określoną prędkością. Prędkość przekazu informacji inaczej nazywa się prądem informacji. Jednostką jest 1 bit/sekundę. Informację można przekazywać przy pomocy fal akustycznych, fal świetlnych, cząstek elementarnych itp.

Rozważania dotyczące ilości informacji otrzymanej z pomiarów dotyczą człowieka lub urządzenia, którzy wykonują pomiar. Informacje docierają do nich podczas obserwacji. W przypadku prądu informacji aspekt jest szerszy.

Wiadomo powszechnie, że do zajścia każdego obserwowalnego faktu fizycznego potrzebna jest energia. Drugim jednak warunkiem zajścia

takiego faktu jest uzyskanie dostatecznej ilości informacji. Ziemia nie mogłaby biegnąć po swojej orbicie, jeśliby informacje o innych masach, konieczne dla określenia składników metrycznego tensora, byłyby niedostateczne. Elektron nie mógłby poruszać się po odpowiednim torze w rurze katodowej bez informacji o odchylających go natężeniach pól, elektrycznego i magnetycznego. W pierwszym przypadku wykorzystywane jest pole grawitacyjne, w drugim elektromagnetyczne, ale wspólna jest prędkość rozprzestrzeniania się sygnałów, nośników informacji.

W Tab. 1 przedstawiono prądy informacji przepływające w najczęściej stosowanych nośnikach [26].

Tab. 1. Wartości prądów informacji dla różnych nośników

Nośnik informacji	**Prąd informacji (bit/s)**
Alfabet Morse'a	3
Dalekopis	40
Telefon	64 000
Radio	100 000
Telewizja	100 000 000
Nerwy: ucho–mózg	100 000
Nerwy: oko–mózg	10 000 000

Można określić, jaki prąd informacji pochodzi od elektronu o masie spoczynkowej m_0 i energii m_0c^2. Zgodnie z zasadą nieoznaczoności $\Delta E\,\Delta T \geq h$. Stąd przedział czasu ΔT, w którym można przekazać N bitów informacji powinien wynosić:

$$N/\Delta T \leq \Delta E/h = m_0c^2/h, \tag{3.22}$$

stąd

$$\Delta T \geq N\,h/m_0c^2 = 1{,}2\,N \cdot 10^{-21}\ \text{s}. \tag{3.23}$$

W tym czasie fala elektromagnetyczna przebędzie odległość:

$$c\Delta T \geq 3{,}6 \cdot 10^{-13}\ \text{m}.$$

W czasie $1{,}2 \cdot 10^{-21}$s elektron może przekazać 1 bit informacji. Dla 1000 bitów można otrzymać typową atomową odległość, równą około $3{,}6 \cdot 10^{-10}$m.

3.3. Przekazywanie informacji na odległość

Od najdawniejszych czasów ludzie dążyli do usprawniania systemów przekazywania informacji na duże odległości. Początkowo informacje przenosili kurierzy piesi i konni, równocześnie jednak powstawały systemu przekazu informacji o ważnych zdarzeniach np. zapalane ognie na wzgórzach, sygnały dymne, dźwięki bębnów.

System przekazywania informacji za pomocą sygnałów świetlnych nazwano telegrafem optycznym. Stosowano go już w starożytności. Już około 1184 roku p.n.e. przesłano do Myken wiadomość o zdobyciu Troi za pomocą łańcucha sygnałów ogniowych. W podobny sposób cesarz Klaudiusz zawiadomił w 43 roku n.e. Rzym o zwycięstwie w Brytanii. W starożytnej Kartaginie i Grecji używano także telegrafu optycznego złożonego z pochodni i zegara wodnego. Uruchomianie i wyłączanie zegara wodnego sygnalizowano pochodnią, a poziom wody wskazywał umowną informację. Grecy przekazywali też poszczególne litery przez odpowiednie ustawienie kilku pochodni. Do naszych czasów przetrwała sygnalizacja chorągiewkami na morzu [19].

Dopiero w 1794 roku Claude Chappe [19, 64] zbudował we Francji telegraf optyczny, oparty na semaforach. W systemie tym za pomocą odpowiedniego ustawienia trzech ruchomych belek na maszcie można było przekazać poprzez łańcuch stacji (rozmieszczonych na wyniosłościach lub wieżach) dowolną literę. Pierwszą linią telegrafu optycznego połączono Paryż z Lille. W XIX wieku system ten szybko rozpowszechnił się w Europie. W Polsce pierwsza linia telegrafu optycznego powstała w 1830 roku i połączyła Warszawę z Modlinem w 1830 [18, 19]. W 1835 zbudowano linię telegrafu optycznego z Warszawy do Petersburga, a w 1838 linię Warszawa – Moskwa, złożoną z 220 stacji obsługiwanych przez 1320 operatorów [19]. Telegraf optyczny został jednak szybko wyparty przez telegraf elektryczny.

Pierwszy projekt przesyłania informacji za pomocą impulsów elektrycznych przesyłanych przewodami opublikowany został już w 1753. Jego autor Anglik Charles Morrison proponował użycie osobnego przewodu dla każdej litery. Na takiej zasadzie w latach 1809–1810, został zbudowany telegraf przez Samuela von Soemmeringa z Monachium. Linia przesyłowa składała się z 55 drutów.

Kolejnym projektem był telegraf igiełkowy, w którym wychyleniom igły znajdującej się w polu magnetycznym odpowiadały poszczególne li-

tery. Pracowało nad tym sposobem przekazywania informacji szereg uczonych niezależnie od siebie. Byli to: Rosjanin, Paweł Szyling (1832), Niemcy, Karl F. Gauss i Wilhelm E. Weber (1833) i Karl A. Steinheil (1837), Anglicy, Wiliam F. Cooke i Charles Wheatstone (1836). Ci ostatni w 1839 zbudowali linię telegraficzną na kolei Paddington – West Drayton, a w 1843 przedłużyli ją do Slough.

W tym czasie pracował również nad swoim telegrafem Amerykanin, Samuel Morse. Zbudował prototyp w 1835, w 1837 otrzymał na niego patent, a w 1840 wprowadził stosowany do dziś kod telegraficzny złożony z kropek i kresek – tzw. alfabet Morse`a. Pierwszą linię telegraficzną Waszyngton–Baltimore otwarto 24 maja 1844 [15, 53]. Nastąpił ogromny, żywiołowy rozwój telegrafii elektrycznej na całym świecie. W latach 1857–1866 położono kabel telegraficzny między Europą i Ameryką.

Kolejny olbrzymi krok do przodu w dziedzinie rozwoju telekomunikacji poczynił Amerykanin, Alexander G. Bell, który w roku 1876 wynalazł telefon. Już w 1878 otwarto pierwszą centralę telefoniczną w New Haven w USA, a w 5 lat później zainstalowano pierwszą linię telefoniczną między Bostonem a Nowym Jorkiem. W 1891 położono kabel telefoniczny między Anglią i Francją, a w 1892 w La Porte w USA otwarto pierwszą automatyczną centralę telefoniczną. Pierwszy transatlantycki kabel telefoniczny położono w 1956. W 1966 w Anglii Charles Kao wpadł na pomysł użycia światłowodów do transmisji telekomunikacyjnych, a w 1977 w Kalifornii zainstalowano pierwszy kabel światłowodowy.

Następnym odkryciem w dziedzinie przesyłu informacji była telegrafia bezprzewodowa (radiotelegraf), wynaleziona w 1894 przez Włocha, Guglielmo Marconiego. Podstawą wynalazku były doświadczenia H. Hertza, które w 1887 doprowadziły do odkrycia, przewidzianych teorią Maxwella, fal elektromagnetycznych.

W 1900 roku w USA Reginald Fessenden pierwszy nadał głos przez radio. Nastąpił gwałtowny rozwój tej dziedziny przekazu informacji, zwłaszcza po wynalezieniu w 1902 przez Fessendena układu superheterodyny i w 1904 przez Johna A. Fleminga lampy elektronowej z termokatodą. W 1920 stacje w Detroit i Pittsburgu (USA) rozpoczęły nadawanie regularnych audycji radiowych. Pierwsza w Polsce doświadczalna radiostacja rozpoczęła pracę w Warszawie 1 lutego 1925, a Polskie Radio Warszawa zaczęło nadawać stały program 18 kwietnia 1926 roku.

W międzyczasie pojawił się telegraficzny aparat piszący, sterowany na odległość impulsami elektrycznymi. Próby budowy takich urządzenia

podejmowali: Charles Wheatstone (1841), Alexander Bain (1843) i R.E. House (1845–1852), jednak pierwszy praktyczny aparat skonstruował David E. Hughes dopiero w 1855 roku. Aparat ten natychmiast znalazł zastosowanie w USA, a w 1861 w Europie, we Francji, jednak do powszechnego użytku wprowadził dalekopis w USA w 1910 Charles Krumm [18,19]. W 1932 poczta brytyjska wprowadziła system TELEX.

System przekazywania obrazu przy pomocy fal elektromagnetycznych stał się możliwy dzięki wynalezieniu w 1878 przez Anglika, Wiliama Crookesa, lampy wytwarzającej promienie elektronowe oraz w 1897 przez Niemca Karla Brauna oscylografu katodowego.

Próby realizacji telewizji monochromatycznej umożliwiło również wynalezienie komórki fotoelektrycznej [19, 64].

We wstępnym okresie prób przekazywania obrazu zostało wykorzystane, wynalezione w 1884 przez Niemca Paula Nipkowa, mechaniczne urządzenie analizujące, zwane do dziś tarczą Nipkowa, obracająca się tarcza ze spiralnym układem dziurek. Tarczę tę, z wyciętymi małymi otworkami ułożonymi spiralnie, umieszczał Nipkow między oświetlonym obrazem i komórką fotoelektryczną. Gdy tarcza obracała się, kolejne elementy obrazu docierały do fotokomórki, ta wytwarzała odpowiednie impulsy prądowe, te zaś pobudzały do świecenia lampę neonową umieszczoną za identyczną tarczą, obracającą się synchronicznie z tarczą nadajnika. Jaśniejsze i ciemniejsze rozbłyski lampy oglądane za tarczą miały tworzyć obraz przedmiotu.

Odmiennie rozwiązał problem Polak, Jan Szczepanik w opatentowanym w 1897 telektroskopie, w którym obraz był analizowany i syntetyzowany za pomocą układu dwu zwierciadeł oscylujących wokół prostopadłych do siebie osi. Przesyłanie impulsów w obu powyższych systemach miało odbywać się przewodami. Ani Nipkow, ani Szczepanik nie zbudowali jednak działających urządzeń, głównie ze względu na niedoskonałość znanych wówczas selenowych komórek fotoelektrycznych.

Ideę systemu telewizji bezprzewodowej ogłosił w 1898 polski fizyk M. Wolfke. Podjęli ją: John L. Baird w Londynie, Ch.F. Jenkins w Waszyngtonie i Denes von Mihaly w Monachium, którzy we wczesnych latach dwudziestych XX wieku zajmowali się rozwiązaniem tego zagadnienia. Najlepsze rezultaty uzyskał Baird, co doprowadziło do powstania przedsiębiorstwa Baird Company i uruchomienia 30 września 1929 roku w Anglii pierwszej doświadczalnej stacji nadawczej telewizji czarno-białej, używając mechanicznej tarczy Nipkowa do analizy obrazu.

W 1923 Vladymir Zworykin w USA wynalazł pierwszą elektroniczną lampę analizującą obraz, zwaną ikonoskopem. Obok mechanicznego sposobu przekazywania obrazu pojawiła się możliwość pełnego przekazu elektronicznego.

Gdy w Londynie 2 listopada 1936 roku uruchomiono pierwszą stację telewizyjną ze stałymi programami, programy te były nadawane w dwu systemach: mechaniczno-optycznym Bairda i elektronicznym firmy Marconi EMI. Wobec zdecydowanej wyższości systemu Marconiego w 1937 roku londyńska stacja telewizyjna przeszła już wyłącznie na ten system. Pierwsza w Polsce eksperymentalna stacja telewizyjna powstała w Warszawie w 1937.

John L. Baird zademonstrował w 1928 telewizję kolorową. Dostosował do analizy i syntezy obrazów kolorowych tarczę Nipkowa z trzema grupami otworków (każda dla jednej z barw podstawowych) zainstalował w urządzeniu nadawczym i odbiorczym, zsynchronizowanych z tarczami filtrów barwnych: czerwonego, zielonego i niebieskiego.

W 1940 w USA rozpoczęto nadawanie eksperymentalnych obrazów z użyciem wirujących filtrów, dopiero jednak w 1953 został opracowany całkowicie elektroniczny system telewizji kolorowej. Powstał w firmach amerykańskich Hazeline i RCA. Nazwano go NTSC (National Television System Committee). W systemie tym barwa obrazu odbieranego przez obiektyw kamery telewizyjnej jest rozkładana na trzy barwy podstawowe za pomocą odpowiedniego układu filtrów, a następnie wszystkie punkty każdego ze składowych obrazów są zamieniane na sygnały elektryczne, kolejno emitowane. Odbiornik telewizji kolorowej posiada lampę obrazową emitującą trzy wiązki elektronów, ekran zaś jest pokryty trzema luminoforami (czerwonym, zielonym i niebieskim), tworzącymi trójkolorowe grupki. Każda grupka odpowiada jednemu punktowi kolorowego obrazu. Przed ekranem umieszczona jest maskownica. Jest to płytka z tyloma maleńkimi otworkami, na ile punktów rozkładany jest obraz. Układ emitujący trzy wiązki elektronów jest tak ustawiony w stosunku do maskownicy, że na ziarenko każdego luminoforu może padać wiązka elektronów odpowiadająca jednej barwie. Kombinacja intensywności świecenia trzech ziarenek daje wrażenie odpowiedniego koloru.

Ta sama zasada jest wykorzystywana również w innych niż NTSC systemach telewizyjnych, takich jak opracowany w 1956 roku SECAM (Sequence de Couleurs Avec Memorie) i w 1963 PAL (Phase Alternation Line). Ten ostatni jest obecnie najszerzej rozpowszechniony w Europie. Systemy te różnią się między sobą rodzajami modulacji emitowanych sygnałów barwy [19].

W 1962 przekazano sygnały telewizyjne przez Atlantyk za pośrednictwem satelity *Telstar*. W 1973 BBC i Independent Television wprowadziły w Wielkiej Brytanii pierwsze systemy telegazety. W 1986 opracowano system nadawania danych za pomocą technik cyfrowych, powstała udoskonalona forma telegazety.

W 1989 w Wielkiej Brytanii wprowadzono telewizję satelitarną, a w 1992 w USA zademonstrowano w pełni cyfrową telewizję wysokiej rozdzielczości.

W 1975 roku poczta brytyjska wprowadziła *Prestel*, pierwszy wizyjny system dostępu do danych, w którym do połączenia ekranu telewizora z komputerowym bankiem danych użyto linii telefonicznych.

W 1984 w Chicago uruchomiono pierwszy komercyjny system telefonii komórkowej, w 1988 w Japonii uruchomiono ISDN (sieć cyfrową ze zintegrowanymi usługami), międzynarodowy system telekomunikacyjny do przesyłania sygnałów w formacie cyfrowym, światłowodami i kablami współosiowymi. Rok później między Europą a USA położono pierwszy transoceaniczny kabel światłowodowy, umożliwiający prowadzenie jednocześnie 40 tysięcy rozmów telefonicznych. W latach 1991–92 w Wielkiej Brytanii wprowadzono ISDN, a następnie wideofony, których użycie umożliwiła technika kompresji obrazu.

Przełomem w systemie przekazywania informacji na odległość stał się Internet – ogólnoświatowy zbiór wzajemnie połączonych sieci komputerowych lokalnych i rozległych. Za datę powstania Internetu przyjmuje się rok 1983, choć już w 1980 roku sieć liczyła około 100 komputerów. Internet powstał w ramach amerykańskich planów zapasowego systemu łączności. W roku 1990 Internet liczył już 100 000 komputerów, w 1993 przekroczył milion, w 1997 było już 40 milionów komputerów w sieci Internetu. Obecnie sieć Internetu rozwija się w niesamowitym tempie. Sieć Internetu zaowocowała gamą usług, takich jak poczta elektroniczna, listy dyskusyjne lub stronice WWW. Jej wpływ na przeobrażenie systemów łączności, handlu, współpracy naukowej, działań oświatowych jest ogromny [19, 64].

3.4. Przekaz informacji przy pomocy sygnałów elektrycznych

Fakt, że informacje można przesyłać przy pomocy sygnałów elektrycznych, dał podstawę teorii informacji oraz wskazał na ścisłe związki

teorii informacji i fizyki. Z informacjami jest przesyłany szum, który można zmniejszyć w stosunku do sygnału przez zastosowanie anten kierunkowych czy analizatorów częstotliwości, ale nie można go uniknąć. Przy cieplnych drganiach cząsteczek materii przemieszczanie ładunków może spowodować wysyłanie fal elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach. Jest to tak zwane promieniowanie cieplne. Całkowita zdolność emisyjna ciała doskonale czarnego E_T emitującego promieniowanie cieplne zależy tylko od temperatury bezwzględnej ciała T. Zależność tę określa prawo Stefana-Boltzmanna [29]:

$$E_T = \sigma T^4. \tag{3.24}$$

Fale te mogą rozchodzić się w przestrzeni i w przewodach.

Johnson [32] odkrył elektryczne fluktuacje wywołane drganiami cieplnymi. Opisał te fluktuacje nie jak fale elektromagnetyczne, lecz fluktuacje napięcia na oporze. Po odkryciu Johnsona inny fizyk, Nyquist [48], zastosował podstawy mechaniki statystycznej do ilościowego określenia natężenia szumu cieplnego, związanego z przekazem informacji przy pomocy fali elektromagnetycznych, który nazwano szumem Johnsona-Nyquista [53]:

$$v^2 = 4\,k\,T\,R\,W, \tag{3.25}$$

gdzie: v^2 – średnia kwadratowa wartość natężenia szumu, tj. średnia wartość kwadratu napięcia na oporze R,
T – temperatura bezwzględna,
k – stała Boltzmanna,
W – szerokość pasma przepuszczania wzmacniacza lub odbiornika w Hz, zależna od własności układów przekazujących informacje przy pomocy fal elektromagnetycznych.

Nagrzany przewód jest potencjalnym źródłem szumów. Maksymalna moc szumu N dla przewodu o danym oporze R wynosi:

$$N = kTW. \tag{3.26}$$

Jeśli ustawić radioteleskop na jakiś obiekt w kosmosie, to będzie odbierać on szum odpowiadający temperaturze tego obiektu. Radiowy szum kosmosu na różnych częstościach jest różny. Do szumu odbieranego odbiornik dodaje jeszcze szum własny. Oprócz tego wzmacnia przyjęty szum. Istnieje wielkość, która określa relację miedzy szumem cieplnym a szumem własnym odbiornika sygnałów. Jest to tak zwany odpowiednik

temperaturowy szumu własnego odbiornika (szumowa temperatura równoważna) T_N. Wielkość ta zależy od roboczej częstości odbiornika, np. T_N wynosi dla:

— radia i telewizora – 30 000 K,
— odbiornik pracujący na częstości 6000 Hz – 3000 K,
— odbiornik pracujący na częstości 6000 Hz z wzmacniaczem maserowym – 20 K.

Jest oczywiste, że im odpowiednik temperaturowy mniejszy, tym odbiornik lepszy.

Jak wynika ze wzoru 5.8, ażeby w czasie pomiaru uzyskać 1 bit informacji w temperaturze T, potrzebna jest energia o wartości E = 0,693 kT. Analogicznie, aby wysłać 1 bit informacji, należy dysponować źródłem o mocy sygnału:

$$P = \frac{0{,}693kT}{t}. \tag{3.27}$$

Aby przekazać informacje z prędkością C bitów/s, należy więc mieć sygnał o mocy P:

$$P = 0{,}693\ k\ T\ C. \tag{3.28}$$

Ten sam wynik można uzyskać, wykorzystując założenie Nyquista o statystycznym, gaussowskim charakterze szumu cieplnego. Aby przekazać C bitów/s informacji, należy dysponować sygnałem o mocy P związanej z mocą szumu:

$$C = W \ln\left(1 + \frac{P}{N}\right) \tag{3.29}$$

lub po wstawieniu wyrażenia ze wzoru (3.26):

$$C = W \ln\left(1 + \frac{P}{KTW}\right). \tag{3.30}$$

Jeśli $\frac{P}{KTW} >> 1$, wtedy:

$$C = W \ln \frac{P}{KTW}, \tag{3.31}$$

$$C = \frac{1{,}44\,P}{KT}, \tag{3.32}$$

lub

$$P = 0{,}693\ k\ T\ C,$$

tak jak we wzorze 3.28.

Jako przykład niech posłuży przesyłanie angielskiego tekstu z pojazdu kosmicznego znajdującego się w okolicy Marsa [53]. W języku angielskim przypada średnio 5,5 cyfr dwójkowych na słowo. Jeśli zostanie wysłane 60 słów na minutę, to będzie odpowiadało 5,5 cyfr/s, czyli C = 5,5 bit/s. Sygnały zostały wysłane w temperaturze kosmosu, czyli około 3 K. Moc przyjętego sygnału wyniosła $P_R = 2 \cdot 10^{-22}$ W. Jeśli antena nadawcza wysyła we wszystkich kierunkach promieniowanie, to w odległości l moc P_R rozłoży się na powierzchnię $4\pi l^2$. Jeśli antena odbiorcza jest parabolicznym refraktorem o średnicy D i powierzchni $\pi D^2/4$, to stosunek mocy wysyłanej P_T i odbieranej P_R wynosi:

$$P_T/P_R = 4\pi l^2 / 0{,}25\pi D^2 = 16 \left(\frac{l}{D}\right)^2. \qquad (3.33)$$

Odległość statku kosmicznego od Ziemi wynosi około $5 \cdot 10^{10}$ m, średnica D = 50 m, wtedy: $P_T/P_R = 1{,}6 \cdot 10^{19}$. Moc wysyłanego sygnału wynosi więc około 0,003 W. Taką moc musi więc posiadać odbiornik w powyższym teoretycznym przypadku. W praktyce moc odbiornika musi być o wiele większa, zwłaszcza w przypadku odbioru radiowego i telewizyjnego. Fale elektromagnetyczne można przesyłać falowodami pod warunkiem, że średnica falowodu jest nie mniejsza niż podwójna długość fali. Jeśli $\lambda << 2r$ falowodu, wtedy może się w nim rozprzestrzeniać zbiór różnych typów fal. Przy przesyłaniu promieniowania trzeba spojrzeć na nie również z punktu widzenia fizyki kwantowej. Promieniowanie rozchodzi się w postaci kwantów o energii E = hv każdy. Jeżeli rozważyć w tym aspekcie szum cieplny, to częstotliwość promieniowania szumu w temperaturze T wynosi:

$$\nu = \frac{kT}{h} = 2{,}07 \cdot 10^{10}\,T. \qquad (3.34)$$

Z klasycznego punktu widzenia szum cieplny, jako promieniowanie ciągłe, nakłada się na nieciągłe impulsy informacyjne. Z kwantowego punktu widzenia na sygnał nakładają się kwanty promieniowania cieplnego. Szum ten odpowiada klasycznemu szumowi cieplnemu. Przy niskich częstościach wyrażenie na moc przedstawione we wzorze 3.28 słuszne jest w klasycznym i kwantowym podejściu. Jednak w realnych

systemach stosuje się te częstości, przy których przeważają efekty kwantowe [53].

Sygnały optyczne i akustyczne zostały wykorzystane do przekazywania informacji już przeszło sto lat temu. Powtórny rozwój telekomunikacji nastąpił jednak dopiero wraz z rozwojem techniki laserowej. Rozwinęła się telekomunikacja optyczna wykorzystująca jako nośniki informacji fale elektromagnetyczne od podczerwieni poprzez światło widzialne do nadfioletu. Jako źródła światła wykorzystuje się lasery półprzewodnikowe oraz diody elektroluminescencyjne i superelektroluminescencyjne. Te źródła światła mają możliwość prostej modulacji fali świetlnej. Dla kształtowania sygnału w standardowej telekomunikacji jest używana zwykle modulacja numeryczna [74]. Szerokość pasma częstości sygnału, który może być wysłany przez zmodulowanie fali nośnej, jest w pierwszym przybliżeniu proporcjonalna do jego częstości. Tak więc, używając światła jako nośnika fali, można otrzymać pasmo transmisyjne z szerokością większą niż przy wykorzystaniu konwencjonalnych źródeł fal elektromagnetycznych używanych w przekazie radiowym i telewizyjnym.

Jednak potencjalna możliwość użycia spójnego światła laserowego jako nośnika informacji może być z powodzeniem wykorzystana tylko w próżni, a więc np. w komunikacji między satelitami. W pobliżu powierzchni Ziemi jest to niemożliwe, ponieważ zmiany w warunkach propagacji fal zniekształcają sygnały [15].

Atmosfera ziemska powoduje, że fala ze względu na deszcz, mgłę i zanieczyszczenia ulega pochłonięciu, a efekty termiczne powodują zniekształcenia. Wykorzystanie rur metalowych, nawet z użyciem soczewek, zwierciadeł i przysłon nie dały oczekiwanych rezultatów. Problem został rozwiązany dopiero wtedy, gdy wykorzystano dielektryczne światłowody.

Wykorzystując diody elektroluminescencyjne jako nadajniki, fotodiody jako odbiorniki i światłowody jako kanały transmisyjne impulsów świetlnych, oraz wzmacniacze sygnałów, można budować proste, optyczne łącza.

Stosuje się światłowody, które zachowują stałość parametrów w długim okresie czasu. Są dwa zasadnicze typy światłowodów. Jeden z nich zawiera prowadnicę oraz ustawione w niej w pewnych odległościach soczewki. Soczewki szklane lub gazowe ustawia się w odległościach od siebie, równych podwojonej ogniskowej, dzięki czemu większość światła jest prowadzone wzdłuż osi światłowodu. Straty są niewielkie, rzędu 1dB/km. Światłowody te są jednak drogie i mimo bardzo dobrych właś-

ciwości ich zastosowanie ograniczone jest do małych odległości i systemów transmisji o dużych pojemnościach informacyjnych.

Znacznie prostsze i tańsze w produkcji są światłowody zbudowane z włókien szklanych o grubościach kilku mikrometrów i małym współczynniku załamania. Światło odbijając się wielokrotnie od ścianek nici (całkowite wewnętrzne odbicie) rozchodzi się ze stosunkowo małymi stratami. Splecione z wielu takich cienkich nitek giętkie przewody mają straty rzędu kilkunastu dB/km [13].

W laserze półprzewodnikowym przez wykorzystanie sprzężenia zwrotnego można otrzymać samowzbudzajace drgania. Może to być osiągnięte przez specjalną preparację ścian bocznych diody superelektroluminescencyjnej (GaAs), tak aby tworzyły rezonator optyczny dla fal o kreślonej długości. Ściany tworzą zwierciadła ułożone płasko-równolegle, częściowo przepuszczalne dla generowanego światła [74].

Powszechnie używana do modulacji fal w telekomunikacji optycznej jest impulsowa modulacja kodowa światła będącego nośnikiem informacji. Technika ta składa się z dwóch systemów:

— laser wytwarzający serię impulsów,
— modulator.

Impulsy o stałym interwale czasowym trwają około 1 ps każdy, odstępy między nimi około1 ns. Modulacja polega na tym, że modulator zatrzymuje lub przepuszcza dany impuls i w ten sposób przesyła informację w formie binarnej typu 0-1.

Dielektryczny światłowód zawiera rdzeń z materiału o przenikalności elektrycznej (stałej dielektrycznej) większej niż otaczający go ośrodek. Bardzo często jest to włókno szklane otoczone materiałem o mniejszej przenikalności dielektrycznej.

Fala elektromagnetyczna rozchodzi się wewnątrz rdzenia w drodze odbić od powierzchni granicznej między rdzeniem i otoczką. Wykorzystywane jest tutaj całkowite wewnętrzne odbicie. W światłowodzie rozchodzi się wiele rodzajów fal elektromagnetycznych. Fale te nazywa się modami. Modów tych jest wiele, często powyżej tysiąca. Przyszłością telekomunikacji optycznej jest przesyłanie informacji monomodalnymi światłowodami zdolnymi do przenoszenia olbrzymiej ilości informacji.

Włókna szklane, w których zachodzi całkowite wewnętrzne odbicie znane były już wcześniej ale nie mogły być używane w telekomunikacji ze względu na duże tłumienie przenoszonego sygnału (ponad 1000 dB/km włókna). Wynikało to z technologii, która nie pozwalała otrzymać czys-

tych włókien szklanych bez domieszek żelaza, miedzi, kobaltu, które miały główny wpływ na rozpraszanie energii. Obecnie przy użyciu najnowszych technologii włókna szklane są produkowane z nowych materiałów, takich jak TiBr, dla których tłumienie wynosi około 0,001 dB/km włókna, dla fali o długości 3,5 – 5,5 μm [33].

Głównym elementem układu odbierającego sygnały jest fotodioda półprzewodnikowa p-i-n z cienkim płaszczem półprzewodnika typu p. Docierające promienie przenikają przez płaszcz i osiągają przestrzeń wewnątrz półprzewodnika, którym może być warstewka silikonu. W efekcie procesów zachodzących w odbiorniku generowany jest prąd proporcjonalny do natężenia luminescencji.

Prezentowana powyżej prosta idea łączności optycznej stała się podstawą do coraz bardziej perfekcyjnych połączeń światłowodowych. Łączność światłowodowa jest coraz częściej wykorzystywana do przekazu informacji energetycznymi liniami przesyłowymi, którym towarzyszą światłowody. Stosowana jest w sieci telefonii komórkowej, kablach TV, wideotelefonach, terminalach komputerowych.

3.5. Teoria informacji a przekaz kartograficzny

Jednym z charakterystycznych i często stosowanych źródeł informacji jest mapa. Są różne rodzaje map i różne jest ich wykorzystanie. Z map samochodowych korzystają kierowcy ustalający trasę podróży, miejsca, gdzie można się zatrzymać na posiłek, gdzie można zatankować paliwo, gdzie można przenocować. Z map turystycznych korzystają turyści piesi i rowerowi wybierający trasę wycieczki i miejsca na nocleg w schroniskach.

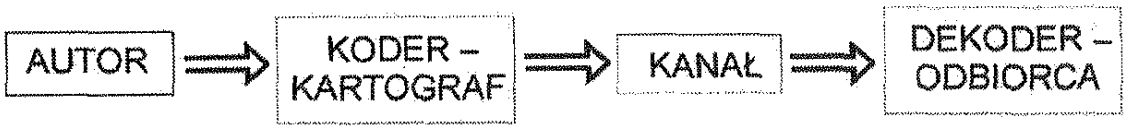
Niezależnie od rodzaju map istnieją pewne podstawowe zasady dotyczące koncepcji mapy, jej tworzenia i wykorzystania przez odbiorców. Koncepcja mapy jest chyba najbardziej zawiłą stroną kartografii. Sposób przedstawienia licznych składników mapy tak, by razem wzięte sprawiały wrażenie zwartej całości, pomyślanej tak, by odpowiadać celowi, musi wychodzić z założeń sięgających od elementów matematyki i teorii informacji aż do sztuki [56].

Celem koncepcji kartograficznej jest przedstawienie treści mapy w taki sposób, by zarysowała się ona jako jednolita całość i przy tym tak, by każdy przedstawiony przez nią temat był jasny i czytelny. Współczesna kartografia dąży jednocześnie do wykroczenia poza domenę tradycyj-

nie dla niej zarezerwowaną, jaką jest dokładne wykonanie zdjęcia topograficznego. Wymaga się obecnie, aby mapa w większym stopniu oddawała świat naszych wrażeń niż świat czysto geograficzny.

U podstaw każdego przekazu informacji, a więc i przekazu kartograficznego, leży założenie przedstawienia przez specjalistę jego treści w taki sposób, aby informacje zakodowane w formie symboli dotarły do odbiorców. Kartografia jest szczególnym przypadkiem teorii przekazów i odnoszą się do niej prawa teorii informacji, zarówno ilościowej, jak i jakościowej. Kolacny [36] wprowadza osobne pojęcie „informacji kartograficznej".

W przypadku kartografii należy wprowadzić wyraźne rozróżnienie między autorem opracowania a kartografem, który je koduje w postaci odpowiedniej symboliki. Schemat toru informacyjnego w tym przypadku przedstawia Rys. 3.3.



Rys. 3.3. Schemat toru informacyjnego uwzględniający system kodowy w przypadku przekazu kartograficznego

Autor mapy chcący przekazać pewną ilość informacji odwołuje się do pomocy kartografa wówczas, gdy to, co chce powiedzieć, jest zależne od położenia geograficznego. Ten ostatni powinien postępować zgodnie z pewnego rodzaju kodem, aby nie zniekształcić myśli autora i uczynić je przejrzystymi. Rysunek, który powstanie, oraz legenda objaśniająca go stanowią jedną całość, mającą przekazać wymagane informacje.

Od nowoczesnego dzieła kartograficznego wymaga się, aby dawało w sposób prawdziwy i komunikatywny obiektywną informację o rzeczywistości pojmowanej w stosunkach przestrzennych. Od mapy oczekuje się, aby mówiła ona o rzeczywistości dużo więcej, niż możemy odebrać bezpośrednio naszymi zmysłami. Powodzenie kartografa zależy więc od jego uzdolnień, pozwalających mu uzyskać jak najpełniejszą informację wstępną o rzeczywistości oraz zgeneralizować ją i przekształcić na sposób kartograficzny, czyli w informację kartograficzną.

Produkt pracy kartograficznej nie może jednak osiągnąć maksymalnego efektu, jeśli kartograf będzie traktował produkcję i konsumpcję map jako dwa niezależne od siebie procesy. Maksymalny efekt komunikatyw-

ności mapy może być natomiast osiągnięty wtedy, jeśli tworzenie dzieła kartograficznego i jego użytkowanie traktować się będzie jako dwie składowe logiczne zespolone w sensie niepodzielnego procesu, w którym rodzi się informacja kartograficzna.

W systemie przekazu kartograficznego istnieje kilka zasadniczych procesów wyróżnionych w modelu przekazu kartograficznego, a jednocześnie zgodnych z modelem przekazu informacji [54]. Są to mianowicie:

— odbieranie przez kartografa otwartej informacji od autora oraz emitowanej przez rzeczywistość jak najszerzej pojmowaną, tzn. rzeczywistość materialną i abstrakcyjną (rzeczywistość znaków i przekazów, rzeczywistość pojęć, idei i wyobrażeń będących rezultatem aktualnego stanu wiedzy). Źródłem informacji kartograficznej jest końcowa wiedza powstała w umyśle kartografa na skutek odebranych informacji oraz wcześniejszych doświadczeń,

— przetwarzanie powstałej wiedzy w celu jej przekazania za pomocą innego nośnika informacji, czyli mapy. W języku teorii informacji proces ten to kodowanie informacji przy użyciu umownych znaków graficznych oraz słów,

— emisja otwartej informacji zakodowanej, która zaczyna działać tylko w przypadku natrafienia na konkretnego odbiorcę, który potrafi zinterpretować zakodowane znaki. Tej interpretacji pomaga legenda mapy,

— kolejny etap to rozkodowanie informacji, którą niesie mapa. Na tym etapie informację zawartą w mapie można traktować jako szerszą od informacji posiadanej na dany temat przez odbiorcę. Proces informowania zachodzi wtedy, gdy chociaż część informacji emitowanej mieści się w informacji znanej odbiorcy. Ta pokrywająca się część informacji stanowi odskocznię pozwalającą zaakceptować i wchłonąć część informacji nieznanej. Nadmiar informacji emitowanej w stosunku do informacji posiadanej przez odbiorcę jest nową informacją poszerzającą wiedzę odbiorcy,

— ostatni etap, podobnie jak pierwszy, dotyczy procesów odbywających się w umyśle odbiorcy i może być uznany jako proces konsumpcyjny skutków przekazu kartograficznego. Na podstawie nowej wiedzy zdobytej dzięki odczytaniu mapy kształtuje się wyobrażenie rzeczywistości.

Istnieją dwa skrajnie różne typy map, wynikające z różnicy zasad, na podstawie których powstają. Zasadniczą rolą pierwszego typu opracowań

jest akumulacja, zmagazynowanie informacji. Mapy tego typu są w większej mierze wyczerpującą inwentaryzacją niż czytelnym przekazem. Jako przykład mogą tu posłużyć mapy sztabowe lub „mapa nieba". Zasady, którymi kierować się będzie kartograf wykonujący tego rodzaju mapy, sprowadzać się będą głównie do ekonomii miejsca.

Celem drugiego typu opracowań jest przekazanie odbiorcy, na podstawie pewnego zespołu idei, materiałów i danych, którymi mogą być ewentualnie mapy pierwszego typu, informacji w taki sposób, aby mogły one być odebrane w sposób możliwie najdogodniejszy. Podstawowym kryterium jest w tym przypadku zrozumienie przekazu, jego czytelność, jego widoczność, ze szkodą, o ile to jest konieczne, dla bogactwa jego treści, precyzji i dokładności. Taki jest cel sporządzania planu miasta lub mapy samochodowej. Kartograf koncentruje się w tym przypadku na nadaniu mapie takiej formy, która zapewni maksymalne zrozumienie. Mapa przestaje tu być zbiorem informacji, z których korzystają jedynie specjaliści; jest ona narzędziem udostępniającym formy i idee masowemu odbiorcy. Ten drugi typ map jest właśnie podstawowym źródłem informacji dla turystów i pracowników turystyki.

W przypadku mapy samochodowej, jest ona z jednej strony wyciągiem z mapy sztabowej, z drugiej zaś strony jest, w porównaniu z tą ostatnią, lepiej opisana. Ta względna nadwyżka znaków w stosunku do tych, które byłyby koniecznie niezbędne (redundacja), znacznie ułatwia rozpoznanie.

Mapa jest przekazem informacji, z którego korzysta się w sposób zdecydowanie różny od czytania tekstu drukowanego. Mapa w odróżnieniu od tekstu nie jest liniowym uszeregowaniem znaków, lecz z racji swojej dwuwymiarowości, przedstawia się jako zbiór kształtów, jako seria ośrodków zainteresowania, na podstawie któr oko i umysł wyszukują proponowaną ideę.

„Czytanie" mapy topograficznej, z założenia nieznanej, składa się z kilku etapów:

1. nawiązanie kontaktu z mapą przez odbiorcę, który ogląda mapę jako zbiór kształtów i identyfikuje kolejno:
   a. tło kartograficzne jako całość,
   b. w sposób mniej lub bardziej przypadkowy pewien zespół ośrodków zainteresowania, kontury, kształty, grubość linii, czcionki, tekst,
   c. charakter znaków naniesionych na mapę, dopasowując je do legendy lub czytając tekst odnoszący się do danej mapy.

2. właściwe czytanie mapy; odbiorca, który zapamiętał bądź rozpoznał poprzednie elementy, konsultuje mapę w celu uzyskania zakodowanej w niej informacji. Jeśli chodzi o mapy topograficzne, to odbiorca szuka na nich informacji odnośnie do miejsca; czyni to bezpośrednio bądź pośrednio, posługując się np. indeksem nazw miast.

Mapa jest specyficznym źródłem informacji, może bowiem być odpowiednio interpretowana dla uzyskania informacji nowej, innej niż ta, która została przekazana zgodnie z intencją nadawcy-kartografa. Mapę można ponadto nazwać otwartym nośnikiem informacji. Znaczy to, że informacja w niej zawarta skierowana jest do każdego, kto zechce lub jest zdolny z niej skorzystać.

Informacja przekazywana w procesie komunikacji kartograficznej ulega różnym przemianom i ograniczeniom. Przede wszystkim kartograf przekazuje tylko część posiadanej wiedzy, zależnie od przeznaczenia mapy, tzn. od intencji poinformowania określonej grupy odbiorców. Informacja przekazana za pomocą mapy przez kartografa nie jest ponadto identyczna z informacją odebraną. Jest ona z jednej strony uboższa, a z drugiej bogatsza [54].

Zubożenie informacji ma miejsce wtedy, gdy zasób informacji, jaki zamierzał przekazać nadawca, nie został w pełni odebrany przez odbiorcę. Różnicę między informacją zamierzoną do przekazania przez kartografa a informacją ostatecznie odczytaną ze znaków mapy można nazwać stratą informacji. Jednocześnie jednak odbiorca posiada dodatkowy zasób wiedzy własnej, inny niż uzyskany w trakcie czytania mapy. W zależności więc od zasobu tej wiedzy dodatkowej, od umiejętności operowania nią i od ilości punktów nawiązywania do informacji wyrażonej w mapie pojawiają się w umyśle odbiorcy operacje intelektualne, które nazywane są popularnie interpretacją mapy. W wyniku tych operacji umysłowych odbiorca uzyskuje więcej informacji, niżby to wynikało z treści znaków odczytanych z mapy. Tę dodatkową uzyskaną wiedzę, niezamierzoną i nieprzewidzianą przez nadawcę, a jedynie pobudzoną przez mapę, można nazwać zyskiem informacji.

Cały zespół jednostek semantycznych zakodowanych na mapie przy użyciu znaków kartograficznych stanowi tzw. informację otwartą. Natomiast zysk informacji wynika z wykrywania z mapy tzw. informacji ukrytej, to znaczy takiej, która jest skryta w układzie znaków kartograficznych na mapie i do wykrycia której jest niezbędna konfrontacja wiedzy odbiorcy z wiadomościami zawartymi w treści mapy.

Częste są wypadki, gdy pewna strata informacji powoduje większy zysk informacji stosowanej do określonego działania. Formalna strata informacji uwalnia niejednokrotnie umysł odbiorcy od nadmiaru szczegółów i zostawia szersze pole dla swobody interpretacyjnej.

Z powyższych rozważań dotyczących przekazu informacji kartograficznej można wysnuć następujące wnioski:

— każda mapa zawiera w sobie aktywną, stymulującą informację otwartą oraz potencjalną informację ukrytą,
— w procesie komunikacji kartograficznej obok strat informacji w kategoriach ilościowych pojawia się zysk informacji w wyniku uruchomienia informacji ukrytej drogą interpretacji mapy,
— każdy odbiorca w większym lub mniejszym stopniu interpretuje mapę, a więc wykorzystuje interpretację ukrytą,
— zysk informacji zależy od umiejętności interpretacyjnych odbiorcy i jego zasobu wiedzy dodatkowej, a także od sposobu interpretacji i analizy kartograficznej.

3.6. Przekaz informacji genetycznych

Genetyka jest nauką o dziedziczności i zmienności żywych organizmów. Dziedziczenie cech jest przekazywaniem informacji następnym pokoleniom przez pokolenia je poprzedzające. Już w starożytnej Grecji filozofowie doszli do wniosku, że w formowaniu nowego osobnika muszą mieć udział oboje rodzice, ponieważ potomstwo jest podobne do obojga z nich. Wierzyli również, że ów udział jest rodzajem informacji zebranej z części dojrzałych osobników. Demokryt dowodził, że informacja jest przenoszona w postaci cząstek, których kształt, wielkość i wzajemne ułożenie wpływają na cechy potomstwa [2].

Systematyczne badania genetyczne rozpoczęły się jednak dopiero w XIX wieku. Współczesne badania nad składem chemicznym genu zapoczątkował w 1869 roku niemiecki chemik Johann Miescher, który odkrył, że materiał wyizolowany z jąder ludzkich komórek nie jest białkiem, ponieważ zawiera fosfor oraz jest odporny na działanie enzymu (pepsyny) rozkładającego białka. Miesher nazwał odkrytą przez siebie substancję nukleiną. Dziś nosi ona nazwę kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA). Dokładne badania wykazały, że w każdej żywej komórce są obecne nukleoproteiny zbudowane z białek połączonych z innymi naturalnymi polimerami – kwasami nukleinowymi.

Prawidłowa strukturę DNA określili po raz pierwszy w 1953 roku uczeni brytyjscy: biochemik J. Watson i biofizyk F. Crick. Kwasy te składają się z heterocyklicznych zasad azotowych, węglowodanu i kwasu fosforowego. DNA nie jest jedynym kwasem nukleinowym występującym w komórkach. W jądrach komórkowych i cytoplazmie znaleziono blisko spokrewnione z DNA, cząsteczki kwasu rybonukleinowego (RNA). Poniżej będzie mowa o funkcjach RNA podczas wykorzystywania informacji zawartej w strukturze DNA do produkcji białek.

W organizmach żywych występują więc dwa rodzaje kwasów nukleinowych:

— kwasy dezoksyrybonukleinowe (DNA), składające się z cukru (dezoksyrybozy), zasad azotowych (adenina, cytozyna, guanina i tymina) i reszty kwasu fosforowego,
— kwasy rybonukleinowe (RNA), których składnikami są cukier (ryboza), zasady azotowe (adenina, cytozyna, guanina i uracyl) oraz reszta kwasu fosforowego.

Koncepcja genu narodziła się dzięki pracom Grzegorza Mendla, zakonnika i opata klasztoru Augustianów w Brnie na Morawach, w latach sześćdziesiątych XIX wieku, twórcy praw dziedziczności, które ogłosił w 1866 roku. Sam termin powstał później, na początku XX wieku.

Pierwsze sugestie co do sposobu, w jaki działają geny, pochodziły z badań nad enzymami i pojawiły się, zanim jeszcze w użyciu znalazło się pojęcie genu. W pierwszej dekadzie XX wieku angielski lekarz Archibald Garrod zuważył, że pewne cechy i choroby ludzi dziedziczą się zgodnie z prawem Mendla. Sądził, że determinanty dziedziczności kontrolują produkcję enzymów, których niedobór lub brak wpływają na dziedziczone cechy. Stwierdzono później, że obecność lub brak określonego enzymu jest cechą dziedziczną, determinowaną przez pojedynczy gen. Wzajemna zależność informacyjna wiąże dwa składniki: białko oraz gen, który je określa. To białka nadają komórkom i organizmowi charakterystyczny kształt oraz własności fizyczne, chemiczne i behawioralne.

Thomas Morgan, biolog i genetyk amerykański, udowodnił rolę chromosomów w dziedziczeniu. Za swoje odkrycie uzyskał w 1933 roku Nagrodę Nobla. Stwierdził, że geny są zlokalizowane w chromosomach, samoodtwarzających się, stałych składnikach jądra komórkowego, zbudowanych głównie z DNA i białek.

Chromosomy, niewielkie struktury wewnątrz jąder komórek roślin i zwierząt, zauważyli biolodzy już na początku XIX wieku. Nazwali je tak

od greckich słów: *chromo* – barwa i *soma* – ciało, ponieważ struktury te szczególnie dobrze barwiły się pewnymi substancjami stosowanymi podczas preparowania komórek chromosomów w badaniach mikroskopowych. Okazało się, że wszystkie komórki (z wyjątkiem komórek jajowych i plemników) organizmu danego gatunku, zawierają zawsze taką samą, charakterystyczną liczbę chromosomów, np. ludzie posiadają po 46 chromosomów, kukurydza – 20, nosorożec – 84. Również kształty, wielkość i organizacja są charakterystyczne dla danego gatunku.

Chromosomy można pogrupować w pary ze względu na podobny kształt. Dwa podobne składniki pary określa się mianem homologicznych względem siebie. Podczas podziału komórkowego tworzy się duplikat każdego chromosomu, co daje w rezultacie podwojenie ich liczby. Ten podwojony zestaw chromosomów rozdziela się tak, że każda z dwóch komórek potomnych uzyskuje tę samą ich liczbę, jaka miała komórka rodzicielska. Cały ten proces podziału chromosomowego nazywa się mitozą. Przy mitotycznym podziale jądra jednakowe chromosomy zostają więc rozdzielone między jądra potomne. Badaniem chromosomów zajęła się nowa gałąź wiedzy – cytogenetyka.

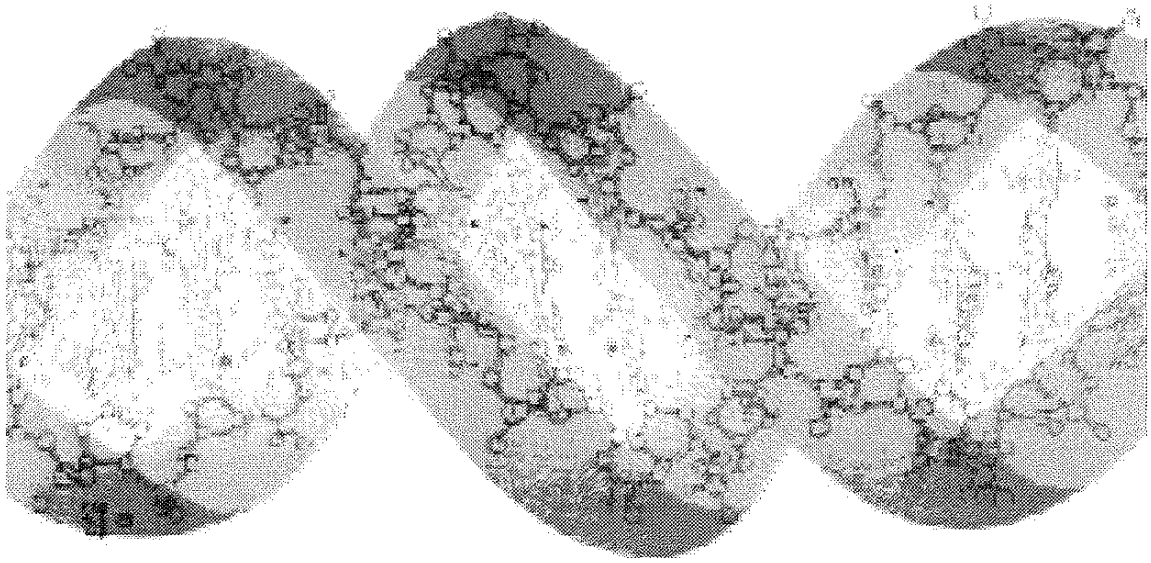
Do połowy XX wieku nie znano jednak natury genu oraz sposobu, w jaki decyduje o określonych cechach. Badania nad chemiczną strukturą genów posunęły się naprzód w drugiej połowie XX wieku. Stwierdzono, że kwas dezoksyrybonukleinowy (DNA), kwas rybonukleinowy (RNA) oraz białka są uniwersalnymi czynnikami określającymi cechy istot żywych. Powstała koncepcja genu jako takiej informacji, która rządzi wzrostem i zachowaniem istot żywych oraz decyduje o ich cechach. Koncepcja ta zakładała zarazem, że wszystkie żywe istoty dysponują mechanizmem rozkodowującym informację genetyczną, a geny przechowują stale tę informację, aby rodzice mogli ją przekazać swojemu potomstwu.

Wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że nośnikiem informacji genetycznej jest wyłącznie DNA. Precyzyjne powielanie informacji genetycznej, bez którego nie byłoby możliwe rozmnażanie organizmów i dziedziczenie cech, jest możliwe dzięki szczególnej budowie cząsteczki DNA. Cząsteczka DNA jest podobna do łańcucha złożonego z ogniw, z których każde posiada zaczep. Tak właśnie wygląda pojedyncza nić DNA. Każde takie ogniwo z zaczepem to jednostka nukleodytowa. Zasada amonowa zwana nukleotydą to podstawowa jednostka strukturalna DNA.

Jak już wspomniano wcześniej, w DNA występują cztery różne nukleotydy. Są one podobne do siebie, ale jednocześnie wystarczająco róż-

ne, by były rozpoznawalne w procesach, w których są wykorzystywane. Odróżniającą się częścią nukleotydu jest pierścień, zwany zasadą, utworzony przez wiązania chemiczne między atomami węgla i azotu. Cztery różne pierścienie noszą nazwy: adenina (A), tymina (T), guanina (G) i cytozyna (C). Pozostała część jednostki strukturalnej jest taka sama w każdym nukleotydzie. W jej skład wchodzi cukier – deoksyryboza, związany z grupą fosforanową. Długa sieć DNA powstaje dzięki wiązaniom chemicznym tworzącym się między grupą fosforanową a deoksyrybozą sąsiedniego nukleotydu. Nukleotydy trzymają się więc razem dzięki grupom fosforanowym. W obrazowym przedstawieniu cząsteczki DNA fosforany deoksyrybozy to ogniwa tworzące łańcuch, a zasady to dołączone do nich zaczepy.

DNA obecny w komórkach występuje jako połączenie dwóch pojedynczych nici. Trzymają się one razem dzięki wiązaniom powstającym między zasadami naprzeciwległych nukleotydów. Na Rys. 3.4 przedstawiono mikroskopowy obraz takich nici.



Rys. 3.4. Mikroskopowy obraz DNA w komórkach (www.ids.edu.pl)

Wiązania takie mogą się tworzyć tylko między określonymi parami nukleotydów: T zawsze łączy się z A, a C z G. W ten sposób sekwencja nukleotydów jednej nici określa w sposób jednoznaczny ich kolejność w drugiej. O niciach DNA, które utworzyły takie pary, mówi się, że są wzajemnie komplementarne. Dwie komplementarne nici DNA owijają się wokół wspólnej osi, tworząc tzw. wspólną helisę. Dwuniciowy DNA jest

więc długą, elastyczną nitkowatą cząsteczką o niemal stałej średnicy. Cząsteczki DNA mają różną długość w zależności od liczby par zawartych w niej zasad. Cząsteczka złożona z tysiąca par zasad ma $34 \cdot 10^{-8}$ metra długości. Tak więc cały DNA, w jednej komórce ludzkiej wynoszący około sześciu miliardów par zasad, miałby po wyprostowaniu ponad 2 metry długości.

Gen jest sekwencją nukleotydów, fragmentem łańcucha DNA, a podstawę informacji genetycznej stanowi właśnie kolejność (sekwencja) nukleotydów w kwasach nukleinowych. W obrębie sekwencji podstawowymi jednostkami informacji są kolejne trójki (triplety) nukleotydów, warunkujące włączanie kolejnych aminokwasów do kodowanego białka. Sekwencje zawarte w DNA są przepisywane na RNA w procesie zwanym transkrypcją, następnie zaś przepisana informacja wykorzystywana jest w rybosomach, to jest w organellach komórkowych zawierających kwas rybonukleinowy (RNA), gdzie następuje synteza białek – translacja. Poczynając od sygnału inicjującego, kolejne triplety, będące jednostkami kodującymi, wyznaczają kolejność aminokwasów w czasie syntezy polipeptydu, nie przedzielone żadnymi przerywnikami.

Jednostkę kodującą nazwano kodonem, zaś całkowity DNA zawarty w chromosomach danego gatunku nosi nazwę genomu. Z 4 różnych nukleotydów mogą powstać 64 różne kodony. Tak jak książki czy artykuły zawierają treść w postaci liniowych układów 24 liter alfabetu, liniowa sekwencja czterech różnych nukleotydów stanowi informację genetyczną do produkcji białek.

Kolejność aminokwasów w białku, zapisana jest w sposób jednoznaczny. Jeśli jest znana kodująca sekwencja w DNA, to znając kod genetyczny, można z niej odczytać kodowane przez nią aminokwasy. Znaczenie pierwszego kodonu podał w 1961 roku Marshall Nirenberg, amerykański biochemik i genetyk. Za to odkrycie został uhonorowany w 1968 roku Nagrodą Nobla. Od tego czasu nastąpił gwałtowny rozwój genetyki, który zaowocował coraz szerszym wykorzystaniem informacji genetycznej w inżynierii genetycznej. Wyrażeniem tym określa się manipulacje genetyczne dokonywane na poziomie molekularnym lub komórkowym [2,76]

4. Energia i informacja w termodynamice

Brillouin [8] dzieli informację na dwie klasy:

1 – informacja swobodna I_f, która pojawia się w sytuacji, kiedy możliwości są uważane za abstrakcyjne i nie przypisuje się im żadnego znaczenia fizycznego,

2 – informacja związana I_b, występująca w sytuacji, kiedy możliwości mogą być interpretowane jako mikrostany pewnego układu fizycznego.

Rozważając związek między ilością informacji i entropią w znaczeniu termodynamicznym, przyjęto, że tylko ilość informacji związanej może być powiązana pewnymi zależnościami z entropią.

Aby wyprowadzić zależność między ilością informacji związanej i entropią, przyjmuje się, że równo prawdopodobne możliwości odpowiadają mikrostanom pewnego układu fizycznego, np. zbiorowiska cząstek. W sytuacji początkowej niech ilość informacji związanej o układzie wynosi $I_{b0} = 0$, przy liczbie P_0. Entropia układu wynosi wtedy:

$$H_0 = k \ln P_0. \tag{4.1}$$

Omawiany układ nie jest izolowany. W sytuacji końcowej, po dostarczeniu informacji związanej o układzie $I_{b1} > 0$, ilość mikrostanów P_1 zmniejsza się i entropia układu H_1 maleje:

$$H_1 = k \ln P_1. \tag{4.2}$$

Informacja musi być dostarczona przez jakiś czynnik zewnętrzny, którego entropia rośnie.

Związek między ubytkiem entropii omawianego układu i wymaganą do tego celu ilością informacji po uwzględnieniu wzoru (2.5) jest określony wzorem:

$$I_{b1} = k (\ln P_0 - \ln P_1) = H_0 - H_1 \tag{4.3}$$

lub:

$$H_1 = H_0 - I_{b1}. \tag{4.4}$$

Ilość informacji związanej pojawia się jako ujemny wyraz w całkowitej entropii układu fizycznego. Można więc powiedzieć, że ilość informacji związanej jest równa ubytkowi entropii układu. Entropię ze znakiem minus Brillouin [8] nazywa negentropią N, a powyższe stwierdzenie negentropijną zasadą informacji. Można to zapisać w formie reakcji odwracalnej:

$$I = N. \tag{4.5}$$

W sytuacji opisanej powyżej entropia zmalała na skutek oddziaływania czynnika zewnętrznego. Dla układu izolowanego zasada Carnota [8] mówi, że przy naturalnej ewolucji układu przyrost entropii jest nieujemny, tzn. w opisywanym przypadku:

$$\Delta H_1 \geq 0 \quad \text{lub} \quad \Delta(H_0 - I_{b1}) \geq 0. \tag{4.6}$$

Jeśli układ izolowany zostanie pozostawiony bez jakiejkolwiek ingerencji z zewnątrz, będzie on w sposób naturalny dążył ku najbardziej prawdopodobnej strukturze, odpowiadającej warunkom fizycznym układu określonym przez ustalone wartości pewnych makroskopowych parametrów (objętości, energii, struktury chemicznej itp.). Sformułowanie (4.5) prowadzi do uogólnienia zasady Carnota, podanej przez Brillouina [9]:

$$\Delta(N_0 + I) \leq 0, \tag{4.7}$$

gdzie: N_0 – negentropia układu fizycznego,
$I = I_f + I_b$ – informacja swobodna i związana.

Jako przykład ilustrujący rolę informacji swobodnej i związanej można przedstawić przekaz informacji między dwoma ludźmi. Niech określony człowiek dysponuje informacją. Dopóki jest ona tylko w jego umyśle, dopóty jest informacja swobodną. Jeśli człowiek ten przekaże informację drugiemu człowiekowi w formie ustnej, wtedy będzie to już informacja związana, gdyż wiadomość została przetransformowana na fale dźwiękowe, po zakodowaniu w formie słów i liter – symboli. Po odebraniu wiadomości przez drugiego człowieka uzyskana przez niego informacja w jego umyśle stała się znów swobodna. Należy podkreślić, że w przypadku informacji swobodnej nie można mówić o związku między ilością informacji i entropią termodynamiczną.

Pierwszym, który zauważył związki entropii i informacji już w 1929, był Szilard [71]. Szilard rozważył następujący przypadek: zamknięty cylinder o objętości V może być podzielony na dwie części, „1" i „2"

o odpowiednich objętościach: V_1 i V_2, przez umieszczenie przegrody w pewnej pozycji. Przegroda może się przesuwać jak tłoczek.

W cylindrze znajduje się jedna cząsteczka gazu. W chwili gdy obserwator wsuwa przegrodę, może uzyskać informację gdzie znajduje się cząsteczka. Niech cząsteczka znajduje się w części „1". Przegroda przesuwa się i objętość V_1 powiększa się powoli do wartości V, podczas gdy cały układ pozostaje w stałej temperaturze T utrzymywanej przez termostat. W czasie tego powolnego ruchu cząsteczka wielokrotnie będzie się zderzać z przegrodą i zderzenia te będą wywoływać średnie ciśnienie o pewnej wartości. Zostaje przy tym wykonana pewna praca. Układ wykonuje więc pracę mechaniczną, pracując przy jednej temperaturze, lecz wymagana jest informacja o położeniu cząsteczki.

Aby wykryć cząsteczkę, potrzebne są dwie fotokomórki C_1 i C_2, reagujące na światło rozproszone w objętościach V_1 lub V_2. Gdy w C_1 pojawi się rozproszone światło, wtedy wiadomo, że w tej części jest cząsteczka (jeśli fotoelement nie wykryje światła, wtedy nie ma jeszcze pewności, że cząsteczki tam nie ma). Jeśli zostanie zlokalizowana cząsteczka, to absorpcja kwantu hν w jednej z fotokomórek odpowiada wzrostowi entropii:

$$\Delta H = \frac{h\nu}{T} \geq k \tag{4.8}$$

lub

$$\Delta H \geq k \ln 2 = 0{,}693\ k. \tag{4.9}$$

Można obliczyć teraz ilość uzyskanej informacji. Prawdopodobieństwa znalezienia cząsteczek w objętości V_1 lub V_2 wynoszą odpowiednio:

$$P_1 = \frac{V_1}{V}; \quad P = \frac{V_2}{V} \quad \text{i} \quad P_1 + P_2 = 1 \tag{4.10}$$

$$P_1 = \frac{V_1}{V} = -k \cdot \ln P .$$

Jeśli cząsteczka znajduje się w objętości V_1 lub V_2, ilość informacji będzie wynosić odpowiednio:

$$I_1 = k \cdot \ln \frac{V_1}{V} = -k \cdot \ln P_1 \qquad I_2 = k \cdot \ln \frac{V_2}{V} = -k \cdot \ln P_2 . \tag{4.11}$$

Średnia ilość informacji przypadająca na jedną operację wynosi:

$$I_{śr} = P_1 I_1 + P_2 I_2 = -k (P_1 \ln P_1 + P_2 \ln P_2) > 0. \qquad (4.12)$$

Wzór powyższy odpowiada wzorowi (3.15) w teorii Shannona. Każda pojedyncza operacja może dostarczyć ilości informacji mniejszej lub większej od przyrostu entropii ΔH wymaganego do uzyskania tej informacji, lecz średnia ilość informacji wyrażona przez wzór (3.13) jest mniejsza od średniego przyrostu entropii związanego z tą operacją.

$$\Delta H_{śr} \geq I_{śr} \qquad (4.13)$$

Znak równości zachodzi wtedy, gdy objętości V_1 i V_2 są równe:

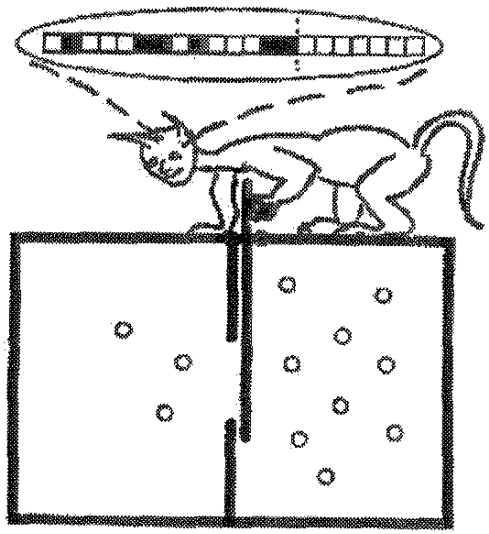
$$V_1 = V_2 = \tfrac{1}{2}V; \quad P_1 = P_2 = \tfrac{1}{2}; \quad I_{śr} = k \ln 2 = 0{,}693\ k, \qquad (4.14)$$

co odpowiada maksimum średniej ilości informacji, a minimum entropii. Można uogólnić, że każde dostarczenie informacji do układu zmniejsza jego entropię (zwiększa uporządkowanie), a uzyskanie informacji (pomiar) zwiększa jego entropię, przy czym średni przyrost entropii jest zawsze większy (lub jej równy) od ilości uzyskanej informacji lub jej równy.

Związek między entropią i informacją odkrył ponownie Shannon [61]. Zdefiniował on entropię ze znakiem przeciwnym niż znak zwykłej, termodynamicznej entropii. To co Brillouin nazwał negentropią, Shannon określił jako entropia informacji.

Związki między informacją i entropią doskonale ilustruje zagadnienie „demona Maxwella". Demon sortujący cząsteczki pojawił się po raz pierwszy w 1871 roku w pracy Maxwella [40], jako „istota, której zmysły są tak wyostrzone, że mogłaby śledzić każdą cząsteczkę w czasie jej ruchu..."

W celu prześledzenia rozważań Maxwella rozpatrzmy izolowane naczynie z gazem. Przypuśćmy, że naczynie podzielone jest na dwie części A i B przegrodą, w której znajduje się mały otworek z drzwiczkami, i że istota (demon Maxwella), która może dostrzegać pojedyncze cząsteczki, zamyka i otwiera te drzwiczki, pozwalając cząsteczkom szybszym od prędkości średniej przechodzić z A do B, a wolniejszym od prędkości średniej tylko z B do A (Rys. 4.1). W ten sposób po stronie A po jakimś czasie zgromadzą się cząsteczki szybkie, a po stronie B – wolne. Nastąpi zmniejszenie entropii. Istota ta, bez wykonywania pracy, będzie więc podnosić temperaturę w części B, a obniżać w A. Zajdą zatem procesy wbrew II zasadzie termodynamiki [79].



Rys. 4.1. Demon Maxwella (http://zon8.physd.amu.edu.pl)

Szilard w swojej pracy jako pierwszy wyjaśnił, że demon wpływa na informację o mikrostrukturze ruchu cząsteczek gazu i w rzeczywistości zmniejsza tą informacją entropię układu.

W przypadku gazu z demonem entropia układu jest równa entropii gazu i demona. Demon zbiera informacje o prędkości zbliżających się cząsteczek. Uzyskuje tę informację dzięki oświetleniu nadlatującej cząsteczki. Oświetlenie wprowadza ujemną entropię do układu. Wykorzystując informację, demon wykonuje pracę, otwierając drzwiczki. Następuje wzrost entropii demona i okazuje się, że ten wzrost zrekompensuje spadek entropii gazu. Nie ma sprzeczności z II zasadą termodynamiki.

W przedstawionym eksperymencie myślowym, po rozdzieleniu cząsteczek nastąpi dwukrotne zmniejszenie nieuporządkowania, stąd zmiana entropii wynosi:

$$\Delta S = k\ln P = k\ln ½ = -0{,}693k, \tag{4.15}$$

gdzie: ΔS – zmiana entropii,
k – stała Boltzmanna,
P – prawdopodobieństwo termodynamiczne określające stopień nieuporządkowania układu.

Tej zmianie entropii towarzyszy zmiana energii swobodnej:

$$\Delta E_s = \Delta ST = 0{,}693\ kT. \tag{4.16}$$

Energia, jaką układ przeznaczyłby na dostarczenie demonowi jednego bita informacji o jednej cząsteczce, ma wartość określoną powyższym wzorem. Jak widać, zysk energii związanej z przeniesieniem cząsteczki jest przeznaczony na dostarczenie demonowi informacji o tej cząsteczce. Energia i entropia układu są stałe.

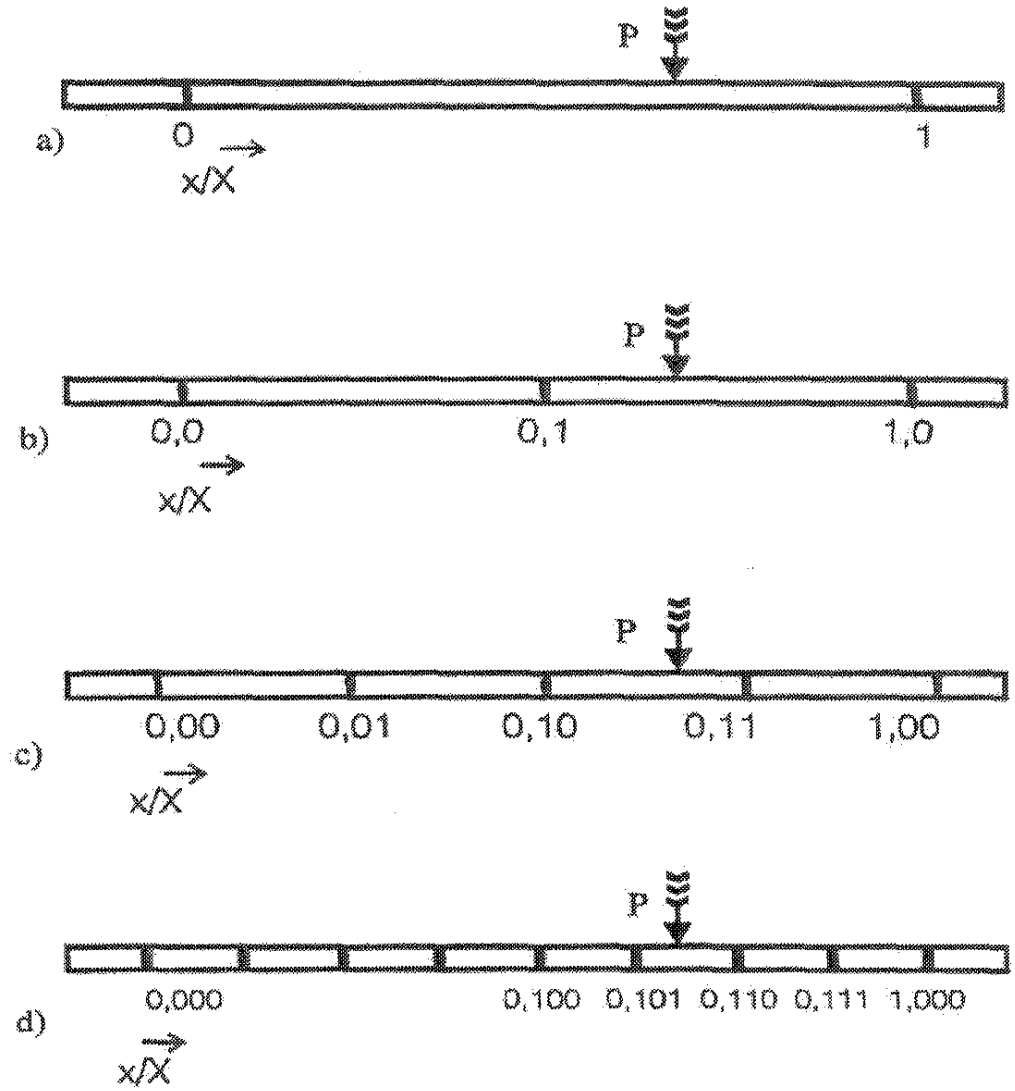
5. Energia i informacja w pomiarze fizycznym

Aby wyjaśnić, jaką ilość informacji niesie pomiar fizyczny, można się posłużyć prostym przykładem pomiaru położenia punktu w jednowymiarowej przestrzeni [24]. Pomiar może być przeprowadzony przy pomocy linijek o tej samej długości, lecz o różnej ilości działek między początkiem i końcem linijki. Na Rys. 5.1 przedstawiono 4 przypadki pomiaru. Do opisu działek, linijek przedstawionych na rysunku użyto systemu dwójkowego. Okaże się to pomocne do ustalenia ilości informacji uzyskanej z pomiaru położenia punktu z różną dokładnością. W systemie tym liczby są przedstawiane jako sumy potęg liczby, przy czym w zapisie przedstawiającym liczbę używa się tylko kombinacji cyfr 0 i 1. Porządek ustawienia tych cyfr określa obecność lub nieobecność danej potęgi liczby 2. Dla przykładu: liczbę 10,75 można zapisać w sposób następujący: $2^3 + 2^1 + 2^{-1} + 2^{-2} = 8 + 2 + 0{,}5 + 0{,}25$. W zapisie dwójkowym wygląda to tak: 1010,11. W kolejności od przecinka w lewo: cyfra 1 określa obecność, zaś cyfra 0 – nieobecność kolejnych potęg o wykładnikach całkowitych liczby 2, przy czym pierwsze miejsce przed przecinkiem określa obecność lub nieobecność potęgi 2^0. Za przecinkiem kolejność cyfr 1 lub 0 określa obecność lub nieobecność kolejnych potęg liczby 2 o wykładnikach ujemnych poczynając od 2^{-1} tuż za przecinkiem.

Na Rys. 5.1 przedstawiono pomiar położenia punktu P linijką o długości jednostkowej X i różnej ilości przedziałów.

Ad 5.1a). Do pomiaru położenia punktu P użyto linijki o długości X i dwu zaznaczonych punktach, 0 i 1, na jej początku i końcu. Pomiar mówi, że punkt P znajduje się między tymi dwoma punktami. Jest tylko jeden przedział, w którym może znaleźć się punkt P, więc ilość uzyskanej informacji wynosi: $I = \log_2 1 = 0$ bitów.

Ad. 5.1b). Do pomiaru położenia punktu P użyto linijki o długości X i trzech zaznaczonych punktach, tworzących dwa przedziały: z lewej $0{,}0 \Rightarrow 0$, w środku $0{,}1 \Rightarrow 2^{-1} = ½$, z prawej $1{,}0 \Rightarrow 2^0 = 1$. Punkt P leży w przedziale $0{,}1 < x/X < 1{,}0$. Są dwa przedziały, w których może znaleźć się punkt P, więc ilość uzyskanej informacji wynosi: $I = \log_2 2 = 1$ bit.



Rys. 5.1. a. Pomiar położenia punktu P linijką o długości jednostkowej X i 1 przedziale,
b. Pomiar położenia punktu P linijką o długości jednostkowej X i 2 przedziałach,
c. Pomiar położenia punktu P linijką o długości jednostkowej X i 4 przedziałach,
d. Pomiar położenia punktu P linijką o długości jednostkowej X i 8 przedziałach.

Ad. 5.1c). Do pomiaru położenia punktu P użyto linijki o długości X i pięciu zaznaczonych punktach, tworzących 4 przedziały: od lewej, $0{,}00 \Rightarrow 0$; $0{,}01 \Rightarrow 2^{-2} = 1/4$; $0{,}10 \Rightarrow 2^{-1} = 1/2$; $0{,}11 \Rightarrow 2^{-1} + 2^{-2} = 3/4$; $1{,}00 \Rightarrow 1$. Punkt P leży w przedziale $0{,}10 < x/X < 0{,}11$. Tym razem ilość informacji uzyskanej z pomiaru wynosi: $I = \log_2 4 = 2$ bity.

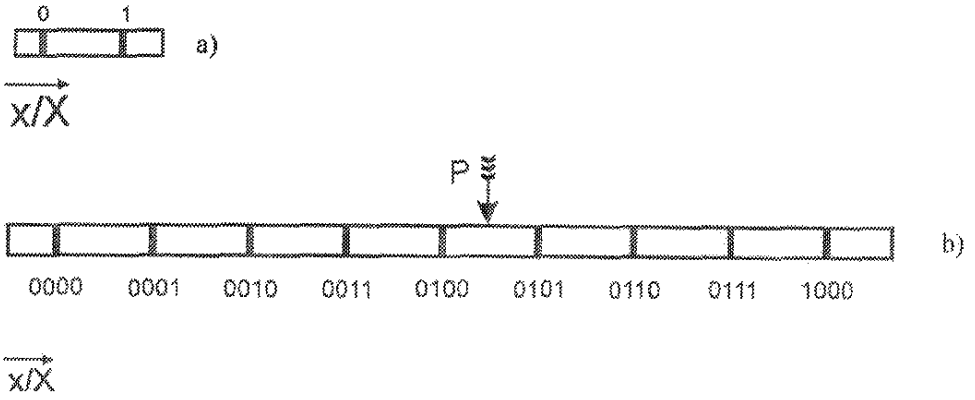
Ad. 5.1d). Do pomiaru położenia punktu P użyto linijki o długości X i ośmiu przedziałach utworzonych przez zaznaczone punkty od 0,000 $\Rightarrow$ 0 z lewej aż do 1,000 $\Rightarrow$ 1, z prawej. Punkt P leży w przedziale $0{,}101 < x/X < 0{,}110$ ($0{,}625 < x/X < 0{,}750$). Z pomiaru uzyskano ilość informacji: $I = \log_2 8 = 3$ bity.

Jak widać z powyższego przykładu, ilość przedziałów w których może znaleźć się punkt (jako potęga liczby 2) określa ilość bitów informacji uzyskanej z pomiaru. W przypadku linijki o dziesięciu działkach, ilość informacji uzyskanej z pomiaru wynosi: $I = \log_2 10 \approx 3{,}32$ bity.

Jeśli do pomiaru używa się linijki o długości jednostkowej, o pewnej ilości działek, która jest równa wielokrotności liczby 2, to wtedy ilość informacji uzyskanej z pomiaru określa liczba cyfr dwójkowych po przecinku, koniecznych dla oznaczenia kresek na linijce.

Ilość przedziałów w miarę zwiększania dokładności pomiaru jest coraz większa, ale musi mieć skończoną wartość, tak więc i ilość informacji uzyskana z pomiaru musi mieć skończoną wartość. Jest to jeden z podstawowych aksjomatów teorii informacji.

W przedstawionym przykładzie określono ilość informacji otrzymanej z pomiaru położenia punktu przy użyciu linijki o jednostkowej długości. Często do pomiarów używana jest linijka o długości będącej wielokrotnością długości jednostkowej. Przypadek taki przedstawiono na Rys. 5.2.



Rys. 5.2. a. linijka o długości jednostkowej X, b. pomiar położenia punktu P linijką o 8-krotnej długości linijki jednostkowej

Na Rys. 5.2a. przedstawiono linijkę o długości jednostkowej X, na Rys. 5.2b, linijkę o długości będącej 8-krotną wielokrotnością tej długości. Wielokrotności są opisane w systemie dwójkowym:

$0000 \Rightarrow 0$; $0001 \Rightarrow 2^0 = 1$; $0010 \Rightarrow 2^1 = 2$; $0011 \Rightarrow 2^0 + 2^1 = 3$ itd.

Gdyby przyjąć, że podział przedziału jednostkowego jest taki sam jak w przypadku przedstawionym na Rys. 5.1d, wtedy punkt P leży w przedziale

$$0100{,}101 < x/X < 0100{,}110 \quad (4{,}625 < x/X < 4{,}750).$$

Cała linijka użyta do pomiaru ma więc 64 przedziały. Ilość informacji uzyskana z pomiaru wynosi: $I = \log_2 64 = 6$ bitów. Jak widać, ilość znaków dwójkowych określających położenie w przedstawionym przypadku (bez ostatniego znaku opisu liczb całkowitych, oznaczającego 2^0) jest równa ilości informacji uzyskanej z pomiaru.

Długość jednostkowa X może być wybrana dowolnie. Np. gdy punkt P leży obok punktu oznaczonego 0100,101 ($2^2 + 2^{-1} + 2^{-3}$) i długość jednostkową podwoić, wtedy położenie punktu można by określić w zapisie dwójkowym jako 010,0101 ($2^1 + 2^{-2} + 2^{-4}$). Jeśliby długość jednostkową zmniejszyć dwukrotnie, wtedy położenie punktu byłoby określone następująco 01001,01 ($2^3 + 2^0 + 2^{-2}$).

Zmiana długości jednostkowej zmienia tylko położenie przecinka w zapisie dwójkowym, nie zmienia zaś ilości znaków dwójkowych określających ilość informacji.

Przy pomiarze coraz to większych odległości trzeba używać przymiarów o coraz większej wielokrotności lub coraz większych jednostkach, jednak ilość ta nie może rosnąć w nieskończoność. Ilość informacji musi mieć charakter skończony.

Skończony charakter ilości informacji wyklucza więc w fizyce pomiar wielkości nieskończenie małych i nieskończenie wielkich.

Jak już wspomniano wcześniej, ilość informacji uzyskana z pomiaru, kiedy przed pomiarem było P_0 jednakowo prawdopodobnych stanów, w których mógł znaleźć się układ, a po pomiarze P_1 stanów, wynosi:

$$I_1 = K \ln P_0 - K \ln P_1. \tag{5.1}$$

Według Shannona [61] informacja powyższa zmienia entropię układu w czasie pomiaru. Jest to entropia informacyjna, która jest miarą braku informacji o rzeczywistej strukturze układu fizycznego. Można więc zapisać, że:

$$I_1 = H_0 - H_1, \tag{5.2}$$

gdzie: H_0 – entropia przed pomiarem,

H_1 – entropia po pomiarze.

Dostarczenie informacji zmniejsza entropię układu, porządkuje go, pobranie informacji ją zwiększa. W teorii informacji ilości informacji odpowiada ujemna entropia. Układu uporządkowanego dotyczy zasada Carnota [8]. Przy naturalnej ewolucji takiego układu istnieje zależność:

$$\Delta H \geq \Delta I \quad \text{lub} \quad \Delta H - \Delta I \geq 0. \tag{5.3}$$

Jak wynika z dotychczasowych rozważań, ilość informacji uzyskanej z pomiaru zależy od ilości działek przyrządu lub inaczej mówiąc, dokładności pomiaru. Dlatego teoria informacji w odróżnieniu od fizyki – używa pojęcia dokładności pomiaru rozumianej jako:

$$A = X/\Delta x, \tag{5.4}$$

gdzie: X – zakres pomiarowy przyrządu,
Δx – niepewność pomiarowa bezwzględna.

Tak więc dokładność pomiaru określa ilość jednakowo prawdopodobnych stanów, w jakich może się znaleźć układ przed pomiarem, stąd ilość informacji uzyskana z odczytu wynosi:

$$I = K \ln A, \tag{5.5}$$

W przypadku podejścia termodynamicznego do ilości informacji, stała K we wzorze (5.5), przyjmuje wartość stałej Boltzmanna, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K. W tym przypadku ilość informacji jest wielkością mianowaną o wymiarze entropii tzn. J/K.

Sprawność obserwacji wg teorii informacji wyraża się wzorem:

$$\eta = \Delta I/\Delta H \tag{5.6}$$

gdzie: ΔI – ilość informacji uzyskana z pomiaru,
ΔH – zmiana entropii towarzysząca pomiarowi.

Pomiar w fizyce klasycznej nie zakłóca układu mierzonego. Z punktu widzenia teorii informacji zmiana entropii towarzysząca pomiarowi powinna być bardzo mała w stosunku do całej entropii układu. Stąd $\Delta I \leq \Delta H << H_0$.

Pomiar jest procesem nieodwracalnym, przy czym determinuje on, przynajmniej częściowo, przyszłe zachowanie się układu. Nie można mówić bowiem o stanie układu, jeśli nie dokona się pomiaru.

Do wykonania pomiaru potrzebna jest energia. Jeśliby rozważyć układ pomiarowy, w którym pomiar polegałby na oświetlaniu kolejnych przedziałów, w których może znaleźć się szukana cząstka, każdy zaś

przedział byłby sprzężony z rezonatorem, to wtedy minimalny przyrost entropii, przy której istnieje 50% szans, że obserwowane wskazanie rezonatora jest poprawną obserwacją i 50%, że jest to pobudzenie cieplne w temperaturze T, wynosi:

$$\Delta H = k \ln 2 = 0{,}693\ k, \tag{5.7}$$

a minimalna energia potrzebna do wykonania pomiaru:

$$\Delta E = 0{,}693\ kT. \tag{5.8}$$

Aby zmierzyć odległość L z niepewnością ΔL, trzeba użyć promieniowania o długości fali spełniającej następujący warunek:

$$\lambda \leq 2\ \Delta L. \tag{5.9}$$

Pęd odpowiadający tej długości fali wynosi:

$$p = h/\lambda \geq h/2\Delta L. \tag{5.10}$$

Dla bardzo dokładnych pomiarów w świecie atomowym promieniowanie służące obserwacji oddziałuje z mierzonym układem i wprowadza zmianę pędu:

$$\Delta p = 2p \geq h/\Delta L \quad (\text{od } -p \text{ do } +p) \tag{5.11}$$

Odpowiada to relacji nieoznaczoności:

$$\Delta p\ \Delta L \geq h \tag{5.12}$$

Z dużym pędem jest związana duża energia i w związku z tym pomiary bardzo małych odległości, z bardzo małymi niepewnościami pomiarowymi wymagają bardzo dużych energii.

Jeśli przy pomiarze wykorzystuje się promieniowanie o długości fali spełniającej warunek (5.9), to wtedy energia kwantu promieniowania pozwalającego na pomiar odległości L z niepewnością ΔL wynosi:

$$\Delta E = h\nu = pc = hc/\lambda \geq hc/(2\Delta L), \tag{5.13}$$

$$\Delta E\ \Delta L \geq hc/2. \tag{5.14}$$

Zwiększanie dokładności pomiaru wymaga zwiększenia energii potrzebnej do przeprowadzenia pomiaru, tj. zwiększenia częstotliwości promieniowania użytego do obserwacji:

$$\nu \geq c/(2\Delta L), \tag{5.15}$$

np. dla pomiaru z niepewnością pomiarową 0,001 m, częstotliwość użytego do obserwacji promieniowania musi być rzędu 10^{11} Hz, co odpowiada światłu widzialnemu, a dla pomiaru z niepewnością pomiarową 10^{-10} m, jest potrzebne promieniowanie o częstotliwości rzędu 10^{18} Hz, co odpowiada promieniowaniu rentgenowskiemu. Otrzymanie tego promieniowania wymaga znacznych energii. Na podstawie powyższych rozważań można powiedzieć, że dokładniejszy pomiar wymaga większej energii.

Z drugiej strony dla zmiany stanu danego układu należy dysponować nie mniejszą ilością informacji o tym stanie niż ta, jaka może być uzyskana przy pomiarze określającym ten stan [44].

Korzystając z zależności (5.15), można określić graniczną odległość, możliwą do zmierzenia w danej temperaturze. W tym celu należy porównać energię kwantu promieniowania użytego do obserwacji z energią związaną z cieplnymi drganiami pomiarowego rezonatora w temperaturze T:

$$h\nu_g / kT \geq hc / (2kT\Delta L). \qquad (5.16)$$

Człon hc/kT ma wymiar długości i można go potraktować jako graniczną długość L_T. Stąd w danej temperaturze:

$$h\nu_g / kT \geq L_T / (2\Delta L), \qquad (5.17)$$

zaś $L_T = hc/(kT) \approx (1{,}44/T) \cdot 10^{-2}$ m. Dla temperatury pokojowej 293 K, $L_T \approx 50$ μm.

Podsumowując przedstawione rozważania na temat związku pomiaru i teorii informacji, można powiedzieć, że nie można mierzyć wielkości nieskończenie małych i nieskończenie wielkich, gdyż informacja uzyskana z pomiaru musi mieć skończoną wartość. W związku z tym, niczego nie można zmierzyć dokładnie, zawsze musi wystąpić niepewność pomiaru o skończonej wartości.

Można również stwierdzić, że natura informacji i entropii fizycznej jest taka sama. Entropia jest miarą braku szczegółowej informacji o układzie fizycznym. Im większa jest ilość informacji o układzie, tym mniejsza jest jego entropia i odwrotnie. Zdobywaniu informacji podczas pomiaru towarzyszy zawsze zmiana entropii mierzonego układu.

W większości przypadków zmiany entropii układu fizycznego związane ze zdobywaniem informacji są bardzo małe. Ilość informacji mierzy się zwykle w bitach, natomiast entropię w jednostkach termodynamicznych. Wzór (5.7) łączy te dwa podejścia, gdyż uzyskaniu informacji 1 bita towarzyszy zmiana entropii 0,693 k. Bardzo mała wartość entropii od-

powiadająca nawet bardzo dużej ilości informacji (uzyskanie 10^{10} bitów informacji wymaga entropii rzędu 10^{-13} J/K) jest głównym powodem tego, że przesyłanie informacji nie jest drogie.

Pomiary łączą się z układami jednostek, jednostek, w których są podawane ich wyniki. Aby wyniki pomiarów były czytelne dla wszystkich, muszą być podawane w stabilnych, uniwersalnych jednostkach wraz z szacowaną niepewnością z punktu widzenia fizyki oraz innych nauk przyrodniczych, a dokładnością z punktu widzenia teorii informacji.

Pomiarami zajmuje się metrologia, która ma coraz większy udział w infrastrukturze uprzemysłowionego świata [34]. Współczesna metrologia zaczęła powstawać wraz z rozwojem międzynarodowego handlu towarami przemysłowymi w połowie XIX wieku. Potrzeba ogólnoświatowego uzgodnienia jednostek miar sprawiła, że 17 państw podpisało w 1875 roku Konwencję Metryczną. Obecnie ma ona 48 sygnatariuszy, w tym główne kraje uprzemysłowione.

Konwencja Metryczna stanowi podstawę międzynarodowych porozumień w sprawach związanych z metrologią i jednostkami miar. Dzięki niej powstało Międzynarodowe Biuro Wag i Miar w Sevres pod Paryżem – laboratorium poświęcone przede wszystkim pomiarom fizycznym. Obecnie wszystkie kraje uprzemysłowione mają swoje państwowe instytuty metrologii (PIM). Wraz z Międzynarodowym Biurem Wag i Miar współtworzą one światowy system pomiarów, którego podstawą jest Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (SI). Główne instytuty państwowe na świecie wiąże sieć porównań wzorców jednostek, tzw. porównań kluczowych, pokrywających wszystkie główne obszary metrologii.

Poza państwowymi instytutami metrologicznymi większość krajów utrzymuje rozbudowane służby kalibracji (wzorcowania) i akredytacji, a także prowadzi tradycyjną działalność legalizacji i weryfikacji metrologicznej dla potrzeb handlu detalicznego, jak również pomiary bezpośrednio służące użytkownikom. Potrzeba zburzenia tzw. barier technicznych w handlu spowodowała zawieranie porozumień między państwami i grupami regionalnymi o wzajemnym uznawaniu kalibracji, sprawdzianów i akredytacji.

W każdym kraju służby metrologiczne kalibracji, sprawdzianów i akredytacji, otrzymują wzorce pomiarowe ze swoich PIM-ów. Zaistniała więc potrzeba zawarcia odpowiedniego porozumienia między instytutami państwowymi o wzajemnym uznaniu jednostek miar i procedur kalibracyjnych. Wstępny szkic takiego porozumienia został nakreślony w lutym

1998 roku, w Sevres na spotkaniu dyrektorów PIM-ów ze wszystkich krajów członkowskich Konwencji Metrycznej. Międzynarodowymi aspektami weryfikacji prawnej zajmuje się Międzynarodowa Organizacja Metrologii Prawnej (Organisation Internationale de Metrologie Legale – OIML). Organizacja ta powstała 12 października 1955 roku w Paryżu. Celami OIML były, i wciąż są, wspieranie współpracy między krajami, umożliwiającej wymianę wiedzy i informacji, rozwijanie wzajemnego zrozumienia i zaufania. Działania OIML doprowadziły do stworzenia struktury, dzięki której pomiary wykonane w jednym miejscu mogą być powtórzone oraz wykorzystywane w innym. Ideę tę oddaje sformułowanie „spójność pomiarowa". Dziś liczba członków OIML osiągnęła 59 państw członkowskich i 52 członków korespondentów.

6. Energia i informacja w fizyce kwantowej

Mechanika kwantowa jest najnowszą teorią współczesnej fizyki. Mimo że powstała na początku ubiegłego stulecia, kiedy Planck wysunął hipotezę istnienia kwantów, teoria ta wciąż rozwija się i jest źródłem coraz to nowych niespodzianek. Ta teoria mikroświata nie pasuje do naszego obrazu materii i jej prawidłowości, ukształtowanego na podstawie odbioru przez nasze zmysły wrażeń pochodzących od świata makroskopowego, świata fizyki klasycznej. Świat opisany przez mechanikę kwantową jest trudny, a być może niemożliwy do wyobrażenia.

Od początku istnienia mechaniki kwantowej, stworzonej przez Schrödingera i Heisenberga, istniały dwa spojrzenia na tę naukę. Istniała grupa uczonych w pełni popierająca statystyczne podejście mechaniki kwantowej. Uważali oni, że mikroświat rządzi się innymi prawami niż makroświat. Mikroświata nie można opisywać pojęciami fizyki klasycznej. Obowiązują tu prawidłowości statystyczne, zasada nieoznaczoności Heisenberga i dualizm korpuskularno-falowy. Podejście to, zwane kopenhaską interpretacją mechaniki kwantowej, reprezentowali młodzi wówczas fizycy z Nielsem Bohrem i Wernerem Heisenbergiem na czele [72].

Inni, z których najwybitniejszym przedstawicielem był Albert Einstein, uważali, że mechanika kwantowa jest niepełna i musi być uzupełniona. Według nich, niemożność deterministycznego opisu zjawisk kwantowych wynika z niedoskonałości wiedzy. Usiłowali znaleźć luki w mechanice kwantowej i uzupełnić je.

Dyskusje te trwają do dnia dzisiejszego. W międzyczasie mechanika kwantowa rozwijała się i rozwijały się metody eksperymentalne, pozwalające przeprowadzać eksperymenty, które za czasów Einsteina były tylko eksperymentami myślowymi. Tak było, gdy Einstein, Podolsky i Rosen w 1935 roku zaproponowali eksperyment polegający na jednoczesnym zmierzeniu położenia i pędu cząstki. Pytanie dotyczyło głównie własności elektronu.

Czy jest falą czy też cząstką? Mechanika kwantowa mówi, że odpowiedź na to pytanie zależy sytuacji pomiarowej. Gdy mierzy się położenie elektronu, zachowuje się jak cząstka, gdy zaś bada się jego falowe cechy,

zachowuje się jak fala. Nie można jednocześnie w jednym pomiarze mierzyć własności korpuskularnych i falowych. Informacja nie może być mierzona w tradycyjnych jednostkach, bitach, gdyż nie da się otrzymać jednoznacznej odpowiedzi: tak lub nie. Zwolennicy Einsteina jednak nie uznają tego opisu za kompletny i proponują pomiar dodatkowy, polegający na obserwacji szczeliny, przez którą przelatuje elektron. Gdy jednak dokona się tej obserwacji, znika obraz interferencyjny elektronu.

Początkowo dyskusja była czysto akademicka. Tak było do 1964 roku, kiedy J. Bell ogłosił pracę dotyczącą nierówności statystycznych, które wskazują na to, że w pewnych sytuacjach każda ze stron może przewidywać odmienne wyniki ilościowe, które można będzie następnie sprawdzać doświadczalnie. Dyskusja przestała być czysto akademicka i fizycy podążyli w tym kierunku, opracowując odpowiednie metody pomiarowe.

Praca Bella dotyczyła pomiarów ustawienia spinu cząstek elementarnych lub kierunku polaryzacji fotonów. Spin jest momentem pędu, który elektron posiada, wirując ze stałą prędkością. Skierowanie osi obrotu można wyznaczyć, wytwarzając w danym obszarze pole magnetyczne, pod wpływem którego spin skieruje się zgodnie lub przeciwnie do tego pola. Spin może przyjąć tylko dwie wartości: $+\frac{1}{2}$ i $-\frac{1}{2}$. W przypadku fotonu wielkością charakterystyczną jest polaryzacja. Pole elektromagnetyczne jest falą, która musi drgać w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się. W płaszczyźnie tej można wyróżnić dwa prostopadłe kierunki, względem których mierzy się polaryzację fotonu. Rzut momentu pędu fotonu, równego 1, na te kierunki może mieć wartość 1, 0 lub –1. Jeśli więc na drodze wiązki światła ustawi się kryształy dwójłomne, przepuszczające światło o odpowiednim kierunku drgań, określi się polaryzację fotonów.

Fizyka potrafi zmierzyć ustawienie spinu elektronu i polaryzację fotonu dla danego mikroobiektu tylko w jednym kierunku. Nie da się wykonać tego pomiaru dla dwu niezależnych kierunków. Dlatego fizycy mierzą spin elektronu lub polaryzację fotonu w parach mikrocząstek, w których wiadomo, że druga cząstka pochodzi z tego samego stanu energetycznego (stan singletowy, w którym wartość momentu pędu cząstki lub fotonu wynosi 0). Tak jest w przypadku powstania pary: negaton – pozyton oraz fotonów emitowanych ze stanu singletowego.

Jeśli więc atom ze stanu singletowego emituje dwa fotony, które biegną w przeciwnych kierunkach i mają przeciwną polaryzację i po jakimś czasie, np. po kilku latach, jeden z nich wpadnie do polarymetru, to

określenie jego polaryzacji bez względu na odległość drugiego pozwoli określić, że ten drugi ma polaryzację przeciwną, lecz do tej pory nieznaną. To oddziaływanie na odległość było dla Einsteina nie do przyjęcia.

Pomiary A. Aspecta, J. Dallibarda i G. Rogera w 1982 roku potwierdziły jednak przewidywania Bella. Wszystkie rozważania prowadzone dotychczas potwierdzały tezę, że dla zajścia jakiegokolwiek zdarzenia we wszechświecie potrzebna jest energia i informacja. Zarówno energia, jak i informacja są przekazywane. Tymczasem w mikroświecie opisywanym mechaniką kwantową dzieją się rzeczy dziwne.

Zjawiska kwantowe nie są ani falowe, ani korpuskularne, lecz pozostają wewnętrznie nieokreślone aż do momentu pomiaru. Nie zaobserwowany obiekt kwantowy istnieje jako koherentna superpozycja wszystkich możliwych „stanów", jakie dopuszcza jego funkcja falowa. Ale kiedy obserwator dokonuje pomiaru umożliwiającego rozróżnienie tych stanów, funkcja falowa „redukuje się", to znaczy, że obiekt kwantowy zostaje zmuszony do przejścia w jeden określony stan [52].

Pietrzak [52] opisuje następujący eksperyment, który burzy nasze dotychczasowe spojrzenie na przekaz energii i informacji. Eksperyment został przeprowadzony na Uniwersytecie Rochester w 1991 roku. W eksperymencie użyto tzw. parametrycznego konwertera obniżającego częstość fotonu. Konwerter taki jest specjalną soczewką rozdzielającą pojedynczy foton na dwa, z których każdy niesie połowę energii.

Wiązkę światła laserowego skierowano na tzw. płytkę odbijająco-przepuszczalną. Jest to lustro z warstwą srebra akurat tak cienką, by przepuszczać połowę i odbijać połowę padających nań kwantów. Uzyskane w ten sposób dwie wiązki fotonów kierowane są za pomocą odpowiednio ustawionych zwierciadeł do dwu konwerterów częstości. Konwertery rozszczepiają docierające do nich fotony na pary fotonów o dwa razy niższej częstości każdy (każdy foton z pary niesie połowę energii fotonu pierwotnego). Jeden z nich nazwano „sygnałem", drugi zaś „fotonem biernym". Konwertery są ustawione w taki sposób, że wiązki fotonów „biernych" (wiązki bierne) nakładają się i są kierowane do wspólnego detektora. Analogicznie postępuje się z dwiema wiązkami fotonów zwanych „sygnałami" (wiązki sygnałowe).

Opisany układ nie pozwala obserwatorowi stwierdzić, jaką drogę przebiegł foton od momentu napotkania płytki odbijająco-przepuszczalnej. Każdy foton mógł biec obydwoma drogami oddzielnie lub biec obydwoma torami naraz i następnie utworzyć dwie wiązki sygnałowe i dwie

wiązki bierne. Te dwie wiązki sygnałowe tworzą w detektorze obraz interferencyjny, który można zaobserwować poprzez stopniowe wydłużanie drogi pomiędzy jednym z konwerterów częstości a detektorem. W miarę jak jest przesuwany detektor, liczba zliczeń okresowo wzrasta i maleje. Układ jest tak zbudowany, że fotony sygnałowe i bierne od momentu emisji przez konwertery częstości biegną do swych detektorów całkowicie niezależnie. Okazało się, że po zablokowaniu drogi jednej z wiązek biernych znika struktura interferencyjna. W tym przypadku obserwator uzyskałby informację, jaką drogą podążał foton opuszczający płytkę odbijająco-przepuszczalną. Foton nie mógłby pobiec, jak fala, obydwoma drogami naraz, lecz musiałby odbić się od płytki lub przejść przez nią, jak cząstka.

Doświadczenie pokazuje, że nie jest potrzebne rzeczywiste porównanie momentów detekcji fotonów sygnałowych i biernych do zniszczenia obrazu interferencyjnego wiązek sygnałowych. Wystarczy sama potencjalna możliwość uzyskania informacji o drodze fotonu, aby zmusić go do wyboru jednej tylko drogi.

Innym zaskakującym zjawiskiem jest anihilacja pary negaton–pozyton. Powstające fotony mają przeciwne spiny, ale o spinach tych można mówić dopiero, gdy się je zmierzy. Foton oddalony od towarzysza z pary dowie się o jego stanie spinowym natychmiast, gdy tylko „towarzysz" ustali swój spin na skutek aktu pomiaru. Ale wynik pomiaru spinu jednego z fotonów, a co za tym idzie – reakcja drugiego zupełnie nie zależy od obserwatora. Fizycy mówią nie o komunikowaniu się fotonów, ale raczej o korelacji między nimi. Stan fotonu jest zakodowany w jego funkcji stanu. Informacja o zmierzonej wartości spinu nie musi się przenosić, ona po prostu jest w odpowiedniej funkcji stanu. Okazuje się, że fotony i cząstki kwantowe nie wymagają przestrzeni, by kontaktować się ze sobą. To eksperymentatorzy i ich przyrządy znajdują się w przestrzeni. Mówi się o nielokalności mechaniki kwantowej.

W przedstawionych eksperymentach nic się nie zgadza z dotychczasowym makroskopowym podejściem do zdarzenia, które zachodzi mimo braku pełnej informacji, oraz przekazy informacji między cząstkami kwantowymi nie wymagają przestrzeni.

Powstały w związku z tym dwie interpretacje filozoficzne. Pierwsza głosiła, że mechanika kwantowa obala przekonanie, że świat ma własności niezależne od ludzkiej świadomości i obserwacji. Drugie stanowisko mówi, że nie trzeba tak poważnie kwestionować poznawalności świata

i jego obiektywnych własności. Wystarczy potraktować układ kwantowy złożony np. z dwu fotonów, ich wspólnego źródła i przyrządów pomiarowych jako niepodzielne zdarzenie, w ramach którego poszczególne elementy dostosowują się do innych.

Części te zawierają swoją historię, czyli informację o wspólnym pochodzeniu, a ich stany są silnie skorelowane.

Wg Tempczyka [72]: „Nie trzeba rezygnować z obiektywności i poznawalności świata, należy jednak pogodzić się z tym, że procesy kwantowe są nielokalne, czyli, że przebieg procesu w jakimś obszarze przestrzeni wpływa na to, co dzieje się w innym odległym obszarze. Wpływ ten nie polega na przesyłaniu sygnałów, ponieważ nie ma na to czasu".

7. Energia i informacja w procesach sterowania

7.1. Procesy sterowania, układy sterujące i sterowane. Układy samodzielne

Jak już wspomniano wcześniej, Shannon [61] odcinał się zupełnie od problemu treści informacji. Interesował go jedynie problem optymalizacji przekazu sygnałów, czyli komunikacji. Takie podejście jest jednak niemożliwe w procesie komunikowania się między ludźmi, a zwłaszcza w procesie nauczania i uczenia się. Przy wysyłaniu telegramu dla poczty nie jest ważna jego treść, ale dla nadawcy i adresata jest to niezwykle istotne.

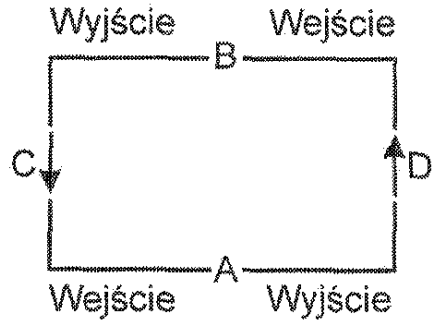
Dlatego już w pracy Shannona i Weavera [62] pojawiły się problemy związane z treścią informacji. Autorzy wyróżnili trzy rodzaje problemów:

— techniczny (syntaktyczny) – na ile dokładnie są przekazywane sygnały, przy pomocy których jest przekazywana informacja,
— semantyczny – na ile dokładnie przekazane sygnały oddają sens przesyłanej informacji,
— pragmatyczny – na ile jest efektywny odbiór sensu informacji przez odbiorcę informacji.

Mazur podchodzi do teorii informacji w sposób jakościowy rozpatrując przekaz informacji z cybernetycznego punktu widzenia [41,42]. Podejście to traktuje przekaz informacji w związku z procesem sterowania. Sterowanie ma doprowadzić do powstania określonych zmian w układzie sterowanym. Układ sterujący to układ powodujący zmiany w układzie sterowanym. Układ sterujący i sterowany oddziaływają na siebie wzajemnie poprzez łącza sterowania. Oba układy oraz łącza sterowania tworzą obwód sterowania. Schemat obwodu sterowania przedstawia Rys. 7.1.

Można mówić o zmianach na wyjściu lub wejściu układu. Problem sterowania sprowadza się do uzyskania odpowiedzi na pytanie, jaki pro-

ces powinien zachodzić między wejściem i wyjściem układu sterującego A, żeby zaszedł żądany proces między wejściem i wyjściem układu sterowanego B. W związku z tym działanie układu sterującego powinno zależeć od zmian zachodzących na wyjściu sterowanego układu B. W rzeczywistości jednak zależy ono od zmian na wejściu układu sterującego A. Ta różnica wynika z istnienia łączy sterowania C i D.



Rys. 7.1. Schemat obwodu sterowania

Wg Mazura, dowolny twór określają 3 czynniki:

— materia,
— energia,
— struktura (rozmieszczenie materii i energii).

Sterowanie jest wywoływaniem pożądanych zmian struktury. Jeśli rozumieć strukturę jako informację, to zmiany struktury wynikają z przetwarzania informacji. Układ jest tworem określonym tylko co do struktury.

Wyodrębniając dowolny układ z jego otoczenia poprzez rozdzielenie na układ oraz tor oddziaływania układu na otoczenie, można rozróżnić 2 tory oddziaływań:

— tor oddziaływania otoczenia na układ,
— tor oddziaływania układu na otoczenie.

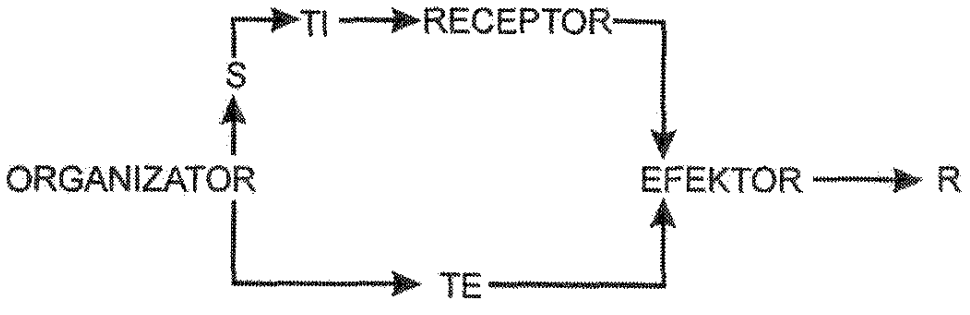
Wśród układów wyodrębnionych z otoczenia można wyróżnić:

— układy uzależnione od organizatora zewnętrznego,
— układy uniezależnione od organizatora zewnętrznego.

Do układów uzależnionych od organizatora zewnętrznego należą:

— układ zorganizowany,
— układ sterowny,
— układ samosterowny.

Schemat układu zorganizowanego przedstawia Rys. 7.2.



Rys. 7.2. Schemat układu zorganizowanego. **S** – bodziec, **R** – reakcja, **TI** – tor informacyjny, **TE** – tor energetyczny.

Powstanie określonej reakcji jest wynikiem 2 procesów:

— informacyjnego, który wybiera tę właśnie reakcję spośród wielu możliwych; potrzebna informacja dociera z otoczenia do receptora, a stąd do efektora,

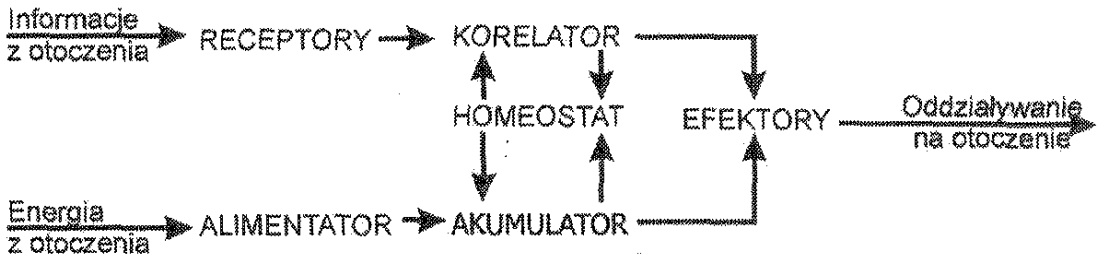
— energetycznego, w wyniku którego następuje dostarczenie odpowiedniej ilości energii potrzebnej do wywołania odpowiedniej reakcji na wyjściu efektora. Reakcja jest przekazywana do otoczenia.

W przypadku układu zorganizowanego organizator dostarcza informację oraz energię do wywołania określonej reakcji. System sterowny ma w torze energetycznym własny przetwornik energii (akumulator). Rola organizatora sprowadza się do sterowania układem przez dostarczanie do receptora odpowiednich informacji koniecznych dla wywołania odpowiedniej reakcji na wyjściu efektora. Przykładem układu sterownego może być samochód.

Układ samosterowny posiada w torze informacyjnym własny przetwornik informacji uzyskanych z otoczenia zwany korelatorem oraz akumulator w torze energetycznym.

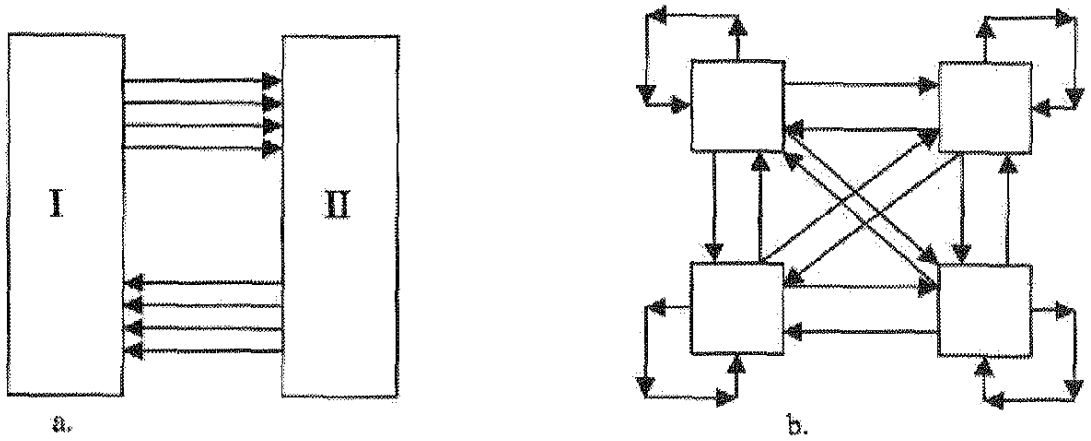
Układ taki może działać bez organizatora zewnętrznego, jednakże zawsze w jego interesie, gdyż organizator nadaje układowi pożądaną dla siebie strukturę wyjściową, którą wraz ze zmianą własnych potrzeb może modyfikować. Przykładami układów samosterownych są automaty.

Układem uniezależnionym od organizatora zewnętrznego jest układ samodzielny (autonomiczny). Schemat takiego układu przedstawia Rys. 7.3.



Rys. 7.3. Schemat układu samodzielnego

Podstawowym organem układu samodzielnego jest homeostat umożliwiający modyfikację struktury. W.R. Ashby [18] zaproponował i wykazał doświadczalnie istnienie takiej elastycznej struktury sterowania, która może zapewnić stabilność złożonego układu niezależnie od zakłóceń. Nazwał taką strukturę homeostatem. W sposób najbardziej ogólny można go nazwać układem znajdującym stan równowagi we wszystkich stwarzanych mu warunkach. Ogólną strukturę homeostatu przedstawia Rys. 7.4a i 7.4b. Homeostat składa się z dwóch zasadniczych części.



Rys. 7.4. Ogólna struktura homeostatu.
a. podstawowe części homeostatu:
I – składa się z 4 podukładów przedstawionych na Rys. 7.4b,
II – układ przełączników wpływających na pracę układu w części I,
b. schemat budowy części I homeostatu.

Część I układu z Rys. 7.4a, przedstawiona w postaci prostokąta oznaczonego cyfrą I, zawiera cztery podukłady, przedstawione w postaci kwadratów, połączone ze sobą w sposób pokazany na Rys. 7.4b. Każde połączenie jest przedstawione w postaci strzałki. Połączenia te tworzą

sieć sprzężeń zwrotnych między wszystkimi czterema podukładami oraz sprzężenia zwrotne działające na ten sam podukład. Część II homeostatu, przedstawiona na Rys. 7.4a w postaci prostokąta oznaczonego cyfrą II, składa się z szeregu przełączników (działających wtedy, gdy któraś ze zmiennych w podukładach osiągnie graniczną wartość dopuszczalną) powodujących zmianę parametrów w części I.

Istota pracy układu polega na tym, że zmienne opisujące przebiegi w części I mogą przybierać wartości tylko w określonym przedziale. Osiągnięcie granic przedziału przez którąkolwiek ze zmiennych powoduje wysłanie odpowiedniego sygnału do części II i zadziałanie przełączników, zmieniających parametry części I. Jeśli część I osiągnie stan równowagi wewnątrz dopuszczalnych wartości, to przełączniki części II przestają działać i całość znajdzie się w stanie równowagi. Stan taki będzie trwał do chwili, w której jakaś zmienna osiągnie wartość graniczną, co spowoduje uruchomienie przełączników w części II, które doprowadzą ponownie część I do stanu równowagi.

Homeostat w układzie samodzielnym wpływa na akumulator i korelator, regulując przetwarzaniem informacji i energii tak, aby nie dopuścić do destrukcji struktury. Układ samodzielny jest więc układem samoregulującym się i pracującym w stanie równowagi funkcjonalnej, za którą jest odpowiedzialny homeostat. Układ może sterować się bez zewnętrznego organizatora, jest on organizatorem samego siebie i steruje się we własnym interesie. Co więcej, układ samodzielny sterujący innymi układami staje się przez to ich organizatorem.

Układ samodzielny potrzebuje informacji o faktach teraźniejszych i przeszłych. Informacje są dostarczane w postaci bodźców do receptorów, stąd do korelatora, gdzie są przetwarzane na komunikaty informujące o faktach teraźniejszych i przeszłych.

W układzie samodzielnym, w torze energetycznym jest również element pobierający energię z otoczenia i przekazujący ją do akumulatora. Element ten nazywa się alimentatorem.

Układ samodzielny ma bezpośrednią styczność z otoczeniem za pośrednictwem receptorów i alimentatorów będących wejściami układu i efektorów będących wyjściami układu. Przykładami układów samodzielnych są organizmy. Samodzielne układy techniczne są nazywane autonomami.

Wg Wilsz [78], człowiek spełnia wymagania definicyjne układu samodzielnego omówionego powyżej, ponieważ jest zdolny do sterowania

sobą i przeciwstawiania się utracie zdolności samosterowania. Wszystkie funkcje występujące w układzie samodzielnym, zarówno energetyczne, jak i informacyjne, są spełniane w organizmie człowieka. Funkcję receptorów odgrywają zmysły człowieka, korelatorem jest mózg, usta pełnią funkcję alimentatora, efektorami mogą być również usta, a także i ręce i inne organy, za pośrednictwem których człowiek może oddziaływać na otoczenie. Akumulatorem jest układ pokarmowy, przetwarzający uzyskaną energię z jedzenia na energię potrzebną do egzystencji człowieka. Homeostat nie jest u człowieka wydzielonym organem, lecz funkcją działania całego organizmu. Homeostazę rozpatrywaną w odniesieniu do natury biologicznej człowieka określa się jako homeostazę fizjologiczną. Odnosi się ona do procesów energetycznych zachodzących w organizmie człowieka, np. reguluje ciepłotę ciała przez pocenie się. Dzięki homeostazie psychologicznej następuje rozwój struktur poznawczych i zachowanie stanu równowagi psychologicznej.

W każdym układzie przy braku informacji z zewnątrz zanikają z czasem możliwości występowania przebiegów sterowniczych i następuje dezorganizacja. Maleje jakość tworzywa a, z którego zbudowany jest układ zgodnie z zależnością:

$$a = a_0 e^{-At}, \tag{7.1}$$

gdzie: a_0 – jakość początkowa;
a – jakość po czasie t,
A – współczynnik starzenia układu.

Homeostat w układzie samodzielnym przeciwdziała starzeniu, rozbudowując układ i wprowadzając większą ilość tworzywa, zgodnie ze wzorem:

$$c = c_g (1 - e^{-Ct}), \tag{7.2}$$

gdzie: c – chwilowa ilość tworzywa,
c_g – graniczna ilość tworzywa,
C – współczynnik rozbudowy.

Stosunek współczynników starzenia A i rozbudowy C nazywany jest współczynnikiem dynamizmu układu, zapisanym jako:

$$n = \frac{C}{A} \quad \text{lub} \quad D = \ln n. \tag{7.3}$$

Liczba D ze wzoru (7.3) określa dynamizm charakteru, układu samodzielnego. Mazur [41] wyróżnia trzy rodzaje charakterów układów samodzielnych:

1. statyzm (dynamizm zerowy), gdzie: D = 0, n = 1, C = A,
2. egzodynamizm (dynamizm dodatni), gdzie: D > 0, n > 1, C > A,
3. endodynamizm (dynamizm ujemny), gdzie: D < 0, n < 1, C < A.

Z jakością tworzenia a oraz ilością tworzywa c łączy się moc całkowita układu samodzielnego P, wyrażona wzorem:

$$P = v\,a\,c, \tag{7.4}$$

gdzie: v – jednostkowa moc układu (zdolność do przetwarzania energii).

Obok mocy całkowitej układ samodzielny jest scharakteryzowany przez:

P_i – moc wewnętrzną (fizjologiczną) – moc układu po przetworzeniu mocy zewnętrznej,

P_e – moc zewnętrzną (socjologiczną) – moc pochodzącą z otoczenia,

P_r – moc roboczą – moc potrzebną na wykonanie pracy związanej z pobieraniem mocy zewnętrznej,

P_s – moc asekuracyjną – moc pobieraną z otoczenia przez układ samodzielny. Składają się na nią:

$$(P_s = P_0 + P_r) \tag{7.5}$$

P_0 – moc jałowa (straty),

P_r – moc robocza.

Po odliczeniu z mocy całkowitej, mocy asekuracyjnej, pozostaje pewna nadwyżka mocy, zwana mocą koordynacyjną P_k lub swobodną, dzięki której układ może oddziaływać na otoczenie:

$$P_k = P - P_s. \tag{7.6}$$

Można zapisać też, że:

$$P = P_s + P_k = P_0 + P_r + P_k \tag{7.7}$$

gdzie: $P_d = P_r + P_k$ jest mocą dyspozycyjną układu samodzielnego.

Zależności między powyższymi mocami określają szerokość charakteru układu, tj.

$$L = \frac{P_s}{P} = \frac{P_0 + P_r}{P} = \frac{P_0}{P} + \frac{P_r}{P} = T + B\ , \tag{7.8}$$

gdzie:

$$T = \frac{P_0}{P} \quad \text{– tolerancja,} \tag{7.9}$$

$$B = \frac{P_r}{P} \quad \text{– podatność.} \tag{7.10}$$

U człowieka, rozumianego jako układ samodzielny, Wilsz [78] widzi inteligencję, pojętność, talent jako niekształtowalne, informacyjne cechy osobowości, zaś dynamizm, tolerancję i podatność jako niekształtowalne, energetyczne cechy osobowości.

Inteligencję należy rozumieć jako zdolność kojarzenia. Inteligencja wynika z pojemności informacyjnej mózgu.

Pojętność jest zdolnością zapamiętywania. Im większa pojętność człowieka, tym łatwiej zapamiętuje on wiadomości z różnych dziedzin, niezależnie od zamiłowania.

Talent jest zdolnością wyróżniania, wynikającą z preferencyjności mózgu.

Układy samodzielne o dodatnim dynamizmie charakteru mają dużą moc dyspozycyjną, dzięki której reakcje tych systemów są silne. Ze względu na dużą intensywność działania homeostatu układ o dynamizmie dodatnim dąży do jak najszybszego usuwania zakłóceń poprzez częste reakcje. Układy są bardzo wrażliwe na zmiany własnej struktury, a ich sterowanie się jest związane głównie z teraźniejszością.

Ludzie o dużym dynamizmie dodatnim wskutek nadmiernej koncentracji energii muszą pozbywać się nadmiaru mocy dyspozycyjnej. Dlatego reakcje ich są silne, szybkie i częste.

Układy samodzielne o ujemnym dynamizmie charakteru mają małą moc dyspozycyjną, na skutek czego reakcje tych układów są słabe. Działanie homeostatu polega w tych układach na oszczędzaniu własnej mocy swobodnej i jest mało intensywne. Układy samodzielne o ujemnym dynamizmie charakteru sterują się na gromadzenie dużej mocy socjologicznej i na skutki przyszłe swoich decyzji, są wrażliwe na zmiany w otoczeniu.

Ludzie o dużym dynamizmie ujemnym, wskutek zbyt małej koncentracji energii, muszą oszczędnie gospodarować posiadaną w niedoborze mocą dyspozycyjną. Braki tej mocy uzupełniają zdobytą na otoczeniu mocą socjologiczną. Reakcje ich są słabe, powolne i rzadkie.

Ogólnie mówiąc, podstawowym przejawem dynamizmu charakteru u ludzi o dynamizmie dodatnim jest rozpraszanie, ludzi o dynamizmie zerowym charakteryzuje utrzymywanie, a ludzi o dynamizmie ujemnym ce-

chuje gromadzenie. Rozpraszanie, utrzymywanie i gromadzenie dotyczą różnych aspektów życia ludzkiego, m.in.: energii, przedmiotów, pieniędzy, informacji.

Dynamizm człowieka może się zmieniać wraz z jego rozwojem i upływem czasu, np. dzieci mają przeważnie dynamizm dodatni, a ludzie starsi ujemny.

Dwie kolejne niekształtowalne, energetyczne cechy osobowości człowieka to tolerancja i podatność, których suma stanowi „szerokość" ludzkiego charakteru.

Zgodnie ze wzorami 7.4 i 7.9, tolerancja jest tym większa, im mniejsza jest moc jednostkowa v układu samodzielnego i im mniejsza jest również jakość tworzywa a.

Tolerancja jest zdolnością człowieka do dobrowolnego akceptowania bodźców niezgodnych z jego aktualnym dynamizmem. Dobrowolne akceptowanie bardzo dużej części bodźców docierających do człowieka, świadczy o jego dużej tolerancji. Sytuacje zgodne z zakresem jego tolerancji są chętnie akceptowane.

Podatność układu samodzielnego określa zakres bodźców (poza zakresem tolerancji), w którym można wymusić zachowanie się systemu, pomimo stawianego przez niego oporu. Poza zakresem tolerancji człowiek akceptuje bodźce jedynie pod przymusem.

Podatność jest tym parametrem, który określa zakres skuteczności presji. Im większa jest podatność, tym mniejszy jest opór przeciwko czynnikom zewnętrznym wymuszającym zachowanie się człowieka zbyt różniące się od zachowania odpowiadającego jego dynamizmowi. Podatność człowieka jest określona warunkami otoczenia, w którym egzystuje. Z upływem życia człowieka jego tolerancja rośnie, a podatność maleje.

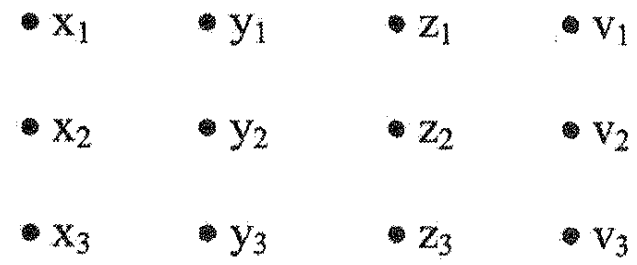
Powyższe rozważania stanowią podstawę do wprowadzania pojęć związanych z jakościową teorią informacji omawiającą proces przekazu informacji rozważany z punktu widzenia sterowania układami oraz punkt wyjścia do szerszych rozważań dotyczących twórczego podejścia do procesu uczenia się opartego na wykorzystaniu w procesie nauczania fizyki wiedzy o niekształtowalnych cechach osobowości człowieka.

7.2. Przekaz informacji – informowanie

Jak już wspomniano powyżej obwód sterowania składa się z układów: sterującego (źródło oddziaływania), sterowanego (odbiornika od-

działywania) i łączy sterowania. W procesie sterowania opartym na zmianach struktury ważne jest istnienie różnic między określonymi stanami fizycznymi układu w łączu sterowania. Można powiedzieć, że oddziaływanie w łączu sterowania składa się z określonej liczby komunikatów. Wyróżnia się poprzeczne i podłużne zbiory komunikatów. Poprzeczny zbiór komunikatów to zbiór komunikatów w danym miejscu łącza sterowania. Podłużny zbiór komunikatów to zbiór komunikatów wynikłych z innych komunikatów lub z których wynikają inne komunikaty, przy czym każdy z komunikatów należy do różnych poprzecznych zbiorów komunikatów.

Oryginały to komunikaty ze zbioru poprzecznego na wyjściu źródła informacji, obrazy to komunikaty ze zbioru poprzecznego na wejściu odbiornika informacji, komunikaty pośrednie to komunikaty ze zbioru poprzecznego znajdującego się między wyjściem źródła a wejściem odbiornika informacji. Schemat omówionych zbiorów komunikatów przedstawia Rys. 7.5.



Rys. 7.5. Schemat zbiorów komunikatów: oryginałów, komunikatów pośrednich i obrazów (x_1 x_2 x_3), (y_1 y_2 y_3), (z_1 z_2 z_3), (v_1 v_2 v_3) to zbiory poprzeczne, zaś (x_1 y_1 z_1 v_1), (x_2 y_2 z_2 v_2), (x_3 y_3 z_3 v_3) to zbiory podłużne.

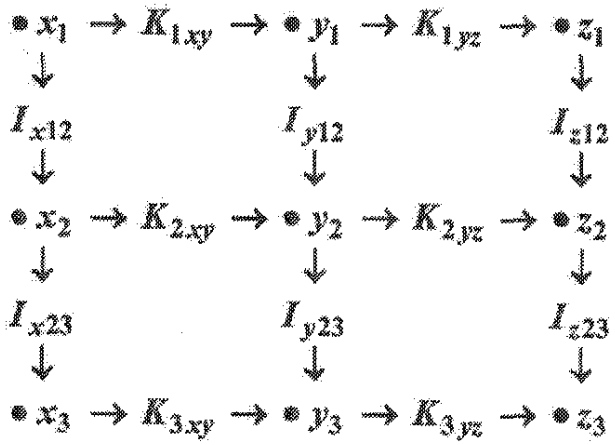
W łączach oryginały są przetwarzane w obrazy za pomocą komunikatów pośrednich, np. tekst telegramu (zbiór oryginałów) jest przetworzony w mechaniczne impulsy aparatu telegraficznego nadawczego (zbiór komunikatów pośrednich), te z kolei w impulsy elektromagnetyczne (zbiór komunikatów pośrednich) przesyłane w linii telegraficznej. Te ostatnie zaś w impulsy mechaniczne aparatu telegraficznego odbiorczego, który je odtworzył jako tekst odebrany (zbiór obrazów).

Asocjacją komunikatów nazywa się nieuporządkowaną parę komunikatów wziętych z dowolnego zbioru w procesie sterowania, procesem zaś

przetwarzania (transformacji) nazywa się proces, w rezultacie którego jeden z komunikatów asocjacji przekształca się w drugi komunikat tejże asocjacji. Komunikat poddany transformacji nazywa się pierwotnym, po transformacji – wtórnym.

Komunikaty w zbiorze podłużnym komunikatów to kody, asocjację kodową tworzą więc dwa kody w takim zbiorze, zaś łącze, w którym są kody, nazywa się łączem kodowym. Komunikaty w poprzecznym zbiorze komunikatów to informacje, asocjację informacyjną tworzą więc dwie informacje w zbiorze poprzecznym komunikatów, zaś łącze, w którym są informacje, nazywamy łączem informacyjnym.

Na Rys. 7.6 przedstawiono transformacje w łączach informacyjnych (np. $I_{x12}\, x_1 = x_2$) i kodowych (np. $K_{1xy}\, x_1 = y_1$). Komunikaty x_1 i x_2 tworzą asocjację informacyjną, komunikaty x_1 i y_1, asocjację kodową. W przypadku transformacji wielostopniowej, tzn. tworzącej kolejne asocjacje, mówi się o transformacji rezultatywnej, np. na Rys. 7.6 w łączu informacyjnym oryginałów $I_{x23}\, I_{x12}\, x_1 = x_3$, a w łączu kodowym $K_{1xz} K_{xy}\, x_1 = z_1$.



Rys. 7.6. Schemat transformacji komunikatów w łączach informacyjnych i kodowych

Jeśli komunikaty, pierwotny i wtórny nie różnią się, mówi się o transformacji trywialnej (kody trywialne). Jeśli komunikaty, pierwotny i wtórny to ten sam komunikat, jest to transformacja trywialna, tożsamościowa, np. przesłany oryginał listu.

Jeśli komunikaty, pierwotny i wtórny są oddzielne, lecz jednakowe, jest to transformacja trywialna, równoznaczna, np. przesłana kopia listu.

Jeśli komunikaty – pierwotny i wtórny różnią się, to mówi się o transformacji nietrywialnej (kody nietrywialne), np. przesłany tekst jest

zaszyfrowany. Transformacja komunikatu wtórnego w pierwotny jest transformacją odwrotną.

Przetwarzanie informacji zawartych w łączu oryginałów w informacje zawarte w łączu obrazów nazywa się informowaniem. Zadaniem układu sterującego jest wywołanie określonych zmian w układzie sterowanym. Zmiany na wejściu układu sterującego muszą być takie same, jak zmiany na wyjściu układu sterowanego, a zmiany na wejściu układu sterowanego muszą być takie same jak na wyjściu układu sterującego. Wynika stąd, że informacja ze zbioru oryginałów musi być taka sama jak informacja ze zbioru obrazów.

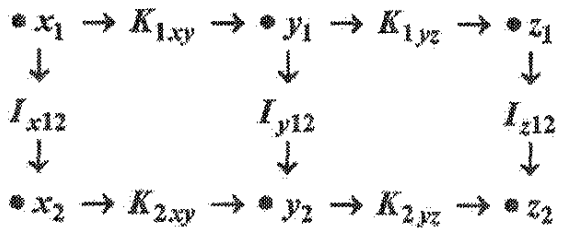
Informowanie, w którym informacja w zbiorze obrazów jest taka sama jak w zbiorze oryginałów, nazywa się transinformowaniem, np. $I_{z12} = I_{x12}$. Jest to jedyne właściwe informowanie. Transinformowanie może być trywialne (oparte na kodach trywialnych) i nietrywialne (oparte na kodach nietrywialnych).

Transinormowanie trywialne może być tożsamościowe i równoznaczne:

— transinformowanie tożsamościowe zachodzi wtedy, gdy ten sam zbiór jest zbiorem oryginałów i obrazów, np. oryginał dokumentu,

— transinformowanie równoznaczne zachodzi wtedy, gdy obrazy są wiernymi kopiami oryginałów, np. kserokopia dokumentu.

Transinformowanie nietrywialne może być analogowe i kompensacyjne. Transinformowanie analogowe zachodzi za pomocą kodów będących jednooperacyjnymi transformowaniami, z tym że rodzaj zarówno operacji kodowych, jak i informacji jest zawarty w zbiorze oryginałów. Na schemacie wygląda to w sposób następujący (Rys. 7.7):



Rys. 7.7. Schemat transinformowania analogowego

Jeśli $K_{1yz} = K_{1xy}$ i $K_{2yz} = K_{2xy}$, to $I_{z12} = I_{x12}$. Przykładem może być związek dla temperatur w skali Celsjusza i Kelvina. Dla dwu temperatur

x_1 i x_2 w skali Celsjusza różniących się o 50° C należy znaleźć różnicę temperatur absolutnych y_1 i y_2. Znaczy to, że asocjacja oryginałów zawierająca informację, że $x_1 + 50 = x_2$, powinna być przetworzona w asocjację obrazów y_1, y_2 za pomocą podstawowego kodu:

$$x_1 + 273 = y_1$$
$$x_2 + 273 = y_2.$$

Ale $x_1 + 50 = y_2$, więc

$$x_1 + 50 + 273 = y_2.$$

Stąd rezultat $y_2 = y_1 + 50$ można otrzymać przez analogię. Efektem tej analogii była używana do niedawna jednostka różnicy temperatur, 1 deg (dziś 1K). Transinformowanie analogowe ma szerokie zastosowanie, np. przesunięcie współrzędnych, powiększanie obrazów, skala na mapie, pomiary przyrządami o skali liniowej. W badaniach naukowych transinformowanie analogowe znajduje zastosowanie w poszukiwaniu modeli. Jeśli dla badanego układu da się stworzyć model, tj. znaleźć analogiczny układ (zbiór obrazów), to z innym rodzajem transinformowania przy użyciu nietrywialnych kodów jest transinformowanie kompensacyjne. W tym przypadku kody rezultatywne są trywialne.

W przypadku omawianego transinformowania jednakowe (trywialne) są informacje w zbiorze oryginałów i obrazów, a w zbiorze komunikatów pośrednich mogą być różne. W praktyce w tym rodzaju transinformowania wykorzystywanie kodów (przekształcanie oryginałów w komunikaty pośrednie) nazywa się kodowaniem, a wykorzystanie kodów odwrotnych (przekształcanie komunikatów pośrednich w obrazy) nazywa się dekodowaniem. Kodowanie i dekodowanie ma najszersze wykorzystanie w przekazie informacji w fizyce i w procesie nauczania i uczenia się fizyki, w przypadku opisu zależności między wielkościami fizycznymi przy użyciu języka matematyki, tj. wzorów i wykresów [21]. Kodowanie i dekodowanie informacji fizycznych przy pomocy wzorów i wykresów zostanie omówione szerzej w dalszej części pracy.

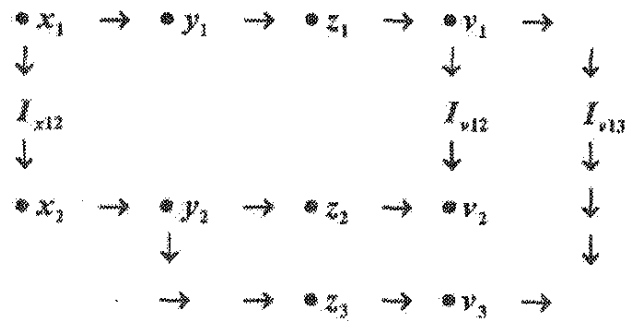
Transinformowanie, w którym obrazy są identyczne z oryginałami, jest jedynym, właściwym rodzajem informowania, lecz z punktu widzenia teorii Shannona jest to model. Założenia tej teorii [61] mówią, że przekaz informacji ma charakter probabilistyczny i prawdopodobieństwo pełnego przekazu informacji rzadko osiąga 100%.

Obok transinformowania występują jeszcze inne, mniej doskonałe formy informowania. Pierwsza z nich to pseudoinformowanie, przy którym niektóre komunikaty okazują się ogólnymi dla niektórych kodowych

łączy. Informacja zawarta w asocjacji obrazów nazywa się w tym przypadku pseudoinformacją.

Istnieją dwa główne typy pseudoinformowania: symulacyjne i dyssymulacyjne.

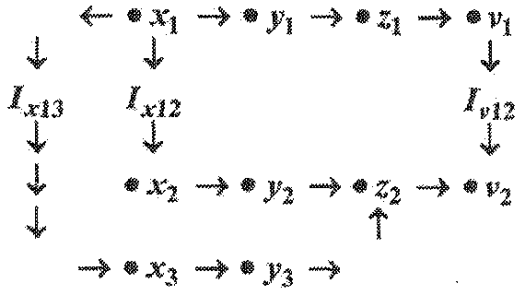
Rys. 7.8 przedstawia schemat pseudoinformowania symulacyjnego.



Rys. 7.8. Schemat pseudoinformowania symulacyjnego

Oryginał x_2 przetwarza się w dwa obrazy: v_1 i v_3, w wyniku czego informacja I_{x12} przetwarza się w dwie pseudoinformacje: I_{v12} i I_{v13}. W tym przypadku jedna przyczyna może wywołać kilka skutków, np. w przypadku pierwiastkowania z jednego oryginału liczby 4 otrzymuje się dwa obrazy: +2 i 2. Typowym przykładem pseudoinformowania symulacyjnego jest używanie homonimów, czyli słów wieloznacznych, np. w fizyce pojęcie atom może mieć wiele znaczeń w zależności od przyjętego modelu. Inny jest atom wg modelu Thomsona, inny wg modelu Bohra, a jeszcze inny wg modelu Schrödingera.

Obok pseudoinformowania symulacyjnego istnieje dyssymulacyjne. Schemat takiego pseudoinformowania przedstawia Rys. 7.9.



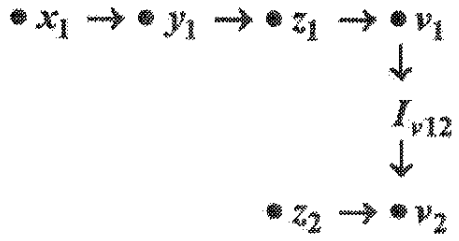
Rys. 7.9. Schemat pseudoinformowania dyssymulacyjnego

Dwa oryginały: x_1 i x_2 dają jeden obraz v_2. Informacje: I_{x12} i I_{x13} dają jedną pseudoinformację I_{v12}. W tym przypadku kilka przyczyn daje jeden

skutek. Przykładem może być podnoszenie do kwadratu. Obraz, czyli liczba 4, może być wynikiem potęgowania dwu oryginałów: +2 i –2. Jeśli lampka sygnalizacyjna nie pali się, nie wiadomo, czy brak zasilania, czy nastąpiło uszkodzenie przyrządu, czy spaliła się żarówka.

Typowym przykładem pseudoinformowania dyssymulacyjnego jest używanie synonimów, czyli różnych słów posiadających to samo znaczenie.

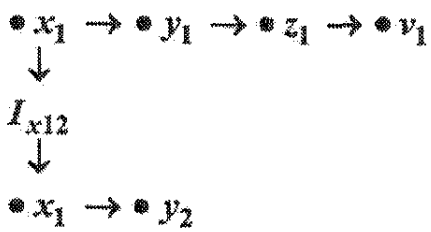
Kolejnym rodzajem niedoskonałego informowania jest dezinformowanie, w którym wszystkie kodowe łącza okazują się rozdzielne, ale nie wszystkie są zapełnione. Podobnie jak w przypadku pseudoinformowania istnieją dwa rodzaje dezinformowania, symulacyjne i dyssymulacyjne. W dezinformowaniu symulacyjnym niektóre kodowe łącza nie zawierają oryginałów, tzn. jest przekazana informacja o fakcie, który nie istnieje. Schemat dezinformowania symulacyjnego przedstawia Rys. 7.10.



Rys. 7.10. Schemat dezinformowania symulacyjnego

Jak widać na Rys. 7.10, brak jest informacji I_{x12}, ponieważ nie istnieje oryginał x_2. Przykładem może być informacja o pociągu, który w danym dniu nie kursuje. Inny przykład to sytuacja, gdy uszkodzony woltomierz pokazuje jakąś wartość, mimo że nie przyłożono napięcia do zacisków obwodu, w którym dokonywany jest pomiar.

W dezinformowaniu dyssymulacyjnym niektóre kodowe łącza nie mają obrazów, tzn. brak jest informacji o fakcie, który istnieje. Schemat takiego informowania przedstawia Rys. 7.11.

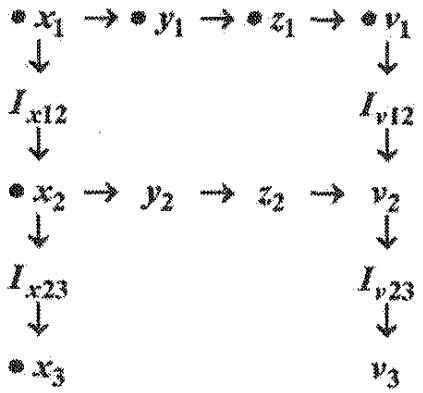


Rys. 7.11. Schemat dezinformowania dyssymulacyjnego

W sytuacji przedstawionej na Rys. 7.11 brak jest informacji I_{v12}, ponieważ nie ma obrazu v_2. Przykładem może być brak informacji o pociągu, który w danym dniu wyjątkowo kursuje. Innym przykładem może być sytuacja w której uszkodzony woltomierz wskazuje 0, mimo że do zacisków obwodu przyłożono napięcie. Takiej ścisłości informacji wymaga od świadka sąd. Dlatego świadek oświadcza: będę mówił prawdę (konieczność transinformowania), całą prawdę (zakaz dezinformowania symulacyjnego) i tylko prawdę (zakaz dezinformowania dyssymulacyjnego).

Informowaniem niejako towarzyszącym poprzednio omówionym rodzajom informowania jest parainformowanie. Jest to informowanie, w którym oprócz komunikatów z łączy kodowych występują komunikaty nie wchodzące w skład tych łączy.

Schemat parainformowania przedstawia Rys. 7.12.



Rys. 7.12. Schemat parainformowania

Parakomunikat to komunikat należący do łącza informacyjnego lecz nie należący do łącza kodowego, np. x_3 – paraoryginał, y_3 – paraobraz. Parainformacja jest zawarta w asocjacji, w której jeden z komunikatów jest parakomunikatem.

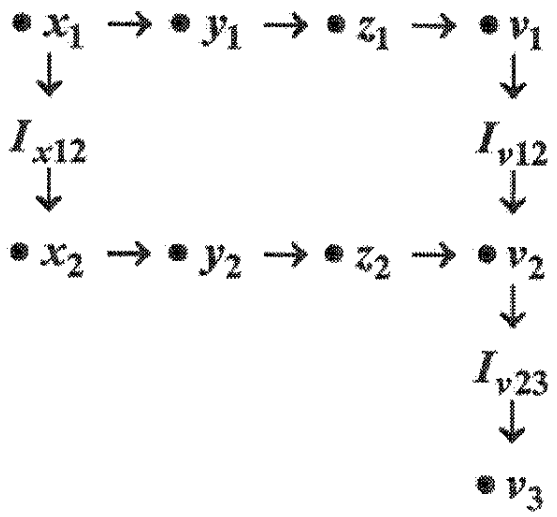
Parainformowanie nie istnieje samodzielnie lecz towarzyszy informowaniu, jest dopełniające. Parainformacja I_{x13} w łączu oryginałów odpowiada parainformacji I_{v13} tylko wtedy, gdy zachodzi przetworzenie informacji I_{x12} w informację I_{v12}. Gdy $I_{v13} = I_{x13}$, parainformowanie staje się paratransinformowaniem.

Jako przykład może posłużyć przesyłanie napięcia ze stacji linią przesyłową na podstację. Gdy pojawi się napięcie na stacji, wskaże to miernik (oryginały) i zapali się lampka kontrolna (paraoryginał), równocześnie na podstacji pojawi się napięcie i wskazanie miernika (obrazy) i zapali się lampka kontrolna (paraobraz).

Paratransinformowanie odgrywa olbrzymią rolę w porozumiewaniu się między ludźmi, szczególnie zaś przy pomocy mimiki i gestów towarzyszących wypowiedziom słownym. Ogólnie rzecz biorąc, paratransinformowanie to sygnały towarzyszące informacjom, posiadające te same znaczenie u nadawcy i odbiorcy.

Jeśli parainformacja w zbiorze obrazów różni się od parainformacji w zbiorze oryginałów, zachodzi paradezinformowanie. Istnieje paradezinformowanie symulacyjne, dyssymulacyjne i konfuzyjne.

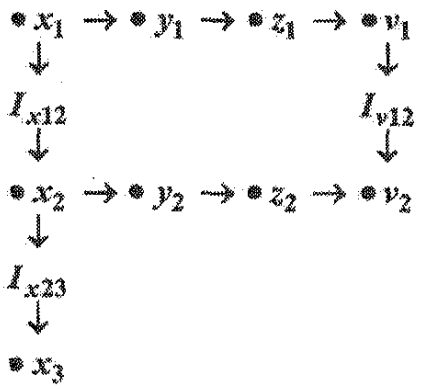
Parainformowanie symulacyjne zachodzi wtedy, gdy parainformacji w zbiorze obrazów nie odpowiada parainformacja w zbiorze oryginałów. Ten przypadek przedstawia Rys. 7.13.



Rys. 7.13. Schemat paradezinformowania symulacyjnego

Przykładem paradezinformowania może być sytuacja, w której odbiorca przypisuje nadawcy zamiary, których on nie ma w oparciu o jakiś gest lub mimikę niezamierzoną przez nadawcę.

Paradezinformowanie dyssymulacyjne zachodzi w przypadku, gdy parainformacji w zbiorze oryginałów nie odpowiada parainformacja w zbiorze obrazów. Tę sytuację przedstawia Rys. 7.14.

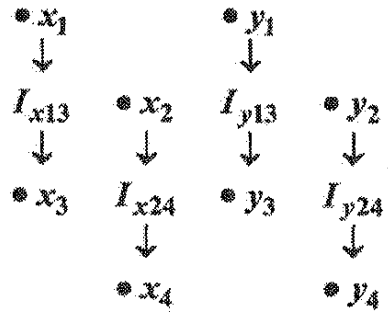


Rys. 7.14. Schemat paradezinformowania dyssymulacyjnego

Przykładem paradezinformowania dyssymulacyjnego może być sytuacja, gdy odbiorca nie rozumie zamiarów nadawcy, ponieważ nie zrozumiał jego gestów czy mimiki towarzyszącej przekazowi słownemu.

Paradezinformowanie konfuzyjne zachodzi wtedy, gdy parainformacja w zbiorze obrazów różni się od parainformacji w zbiorze oryginałów. Jest tak w przypadku, gdy odbiorca informacji nada jej inny sens, niż założył to nadawca, gdyż źle odebrał dodatkowe gesty czy mimikę. Wszystkie rodzaje parainformowania zachodzą w przypadku gry w brydża, gdzie gracze nie mogą pokazać sobie nawzajem kart, lecz stosują różne konwencje podczas licytacji i liczą karty i lewe podczas rozgrywki.

Sprawdzaniu, czy przekazana informacja jest właściwa, tzn. czy informowanie jest transinformowaniem, służy metainformowanie. Metainformowanie dotyczy co najmniej dwu obwodów sterowania, przy czym obwody dodatkowe służą sprawdzeniu, czy informacja w zbiorze obrazów odpowiada informacji w zbiorze oryginałów w obwodzie podstawowym. Schemat metainformowania w przypadku dwu obwodów sterowania (x_1 x_2 y_1y_2) i (x_3 x_4 y_3 y_4) przedstawia Rys. 7.15.



Rys. 7.15. Schemat metainformowania w przypadku dwu obwodów sterowania

Przykładem może być następująca sytuacja. Dla zmierzenia wielkości fizycznej (oryginał x_2), tj. dla porównania wielkości mierzonej z jej jednostką (oryginał x_1), używa się standardowego przyrządu. Wskazania przyrządu (obraz y_2) porównane z jednostką (obraz y_1) dają informację I_{y12}. Nie wynika z tego, że informacja I_{y12} jest taka sama jak informacja I_{x12}, gdyż przyrząd może wskazywać niewłaściwie. Aby sprawdzić, czy przyrząd działa właściwie, należy przeprowadzić dodatkowe pomiary przy użyciu przyrządu kontrolnego. Przedstawia to Rys. 3.13. Przyrząd działa właściwie, jeśli asocjacja obrazów y_1, y_2 jest taka sama jak asocjacja obrazów y_3, y_4 (informacja $I_{y12} = I_{y34}$).

7.3. Ilość informacji a jej treść

W rozdziale 3 omówiono podstawy matematycznej teorii informacji dotyczącej ilości informacji, nie zajmując się jej treścią. W poprzednim rozdziale przedstawiono rozważania dotyczące jakościowej teorii informacji, zajmującej się semantycznym aspektem informacji i jej roli w procesach sterowania. Należałoby zastanowić się, czy istnieją związki między tymi dwoma teoriami, tzn. czy i jakie informacje można mierzyć.

Mazur [42], rozważając rolę informacji w procesie sterowania, wyróżnia:

— informację użyteczną,
— informację nadmiarową,
— informację pasożytniczą.

Informacja użyteczna jest to minimalna możliwa informacja zawarta w danym łączu informacyjnym, niezbędna dla danego procesu sterowania. Wśród informacji użytecznych rozróżnia się informację opisową i identyfikacyjną. Informacja opisowa odnosi się do najmniejszej możliwej ilości informacji, koniecznych dla utworzenia określonego komunikatu w łączu informacyjnym. Bardzo ważna jest informacja wyjściowa, konieczna dla określenia pierwszego komunikatu (wyjściowego) w łączu informacyjnym (przekształcenie, któremu należy poddać dany komunikat nie należący do danego łącza informacyjnego), np. zmianę temperatury w procesie nagrzewania można określić, jeśli znane są kolejne wzrosty temperatury, ale pierwszą wartość temperatury należy zadać w odniesieniu do pewnej wyjściowej temperatury; może to być temperatura otoczenia, 0° C czy 0 K. Dla procesu sterowania wybór komunikatu wyjściowego jest dowolny, łączy się jednak z tym wyborem wybór informa-

cji wyjściowej. Najwygodniejszy jest taki wybór, gdy wyjściowy komunikat pokrywa się z pierwszym komunikatem łącza informacyjnego, wtedy informacja wyjściowa jest trywialna. Należy się zastanowić, od czego zależy ilość opisowych informacji? W tym celu można oznaczyć ilość informacji potrzebnych do określenia jednego komunikatu przez D. Ilość informacji opisujących jeden komunikat w łączu informacyjnym składającym się z n różnych komunikatów, jest równa n. Informacja identyfikacyjna jest najmniejszą ilością informacji, koniecznych dla wyboru jednego, prawidłowego komunikatu z danego łącza informacyjnego. Przy wyborze komunikatu następuje oddzielenie komunikatu trywialnego od nietrywialnych, np. niech informacja składa się z 4 komunikatów x_1, x_2, x_3, x_4, spośród których poprawny jest komunikat x_2. Dla opisania dowolnego komunikatu tego łącza informacyjnego konieczne są 4 informacje:

$$I_{01x} = x_1,$$
$$I_{02x} = x_2,$$
$$I_{03x} = x_3,$$
$$I_{04x} = x_4,$$

gdzie x jest komunikatem wyjściowym. Jeśli za komunikat wyjściowy przyjąć wybrany komunikat ($x = x_2$), jedna z powyższych informacji jest trywialna ($I_{02x} = x_2 = I^0$). Znając więc 4 powyższe informacje, a nie wiedząc, która jest prawidłowa, można zadawać pytania i uzyskiwać odpowiedzi tak lub nie. W opisanym przypadku tylko jedna odpowiedź jest tak. Ilość możliwych opisowych informacji koniecznych dla wydzielenia właściwego komunikatu zależy od kolejności zadawania pytań. Należy ustalić, przy jakich warunkach, ilość opisowych informacji, koniecznych dla identyfikacji właściwego komunikatu (informacja identyfikacyjna) nie zależy od porządku zadawania pytań. Ilość informacji identyfikacyjnej niezbędnej dla wydzielenia jednego komunikatu zostanie oznaczona przez N.

Jeśli łącze zawiera n komunikatów to:

$$N_{min} = 1,$$
$$N_{max} = n - 1.$$

Jednoznaczne określenie wydzielonego komunikatu nastąpi, gdy:

$$N_{min} = N_{max}, \text{ czyli:}$$
$$1 = n - 1, \text{ stąd}$$
$$n = 2.$$

Okazuje się, że ilość informacji opisowych niezbędnych dla identyfikacji wydzielonego komunikatu, jest jednoznacznie określona tylko w łączu informacyjnym zawierającym dwa komunikaty (asocjację komunikatów). W tym przypadku ilość informacji identyfikacyjnej N = 1, a ilość informacji opisowej D = 2, z których jedna jest trywialna, druga nietrywialna. Sytuacja odpowiada jednostce używanej w teorii informacji: 1 bitowi.

Dlatego celowe jest dzielenie zbioru komunikatów na podzbiory tak, aby w efekcie dojść do uzyskania pary komunikatów i wydzielenia z nich jednego, prawidłowego. Przy takim podejściu ilość informacji identyfikującej jeden komunikat w łączu informacyjnym, zawierającym n różnych komunikatów, może być określona jako logarytm dwójkowy tej liczby komunikatów. Można więc zapisać:

$$N = \log_2 n. \tag{7.11}$$

Wzór powyższy jest odpowiada wzorowi Hartleya (3.2). W przypadku łącza informacyjnego składającego się z n komunikatów, mających m klas (n_a, n_b,..., n_m) jednakowych komunikatów, ilość informacji identyfikacyjnej koniecznej dla wybrania jednego, właściwego komunikatu można opisać równaniem Shannona (3.17):

$$N = \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i \,, \tag{7.12}$$

gdzie: $p_a = n_a/n$, $p_b = n_b/n$,...., $p_i = n_i/n$ to prawdopodobieństwa identyfikacji i-tego komunikatu spośród n.

Jak wynika z przedstawionego rozumowania, ilość informacji z punktu widzenia teorii Shannona ma sens tylko w przypadku informacji identyfikacyjnej, tzn. wtedy gdy następuje wybór danego komunikatu spośród innych, np. w przypadku podręcznika, informacje zawarte w treści to informacja opisowa, której nie sposób zmierzyć. Z informacją mierzalną, czyli identyfikacyjną, mamy do czynienia wtedy, gdy czytający będzie wybierał informacje np. do egzaminu.

Mazur [42], oprócz informacji użytecznej, wyróżnia również informację nadmiarową (informacje powtórne, przypadkowe, dopełniające, pseudoinformacja symulacyjna) oraz informację pasożytniczą (szumy informacyjne, dezinformacja symulacyjna, paradezinformacja symulacyjna itp.).

8. Język jako podstawowa forma przekazu informacji

8.1. Modele języka a przekaz informacji

Data narodzin naukowej refleksji nad językiem nie została przez znawców przedmiotu uzgodniona, natomiast wszyscy są zgodni co do tego, że zabrano się do tych badań zbyt późno, a i obecny stan rzeczy trudno uznać za zadowalający [66].

Okazało się, że naturalne języki etniczne nie są najlepiej przystosowane do profesjonalnych celów rozwijającej się nauki. Zaczęto je więc ulepszać lub zastępować nowymi, sztucznie stworzonymi językami. Pierwszymi obiektami wnikliwej analizy i rzetelnego naukowego opisu stały się sztuczne języki matematyki. Narodziła się idea języka sformalizowanego, tj. wyposażonego w ścisły i kompletny opis, ostro wyznaczający zbiór poprawnie zbudowanych zdań określonego języka. Jeszcze w latach pięćdziesiątych badania nad sformalizowanymi językami traktowane były jako wewnętrzna sprawa matematyki i logiki formalnej. Ich wyników nie przenoszono do języka naturalnego. Pełną określoność języków formalnych przeciwstawiano nieokreśloności strukturalnej języków naturalnych, w których ani zbiór wyrażeń prostych, ani zasady budowy wyrażeń złożonych nie są ściśle ustalone. Najpoważniejszą z różnic upatrywano w okazjonalności znaczeniowej wyrażeń, tj. zależności ich rozumienia od kontekstu sytuacyjnego wypowiedzi.

Sytuacja zmieniła się w połowie lat pięćdziesiątych za sprawą Chomsky`ego [12]. Za podstawowy wymóg, któremu lingwistyka winna sprostać, uznał on postulat formalnego charakteru gramatyk, będących opisami poszczególnych gramatyk naturalnych. Rozważania Chomsky`ego stały się punktem wyjścia do powstania matematycznych modeli języka. Jeden z nich przedstawia Tuzow [73]. Model ten sprowadza się w zasadzie do superpozycji słów w celu utworzenia zdań. Każde słowo jest funkcją, która jest określona przez jej argumenty.

Można to przedstawić następująco:

$$Z = \sum S_i , \tag{8.1}$$

$$S_i = f_i\left(\sum x_k\right), \tag{8.2}$$

gdzie: Z – zdanie,

S_i – słowo,

x_k – argument funkcji opisującej słowo, np. dla słowa „kupił":

x_1 – kto? co?,

x_2 – kogo? co?,

x_3 – u kogo?,

x_4 – za ile?,

x_5 – komu?.

W modelu tym w pełni adekwatna gramatyka winna przypisywać każdemu zdaniu nieskończenie konsekwentny, strukturalny opis (superpozycję funkcji), istotę zaś danego języka określa się doborem funkcji f_i. Opisać gramatykę języka, znaczy określić dla danego słowa odpowiadającą mu funkcję. W przypadku słowa „kupić" funkcja ma 5 argumentów.

Matematycznemu modelowi języka przeciwstawiany jest model „czerpaka" [38]. W modelu tym słowo odnosi się do określonego obiektu lub kilku obiektów. Tę właściwość słowa można mniej lub bardziej ściśle zdefiniować, jednak język, który charakteryzowałby się tylko tym odniesieniem, byłby językiem ubogim. Dlatego model ten zakłada, że sens słowa jest czerpany z wnętrza świadomości człowieka. Słowo jest pewnego rodzaju „czerpakiem", takim samym dla wszystkich, lecz treść czerpana za jego pomocą jest dla różnych ludzi odmienna.

Rozwinięciem modelu „czerpaka" jest model probabilistyczny [45]. Podstawową tezą tego modelu jest stwierdzenie, że w dowolnym języku każdy znak jest probabilistycznie związany ze zbiorem znaczeń. Można mówić o apriorycznej funkcji rozkładu znaczeń danego znaku. Odbiorca informacji przekazanych za pomocą języka posiada w swojej świadomości pewne wyobrażenie o możliwych znaczeniach znaku, z których jedne mają większe prawdopodobieństwo pojawienia się, a inne mniejsze.

Aby lepiej zrozumieć probabilistyczny model języka, należy przypomnieć podstawowe wiadomości o prawdopodobieństwie bezwarunkowym i warunkowym [10].

Klasyczna definicja prawdopodobieństwa przedstawia prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia A wzorem:

$$P(A) = \frac{n}{N} \tag{8.3}$$

gdzie: N – liczba wszystkich zdarzeń,
n – liczba zdarzeń, w których zrealizowane zostanie zdarzenie A.

Klasyczna definicja prawdopodobieństwa jest spełniona, gdy:
1 – zdarzenia są jednakowo prawdopodobne,
2 – liczby N i n są skończone,
3 – liczby N i n są znane.

Definicja statystyczna prawdopodobieństwa pomija warunek znajomości miary zbiorów oraz ich skończoności, pozwala natomiast wyznaczyć prawdopodobieństwo na drodze doświadczalnej. Mówi ona, że jeżeli przy wielokrotnym powtarzaniu jakiegoś doświadczenia, w wyniku którego może zajść zdarzenie A, częstość tego zdarzenia zaczyna oscylować wokół pewnej liczby P, to liczbę P można przyjąć jako prawdopodobieństwo zdarzenia A. Liczba P jest granicą, do której dąży częstość zdarzenia A, gdy liczba doświadczeń zdąża do nieskończoności.

Omawiane powyżej prawdopodobieństwa są prawdopodobieństwami bezwarunkowymi. Prawdopodobieństwo zajścia dowolnego zdarzenia nie jest niczym uwarunkowane. Istnieją jednak przypadki, kiedy rozważane są dwa zdarzenia losowe A i B ($P(B) > 0$) i zajście zdarzenia A jest uwarunkowane zajściem zdarzenia B. Mówi się wtedy o prawdopodobieństwie warunkowym zdarzenia A, jeśli zaszło zdarzenie B i oznacza się je symbolem $P(A|B)$.

Niech zajdą np. następujące zdarzenia:
A – wyrzucenie kostką cyfry parzystej ze zbioru zdarzeń elementarnych $\{2, 4, 6\}$,
B – wyrzucenie kostką cyfry większej od 3 ze zbioru zdarzeń elementarnych $\{4, 5, 6\}$.

Prawdopodobieństwa zajścia obu zdarzeń są jednakowe: $P(A) = P(B) = 1/2$.

Jeśli zaszło zdarzenie B (4, 5 lub 6), to wtedy:
— jeśli zdarzenie B wyniosło 4 – zaszło jednocześnie zdarzenie A,
— jeśli zdarzenie B wyniosło 6 – zaszło jednocześnie zdarzenie A,
— jeśli zdarzenie B wyniosło 5 – nie zaszło zdarzenie A.

Z warunku, że zaszło zdarzenie B, wynika więc, że prawdopodobieństwo zdarzenia A wynosi 2/3. Jest to prawdopodobieństwo warunkowe $P(A|B) = 2/3$.

Wyrzucenie liczby oczek równej 4 lub 6 to iloczyn zdarzeń A i B. Zatem prawdopodobieństwo iloczynu $P(A \cap B) = 2/6 = 1/3$.

Inaczej, można powiedzieć, że, aby zdarzenia A i B zaszły jednocześnie (prawdopodobieństwo iloczynu zdarzeń oznaczamy $P(A \cap B)$), musi zajść zdarzenie B (o prawdopodobieństwie bezwarunkowym P(B)), a skoro zaszło zdarzenie B to musi zajść zdarzenie A (o prawdopodobieństwie warunkowym P(A|B)). Stąd:

$$P(A \cap B) = P(B) \cdot P(A|B) = 1/2 \cdot 2/3 = 1/3.$$

Po przekształceniu, gdy $P(B) > 0$, można uzyskać wyrażenie na prawdopodobieństwo warunkowe P(A|B) zdarzenia A, jeśli zaszło zdarzenie B:

$$P(A \mid B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} . \tag{8.4}$$

Prawdopodobieństwo warunkowe (zwane również *a posteriori*) P(A|B), jest na ogół różne od prawdopodobieństwa bezwarunkowego (zwanego również *a priori*) P(A) zdarzenia A. W pewnych przypadkach jednak informacja o zajściu zdarzenia B nie ma wpływu na prawdopodobieństwo zdarzenia A, tj.

$$P(A|B) = P(A), \tag{8.5}$$

a zdarzenia A i B są nazywane niezależnymi. Ze wzoru (7.4) można otrzymać wówczas wyrażenie:

$$P(A \cap B) = P(A)\, P(B). \tag{8.6}$$

Prawdopodobieństwo warunkowe P(A|B) spełnia wszystkie aksjomaty prawdopodobieństwa, tj.:

1 – jest określone w przedziale $0 \le P(A|B) \le 1$,

2 – jeżeli zdarzenia $A_1, A_2, A_3, \ldots, A_n$ tworzą układ wzajemnie wykluczających się zdarzeń, to dla każdego zdarzenia B można zapisać wyrażenie:

$$P(B) = P(B|A_1)\, P(A_1) + P(B|A_2)\, P(A_2) + \\ + P(B|A_3)\, P(A_3) \ldots + P(B|A_n)\, P(A_n), \tag{8.7}$$

gdzie: P(B) jest prawdopodobieństwem zupełnym lub całkowitym.

Zbiór zdarzeń $A_1, A_2, A_3, ..., A_n$ nosi nazwę układu zupełnego zdarzeń, jeśli zdarzenia te są parami rozłączne, a ich suma jest zdarzeniem pewnym, tzn.:

$$A_i \cap A_j = \varnothing \tag{8.8}$$

dla $i \neq j$, gdzie $i, j = 1, 2, ..., n$, oraz:

$$A_1 \cup A_2 \cup A_3 ... \cup A_n = \Omega . \tag{8.9}$$

Wzór (8.7) na prawdopodobieństwo całkowite jest używany często w sytuacjach praktycznych, gdyż niekiedy prawdopodobieństwa warunkowe $P(B|A_i)$ są łatwe do obliczenia lub dane bezpośrednio. Często zdarzenia $A_1, A_2, A_3, ..., A_n$ nazywa się hipotezami (przyczynami), a prawdopodobieństwa $P(A_i)$ prawdopodobieństwami *a priori*. Zdarzenie B nazywa się skutkiem.

Jeżeli wiadomo, że zaszło zdarzenie B, to prawdopodobieństwo *a posteriori* hipotezy A_i ($i = 1, 2, 3, ..., n$) wyraża się następującym wzorem:

$$P(A_i \mid B) = \frac{P(B \mid A_i)P(A_i)}{\sum_{i=1}^{n} P(B \mid A_i)P(A_i)} . \tag{8.10}$$

Wzór ten nazywa się wzorem Bayesa, określając zależność znaną w literaturze jako twierdzenie Bayesa [9]. Wzór ten określa prawdopodobieństwo $P(A_i|B)$ *a posteriori* przyczyn przy pomocy prawdopodobieństw *a priori* przyczyn $P(A_i)$ oraz prawdopodobieństw warunkowych skutku przy danej przyczynie $P(B|A_i)$.

Zależność (8.11) reprezentuje „uczenie się przez doświadczenie": aprioryczne prawdopodobieństwo $P(A_i)$ zmienia się na aposterioryczne $P(A_i|B)$ w wyniku otrzymania kolejnego świadectwa B. Ten sposób myślenia odrzuca koncepcję, że prawdopodobieństwo oznacza tylko „częstość występowania zdarzeń w niezależnych eksperymentach", natomiast opiera się na idei, że prawdopodobieństwo jest w istocie pewnym stanem wiedzy [14].

Jeżeli rozkład prawdopodobieństw A_i oraz prawdopodobieństwo B są znane, to wtedy

$$\sum_{i=1}^{n} P(B \mid A_i) \cdot P(A_i) = 1 ,$$

a wzór Bayesa przyjmuje postać:

$$P(A_i|B) = k\, P(B|A_i)\, P(A_i), \tag{8.11}$$

gdzie: k – stała wynikająca z warunku normalizacji.

Matematyczny opis aposteriorycznego prawdopodobieństwa warunkowego, że odebrana informacja przekazana za pośrednictwem języka jest tą samą informacją, którą przekazało źródło, daje twierdzenie Bayesa [10] opisane wzorem (8.11).

Neobayesowskie podejście do uzasadnienia reguł wnioskowania we współczesnej statystyce matematycznej polega na tym, że podejmując jakąkolwiek decyzję, po takim lub innym eksperymencie, wykorzystywane są zawsze zarówno nowo uzyskana wiedza, jak i uprzednie wiadomości o badanym zjawisku.

Przed przeprowadzeniem doświadczenia badacz zawsze dysponuje jakąś wiedzą, którą można wyrazić w języku probabilistycznym. Można to nazwać „prawdopodobieństwem apriorycznym" (subiektywnym, personalnym). Twierdzenie Bayesa umożliwia sformalizowanie procesu podejmowania decyzji poprzez modelowanie takiej procedury, w której wykorzystanie zarówno informacji apriorycznej, jak i informacji uzyskanej z doświadczenia sprawia, że decyzja jest formułowana w kategoriach probabilistycznych, w formie „prawdopodobieństwa aposteriorycznego".

Przykładem, który zilustruje powyższe wywody, może być przekaz informacji, której źródłem jest zapisany tekst. Przekazywana wiadomość jest przedstawiona w postaci słów, które tworzą zdania. Można tu zastosować wzór Bayesa (8.11):

$$P(A_i|B) = K\, P(B|A_i)\, P(A_i),$$

gdzie: K – współczynnik,

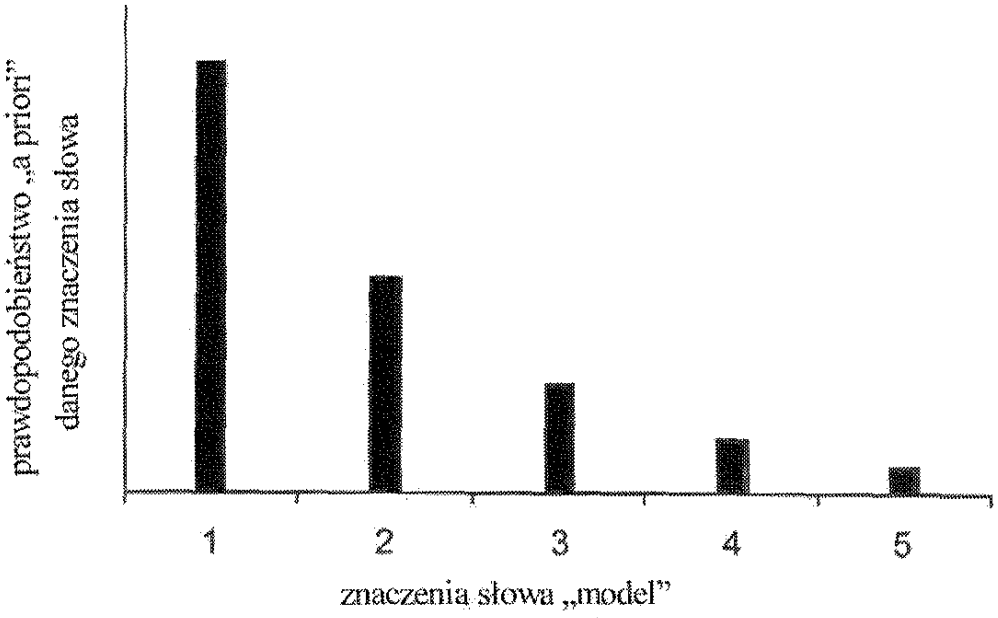
$P(A_i|B)$ – prawdopodobieństwo warunkowe odebrania właściwej informacji A_i *a posteriori*, jeśli została ona przedstawiona w tekście w postaci sygnału B, tj. odpowiednio dobranego słowa, wzoru, wykresu itp.,

$P(B|A_i)$ – prawdopodobieństwo warunkowe prawidłowego doboru sygnału B do informacji A_i,

$P(A_i)$ – prawdopodobieństwo bezwarunkowe wiedzy *a priori* o odebranej informacji A_i.

Po odczytaniu znaku, np. słowa, będzie się z nim wiązało nie jedno, ale kilka znaczeń. Będą one uporządkowane w pewien probabilistyczny

sposób. Prawdopodobieństwo *a priori* odczytanego znaku jest różne dla różnych czytelników. Można więc mówić o rozkładzie prawdopodobieństw. Dla wybranej grupy rozkład taki wygląda najczęściej tak, jak przedstawia Rys. 8.1. Rysunek przedstawia typowy rozkład prawdopodobieństw znaczeń słowa „model" dla wybranej grupy osób.



Rys. 8.1. Rozkład prawdopodobieństw znaczeń *a priori* słowa „model"
znaczenie 1 – model silnika spalinowego lub parowego,
znaczenie 2 – model atomu Bohra,
znaczenie 3 – model samolotu,
znaczenie 4 – model – mężczyzna prezentujący modne okrycia,
znaczenie 5 – model matematyczny.

Aprioryczne prawdopodobieństwo tworzy wejście systemu percepcji czytanego tekstu. Proces czytania jest rozumiany tutaj bardzo szeroko jako pewna procedura percepcji tekstów złożonych z takich czy innych znaków, która umożliwia skonstruowanie funkcji rozkładu prawdopodobieństwa warunkowego $P(B|A_i)$.

Funkcja ta określana jest przez trzy czynniki:

— sposób połączenia odczytywanego znaku z innymi znakami danego wyrażenia,

— ogólne, emocjonalno-intelektualne nastawienie odbiorcy,
— skoncentrowanie się w procesie czytania.

Na wyjściu systemu pojawia się aposterioryczna funkcja rozkładu $P(A_i|B)$. Po odczytaniu znaku będzie się z nim wiązało najczęściej nie jedno, lecz kilka znaczeń o charakterystycznym rozkładzie prawdopodobieństwa.

W szczególnym przypadku absolutnej niewiedzy (lub obojętności) prawdopodobieństwo *a priori* różnych znaczeń będzie idealnie równe. Wtedy:

$$P(A_i|B) = P(B|A_i), \tag{8.12}$$

ale jest to bardzo rzadki przypadek. Bardzo często „nadajnik" i „odbiornik" informacji nadają znakowi zupełnie odmienne znaczenia. Ścisłość terminu wg modelu Bayesa jest to w pełni określone pojęcie, jako że jest zdefiniowane po prostu za pomocą stopnia rozmycia apriorycznej funkcji rozkładu $P(A_i)$ związanej z daną informacją A_i.

Model Bayesa umożliwia rozumienie istoty żartu. Żarty oparte są na wykorzystaniu końcowego fragmentu apriorycznej funkcji rozkładu. Aby zrozumieć żart, trzeba dostrzegać znaczenia kojarzące się z danym słowem lub układem słów z bardzo małym prawdopodobieństwem.

Bardzo ważne z punktu widzenia odbioru wiadomości z zakresu jakiejś dziedziny nauki jest ujednolicenie terminologii. Przykładem może być polska terminologia fizyczna. I. Wilk z Politechniki Wrocławskiej pisał [77]: „Ocena obecnego stanu polskiej terminologii fizycznej jest sprawą trudną. Składa się na to wiele powodów, wśród których niepoślednią rolę odgrywa pewien margines nieokreśloności, dość charakterystyczny dla polskiej terminologii współczesnej. Nieokreśloność tę wiąże się z faktem, że zarówno pisany, jak i (zwłaszcza) mówiony język nowoczesnej fizyki w Polsce pozostaje pod znacznym, a w pewnych dziedzinach przemożnym, wpływem języków obcych (głównie rosyjskiego i angielskiego). A że proces przyswajania terminologii zapożyczonej odbywa się *in statu nascendi,* to trudno powiedzieć, które z zapożyczeń można już uznać za terminy polskie, a które jeszcze nie, czy też w ogóle nie".

Mimo że od tamtego czasu upłynęło przeszło dwadzieścia lat, problemy pozostały te same. Próbuje je rozwiązywać Komisja Nazewnictwa Fizycznego Polskiego Towarzystwa Fizycznego, która widzi dla siebie następujące zadania [http://ptf.fuw.edu.pl/Jan.html]:

1. proponowanie terminologii dla fachowej literatury fizycznej od podręczników szkolnych po akademickie,

2. zabieranie zdania w sprawie terminologii fizycznej dla oficjalnych dokumentów państwowych. Terminy ustalane w tym punkcie nie powinny różnić się od terminów z punktu 1.

Komisja zaproponowała w Internecie [TTL:ptf.fuw.edu.pl/nazew.html] angielsko-polski słownik nowych polskich terminów fizycznych. Zajęła również stanowisko w sprawie terminów, które już zostały przetłumaczone wcześniej bez uwzględnienia stanowiska Komisji. Są to najcięższe kwarki: top i bottom. Przekład, który ukazał się w „Postępach Fizyki" **45**, 595–598 (1994), mówił o kwarkach; szczytowym i dennym. Komisja uznała je za nieudane i zaproponowała nazwy: kwark wysoki i kwark niski (oprócz stosowanych równolegle określeń: kwark piękny i kwark prawdziwy).

Drugim przykładem jest zajęcie stanowiska w sprawie rozróżniania przez niektóre podręczniki szkolne pojęć: *prędkość* jako określenie wielkości wektorowej i *szybkość* jako wartości prędkości. Stanowisko to brzmi [http://ptf.fuw.edu.plbjan.html]: „Wprowadzenie rozróżniania «prędkość/szybkość» w opisie ruchu w niektórych podręcznikach szkolnych, uzasadniane względami dydaktycznymi, oznacza zatem powstanie sytuacji, w której terminologia używana w szkole rozmija się z językiem potocznym i terminologią fizyczną przyjętą w podręcznikach akademickich oraz leksykonach naukowych. W związku z tym Komisja apeluje do nauczycieli, którzy stosują to rozróżnienie na lekcjach, aby wyraźnie informowali uczniów o tym, że nie jest ono powszechnie przyjęte".

Dbałość o jednolite nazewnictwo jest zrozumiała, gdyż gwarantuje ono spójną wiedzę aprioryczną przy określaniu najróżniejszych pojęć na różnych etapach kształcenia oraz w różnych środowiskach naukowych i technicznych.

Neobayesowskie podejście do uzasadnienia reguł wnioskowania we współczesnej statystyce matematycznej polega na tym, że podejmując jakąkolwiek decyzję, po takim lub innym eksperymencie, wykorzystywane są zawsze zarówno nowo uzyskana wiedza, jak i uprzednie wiadomości o badanym zjawisku.

Przed przeprowadzeniem doświadczenia badacz zawsze dysponuje jakąś wiedzą, którą można wyrazić w języku probabilistycznym. Można to nazwać „prawdopodobieństwem apriorycznym" (subiektywnym, personalnym). Twierdzenie Bayesa umożliwia sformalizowanie procesu podejmowania decyzji poprzez modelowanie takiej procedury, w której wykorzystanie zarówno informacji apriorycznej, jak i informacji uzyskanej

z doświadczenia sprawia, że decyzja jest formułowana w kategoriach probabilistycznych, w formie „prawdopodobieństwa aposteriorycznego".

Twierdzenie to można przedstawić w formie uwzględniającej aprioryczną informację I [17]:

$$P(A_i|B,I) = K\, P(B|A_i)\, P(A_i|I). \tag{8.13}$$

Wykorzystując tę postać, dokonano przełomu w rozumowaniu. Pierwszy dokonał tego R.T. Cox w 1946 [16], stawiając pytanie, czy można skonstruować spójny zespół reguł, które pozwalałyby na posługiwanie się wnioskowaniem indukcyjnym, a nie dedukcyjnym. Aby to zrobić, należy kwantyfikować w jakiś sposób stopnie wiarygodności, zgodne z osobistymi wyobrażeniami człowieka i jego wiedzą, stopnie te nazwać właśnie „prawdopodobieństwami" i następnie podać podstawowe reguły operowania nimi.

Cox podał dwie reguły, gwarantujące logiczne, spójne rozumowanie:

— jeśli człowiek określi jego stopień wiary w zdarzenie A, a następnie w zdarzenie B pod warunkiem, że zaszło zdarzenie A, zdefiniuje w pośredni sposób, na ile wierzy, iż oba zdarzenia A i B mogą zachodzić jednocześnie (oba zdarzenia są „prawdziwe");

— jeśli człowiek określi, jak bardzo wierzy, iż A jest prawdziwe, wówczas określi również, jak bardzo wierzy w to, że A jest fałszywe.

Jeśli oznaczyć różne propozycje (zdarzenia) przez A, B, ... oraz:

— AB ≡ „zarówno A, jak i B prawdziwe",

— $\bar{A}$ ≡ „A jest fałszywe",

— P(AB) ≡ prawdopodobieństwo, że A jest prawdziwe pod warunkiem, że B jest prawdziwe,

to spójne reguły Coxa sprowadzają się do stwierdzenia, iż przyjęte wstępnie liczby opisujące stopień wiary człowieka w wydarzenia transformują się w inne, dodatnie i rzeczywiste liczby, które podlegają znanym regułom na iloczyn i sumę prawdopodobieństw:

$$p(AB|I) = p(A||BI)\, p(B|I), \tag{8.14}$$

$$p(A|I) + p(\bar{A}|I) = 1, \tag{8.15}$$

gdzie I oznacza pewną informację wstępną. Na przykład, hipoteza „będzie słoneczna pogoda" opiera się na informacji wstępnej, że rano była rosa.

Twierdzenie Bayesa, które można zapisać w postaci:

$$p(A \mid B, I) = \frac{P(B \mid A, I) P(A \mid I)}{P(B \mid I)}, \tag{8.16}$$

stanowi jeden z wniosków wynikających z powyższych reguł rachunku prawdopodobieństwa.

Dobrzyński [17] podaje przykład wykorzystania twierdzenia Bayesa do odpowiedzi na pytanie: czy moneta, którą stosujemy do gry w „orła" i „reszkę", jest dobra w tym sensie, że prawdopodobieństwo wyrzucenia „orła" jest takie samo jak wyrzucenie „reszki"? Niech więc prawdopodobieństwo wyrzucenia „orła" będzie H, przy czym H = 0 oznacza, iż moneta ma z obu stron „reszkę", a H = 1, iż ma z obu stron „orła". Wszystkie wartości pośrednie opisują pewne stopnie sfałszowania monety, chyba, że H = 1/2. Aby odpowiedzieć na postawione pytanie, należy określić wiarę, że dla danego zestawu danych wartości H znajduje się w pewnym przedziale pomiędzy h i $h + dh$, gdzie h może przyjmować wartości pomiędzy 0 i 1. Korzystając z rozkładu prawdopodobieństwa dla H, można zapisać:

$$\mathrm{P}(h \le \mathrm{H} \le \mathrm{h} + dh \mid \{\text{dane}\}) = \mathrm{P}(\mathrm{H} \mid \{\text{dane}\})\, dh. \tag{8.17}$$

Tak więc P(H|{dane}) aposteriorycznyrozkład prawdopodobieństwa (ściślej – gęstości prawdopodobieństwa) ma opisywać stan naszej wiedzy o fałszywości monety, wynikły z otrzymanych danych doświadczalnych. Wartość h, dla której prawdopodobieństwo to osiąga maksimum, jest najlepszą estymatą wielkości H, a szerokość rozkładu wokół maksimum opisuje stopień pewności tej estymaty. Gdy rozkład jest wąski, oznacza to dużą pewność co do prawidłowości wstępnej oceny. Gdy jest szeroki, pewności tej nie ma. Jeżeli I oznacza wszelkie informacje, jakie posiada człowiek wcześniej, lub poczynione założenia, to twierdzenie Bayesa dla rozważanego przykładu wygląda następująco:

$$\mathrm{P}(\mathrm{H} \mid \{\text{dane}, I\}) \propto \mathrm{P}(\{\text{dane}\} \mid \mathrm{H}, I) \mid \mathrm{P}(\mathrm{H} \mid I). \tag{8.18}$$

Przedstawiony sposób postępowania jest naturalnym procesem uczenia się przez doświadczenie. Aprioryczny rozkład prawdopodobieństwa opisuje stan naszej wiedzy przed eksperymentem, naszą wiedzę lub niewiedzę o „hipotezie" hipotezie („modelu"). Ten stan wiedzy ulega modyfikacji przez funkcję wiarygodności P({dane}|„hipoteza",I), która opisuje stan wiedzy osobniczej o „hipotezie" po otrzymaniu nowych danych.

Końcowy wniosek zaś, dotyczący interesującej wielkości, zależy nie tylko od wyniku tego eksperymentu, ale też i od tego, co człowiek wiedział albo założył *a priori*.

Jeśli dane są dokładne i czułe na mierzoną wielkość, rozkład opisany funkcją wiarygodności będzie ostry i będzie dominował w rozkładzie aposteriorycznym. Bez względu na początkowy stan wiedzy będzie on dawał nam ten sam wniosek. Jeżeli jednak dane nie są ścisłe, wówczas rozkład aposteriorycznym będzie w zasadniczym stopniu zależał od początkowej wiedzy człowieka, a wniosek końcowy nie będzie wiele odbiegał od tego, co wiedział przed eksperymentem.

Twierdzenie Bayesa jest więc podstawowe w teorii logicznego i spójnego wnioskowania indukcyjnego. Różne znane sprawdziany statystyczne wynikają z tego twierdzenia w niemal naturalny sposób w zależności od przyjętych założeń dotyczących:

— informacji wstępnej *I*, która może nawet określić, co rozumiane jest przez „hipotezę",
— apriorycznego rozkładu prawdopodobieństwa P({hipoteza}|*I*),
— natury doświadczenia opisanej przez funkcję wiarygodności P({dane}|„hipoteza",*I*).

8.2. Struktury i cechy języka nauk przyrodniczych

Oprócz przedstawionych w poprzednim rozdziale modeli języka istnieją jeszcze inne poglądy dotyczące struktury języka, biorące pod uwagę ścisłość znaczenia słów używanych przez dany język. W myśli europejskiej można wyróżnić dwie podstawowe tendencje w rozwoju poglądów na istotę języka. Według tych tendencji język można traktować jako strukturę twardą lub miękką [7].

Tendencja traktowania języka jako struktury twardej wywodzi się z tradycji starogreckiej, gdzie słowo znaczyło tyle, co nazwa rzeczy. Znak i znaczenia są w tym podejściu powiązane w naturalny i jedynie możliwy sposób. W czasach nowożytnych, w związku z burzliwym rozwojem nauk ścisłych, wyobrażenie o twardej strukturze języka zyskało nieco inną interpretację. Pojawił się pogląd, że twardość języka jest cechą języka idealnego, a takim właśnie powinien być język nauki. Pogląd ten odzwierciedlił się w dążeniu do formalizacji nauki.

Stanowisko to reprezentował tzw. pozytywizm logiczny (neopozytywizm), który powstał w latach dwudziestych i przetrwał do lat sześćdziesiątych. Ten kierunek kładł nacisk na uściślenie pojęć naukowych i pre-

cyzję rozumowania oraz usiłował sprowadzić twierdzenia naukowe do tzw. zdań protokolarnych, to jest najprostszych zdań sprawdzających, opartych na elementarnych danych doświadczalnych. Podstawową ideą było stworzenie języka uniwersalnego, składającego się z terminów o ścisłym znaczeniu.

Terminy naukowe dzielono na teoretyczne i nieteoretyczne. Terminy teoretyczne to te, które nie są definiowane bezpośrednio, a ich sens jest opisywany przez teorię, która wiąże je z dobrze określonymi terminami nieteoretycznymi, powstałymi w wyniku doświadczeń.

Praktyka wykazała jednak, że niemożliwe jest zbudowanie takiej logicznie ściśle określonej hierarchii terminów naukowych. Nie można na przykład traktować terminu „temperatura" jako terminu nieteoretycznego, doświadczalnego, skoro doświadczalnie obserwuje się tylko wysokość słupka rtęci w termometrze, a zasada pomiaru oparta jest na teorii rozszerzalności cieplnej cieczy, czyli terminie teoretycznym.

Drugim kierunkiem rozwoju myśli lingwistycznej, obecnym w całej historii nowożytnej, jest pogląd, wedle którego miękka struktura języka nie stanowi jego wady, lecz przeciwnie, jest wyrazem jego wielostronności i ukrytych możliwości rozwojowych. Kształtowało się stopniowo przekonanie, że sensu wypowiedzi należy poszukiwać nie w słowach, nazwach, lecz w zdaniach stwarzających odpowiedni kontekst dla słów i zawierających określoną myśl. Wg Huttena [27] byłoby wskazane mówić o sensowności wyrażeń niż o ich sensie. Badacz, który operowałby jedynie językiem doskonale twardym, nie byłby w stanie sformułować swoich pomysłów, koncepcji, wątpliwości.

Jeśli rozróżnić naukę jako proces badawczy i naukę jako wynik tego procesu (to jest wiedzę naukową), to można powiedzieć, że językiem o twardej strukturze może być tylko język wiedzy naukowej, język uporządkowanych wyników myślenia i badań, będący sposobem zapisu i strukturalizacji istniejącej już wiedzy. Język nauki, traktowanej jako proces badawczy, to jest język, jakim posługują się naukowcy w swej codziennej pracy, w którym formułują koncepcje, uzasadniają je, dyskutują, wyrażają wątpliwości i zastrzeżenia, jest językiem miękkim, żywym, bogatym, mającym ścisłe związki z procesem myślenia.

Wg Białkowskiego każdy język, również język, jakim posługują się naukowcy, musi spełniać trzy podstawowe funkcje [3]:

— opisową – służy do nazywania rzeczy, pojęć i opisu przebiegu zjawisk,

— komunikatywną – służy do przekazywania informacji,
— ekspresywną – w języku wyraża się osobowość, stany psychiczne tego, kto formułuje wypowiedzi.

Rozwój nauki spowodował pojawienie się w języku nauki coraz większej symbolizacji języka, związanej z użyciem matematyki. W związku z tym jest potrzebny taki model języka, który odzwierciedlałby zarówno jej logiczną strukturę, jak i tę złożoność, której zewnętrznym wyrazem jest jednoznaczność między znakiem i jego desygnatem. Język taki jest co najmniej dwustopniowy. Na jednym ze stopni buduje się logiczne wypowiedzi dotyczące abstrakcyjnych modeli, na drugim natomiast dokonuje się interpretacji tych symboli [22].

Ta dwustopniowa struktura przejawia się przede wszystkim w opisie zjawisk i zależności między wielkościami opisującymi te zjawiska, przy pomocy języka matematyki, tj. przy pomocy wzorów i wykresów. Wprowadza się właściwie dwa języki, z których jeden to język abstrakcyjnej symboliki matematycznej, a drugi to język eksperymentu, zbliżony do języka potocznego, lecz operujący typowym dla danej nauki przyrodniczej słownictwem. Pierwszy może być opisany matematycznym, a drugi probabilistycznym modelem języka.

Hutten [28] twierdzi, że „... .nauka stanowi abstrakcyjną reprezentację rzeczywistości. Rozwój nauki wytwarza coraz bardziej abstrakcyjne modele". Twierdzenie to można wzmocnić, wychodząc z punktu widzenia probabilistycznego modelu języka. Abstrakcja matematycznego języka nauk przyrodniczych wynika stąd, że w wyrażeniach matematycznych w charakterze znaków używa się nie słów języka eksperymentu, lecz abstrakcyjnych symboli.

Logiczne operacje zapisywane w języku matematyki dotyczą nie słów, lecz abstrakcyjnych symboli. Symbole te wprawdzie reprezentują słowa, ale słowa najczęściej posiadają dość bogate rozkłady znaczeń. Rzeczywisty sens matematycznego zapisu ujawnia się dopiero w trakcie ich interpretacji w języku eksperymentu.

Teorie naukowe okazują się w efekcie, jeśli idzie o szatę słowną, teoriami rozmytymi. Tworzą się one w trakcie interpretacji logicznych konstrukcji w niezwykłym dla niej języku eksperymentu. Należy sobie również zdać sprawę z faktu, że język eksperymentu, aby wyrazić sens naukowy opisywanego zjawiska, składa się według Stonerta [67] z języka przedmiotowego i metajęzyka. Język przedmiotowy to język, w którym opisywane są przedmioty badane przez jakąś naukę, w którym terminy

odnoszą się do tych przedmiotów, np. siła, masa, przyśpieszenie, ciało itp., zaś metajęzyk to język, który określa stosunki między wyrażeniami języka przedmiotowego, np. zdanie: „Przyśpieszenie ciała o stałej masie jest wprost proporcjonalne do działającej na to ciało niezrównoważonej siły" jest przedstawione przez wyrażenia języka przedmiotowego (podkreślone) i wyrażenia metajęzyka (nie podkreślone).

Gdy podczas przekazu informacji z dowolnego źródła, do odbiorcy dotrze sygnał określający jakieś pojęcie w języku przedmiotowym, to sam w sobie nic nie znaczy albo znaczy niewiele. Odbiorca musi go określić, podając interpretację w metajęzyku.

O dwujęzycznym charakterze języka świadczy jego kodowy charakter. Kodowanie, zgodnie z jakościową teorią informacji, polega na przekształceniu oryginałów w komunikaty pośrednie, a dekodowanie na przekształceniu komunikatów pośrednich w obrazy, tak aby obrazy i oryginały były trywialne.

W fizyce na przykład, kodowanie polega na przejściu od języka eksperymentu fizycznego do matematycznego języka wzorów i wykresów, zapisanych przy użyciu symboliki, charakterystycznej dla fizyki, dekodowanie zaś na interpretacji matematycznego zapisu przy pomocy języka eksperymentu fizycznego.

Omówiono już struktury i charakter języka nauk przyrodniczych, nazywanego często po prostu językiem naukowym. Należy wspomnieć również o charakterystycznych cechach tego języka [45]. Cechy te mogą być przedstawione na przykładzie języka fizyki.

Pierwszą z cech charakterystycznych dla języka nauki jest jego zmienność. W języku fizyki tak jak i w innych językach nauk przyrodniczych istnieje charakterystyczna dla tego języka terminologia. Terminy są bardzo ściśle powiązane z teoretycznymi koncepcjami fizyki, choć nieraz wydaje się, że są po prostu nazwami pewnych przedmiotów, rzeczy i zjawisk. Na przykład zjawisko Comptona wydaje się po prostu nazwą pewnego procesu związanego z przejściem wysoko energetycznego promieniowania gamma przez materię. W rzeczywistości sens tej nazwy można pojąć nie tyle ze wskazania tego, co oznacza, i nie w oparciu o pewną definicję semantyczną, ile ze zrozumienia teorii tego zjawiska. Dotyczy to również takich terminów jak: atom, elektron, prąd elektryczny i inne.

Znaczenie słów w nauce rozwija się i zmienia w miarę rozwoju nowych koncepcji naukowych. Bardzo różne jest na przykład znaczenie po-

jęcia „atom" w czasach starożytnych, latach dwudziestych XX wieku i dziś. Rozwój terminologii wraz z rozwojem nauki jest więc jedną z podstawowych cech języka nauki, zmiennością. Zmienność języka jest nie tylko wynikiem rozwoju teorii naukowych, ale także ewolucji języka naturalnego.

Inną cechą, charakterystyczną dla języka fizyki oraz innych nauk przyrodniczych, jest jego metaforyczna struktura. Słuchając języka, jakim posługuje się fizyka, można przekonać się, że terminy tu występujące mają metaforyczny charakter. Fizycy tak dalece przyzwyczaili się do używania metafor, że nawet tego nie zauważają. W powszechnym użyciu są takie wyrażenia, jak: upływ czasu, przepływ prądu, bieg światła, strumień indukcji, przechodzący impuls, bariera potencjału itp. Wyrażenia te umożliwiają przedstawianie nowych poglądów za pomocą niezwykłych połączeń znanych już wcześniej terminów i słów. Teorie naukowe zmieniają się, lecz nie prowadzi to do powstawania zbyt wielu nowych słów. Metaforyczna struktura języka fizyki powoduje, że jest on pełen napięcia.

Kolejną cechą charakterystyczną języka fizyki jest jego polimorfizm (wieloznaczność). Terminologia fizyczna odznacza się jeszcze większym polimorfizmem niż słowa języka naturalnego, potocznego. Takimi wieloznacznymi terminami są na przykład: model, mikroskop, widmo, warstwa, układ, stan, poziom. Polimorficzny charakter języka fizyki jest wzmocniony dodatkowo jego konceptualnością. Nawet takie proste pojęcia jak „masa" czy „czas" można i należy traktować jako pewnego rodzaju koncepcje, które można wyjaśnić, ale nie sposób zdefiniować.

Mimo wieloznaczności wyrażeń języka fizyki fizycy mogą dyskutować, porozumiewać się, mogą precyzyjnie formułować swoje koncepcje i argumenty. Jest to możliwe dzięki temu, że stosowane w języku potocznym uściślenie znaczenia słowa przez kontekst w języku nauki jest doprowadzone do perfekcji. Umiejętność przedstawiania sformułowań naukowych w odpowiednim kontekście dla precyzyjnego i ścisłego wyrażania swoich myśli jest umiejętnością, która pozwala połączyć ze sobą dwie pozornie sprzeczne cechy języka nauki, polimorfizm i ścisłość.

Następną cechą charakterystyczną dla języka nauk przyrodniczych jest jego ezoteryczność. Polega na tym, że jest on często zrozumiały wyłączne w grupie wtajemniczonych i dlatego spełnia dodatkowo funkcję jednoczącą, separującą i prestiżową.

Najbardziej szczególną cechą, wyróżniającą język nauk przyrodniczych, a zwłaszcza język fizyki, jest jego kodowy charakter związany

z wykorzystaniem matematycznego języka symboli, wzorów i wykresów. Fizyka wykorzystuje język matematyki i jej symbolicznych systemów, co pozwala na kodowanie informacji w skondensowane, lapidarne wyrażenia w formie wzorów o niewielkiej ilości znaków-symboli.

Równania fizyczne są zapisywane jako matematyczne zależności między wielkościami fizycznymi przedstawionymi przy pomocy symboli literowych. Symbole te obrazują wielkości mierzalne, rozumiane z punktu widzenia matematyki jako oderwane liczby, wyrażające stosunek wartości tych wielkości do ich jednostek.

Bardzo długo fizycy patrzyli podobnie na symbole we wzorach fizycznych, traktując je jako miary wielkości fizycznych, czyli również liczby oderwane. Fizycy zgodni byli wtedy z matematykami, widząc wzory fizyczne jako wzory algebraiczne [31]. Dla matematyków nie jest ważna natura rozpatrywanych obiektów, a tylko istniejące między nimi związki liczbowe. Jedno i to samo wyrażenie może opisywać własności bardzo odległych znaczeniowo zjawisk fizycznych, np. matematyczna formuła:

$$y = \frac{A \cdot b}{z^2} \tag{8.19}$$

może opisywać wartość siły grawitacji (prawo powszechnej grawitacji Newtona) w postaci:

$$F = G\frac{M \cdot m}{r^2}, \tag{8.20}$$

gdzie: G – stała grawitacji,
M, m –oddziałujące na siebie masy punktowe,
r – odległość między masami,

i siły oddziaływania elektrostatycznego (prawo Coulomba) w postaci:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}, \tag{8.20}$$

gdzie: ε – przenikalność elektryczna środowiska,
ε_0 – przenikalność elektryczna próżni,
Q, q – oddziałujące na siebie ładunki punktowe,
r – odległość między ładunkami.

W matematycznym wyrażeniu odpowiadającym tym prawom matematyczne operacje odbywają się według praw i zasad dotyczących liczb niezależnie od tego, jakie wielkości fizyczne opisują.

Tymczasem już w 1922 fizycy zauważyli, że przez symbole we wzorach należy rozumieć mianowane wielkości fizyczne, a nie tylko ich wartości liczbowe [75].

W takiej interpretacji, z jednej strony powinno znaleźć się odzwierciedlenie zależności fizycznych między wielkościami, z drugiej zaś, przepis na mierzenie czy wyliczenie wartości liczbowej danej wielkości fizycznej występującej we wzorze [31].

Podobnie wygląda sprawa z kodowaniem i rozkodowaniem wykresów. Na przykład wykres funkcji liniowej może przedstawiać wiele zależności fizycznych.

9. Model probabilistyczny uczenia się

Przedstawione w poprzednich rozdziałach rozważania o informacji i jej przekazie mogą służyć do stworzenia modelu uczenia się. Autor przedstawia ogólny model uczenia się, oparty na wiedzy o probabilistycznym charakterze przekazu informacji. Model może mieć zastosowanie w każdym przypadku uczenia się.

W niniejszej pracy autor proponuje model uczenia się, który z jednej strony zakłada, że uczenie się sprowadza się do przyjmowania, przetwarzania i stosowania informacji pochodzących z różnych źródeł, a z drugiej strony widzi uczenie się jako samosterowanie procesem dopływu informacji przez człowieka.

Prawidłowości w procesie uczenia się można więc rozważać z punktu widzenia teorii informacji [61] oraz cybernetyki i jakościowej teorii informacji [41, 42]. Człowiek może być rozumiany w sposób modelowy jako układ samodzielny [41]. Prawidłowości te w większości mają zastosowanie zwłaszcza tam, gdzie informacje są zakodowane w postaci wykresów czy wzorów. Przedstawiany model można nazwać probabilistycznym modelem uczenia się, ponieważ przekaz informacji, wg teorii Shannona, ma taki właśnie charakter. Model informacyjny szkolnego procesu uczenia się został zaproponowany po raz pierwszy przez Sawickiego [60]. Wg tego modelu, źródła informacji mogą być szkolne i pozaszkolne. Dominującym szkolnym źródłem informacji jest nauczyciel, rozumiany jako dynamiczny układ elementów:

— osoba nauczyciela (jego wiedza i umiejętności),
— program nauczania,
— podręcznik,
— eksperyment fizyczny (szkolny),
— środki dydaktyczne.

Oprócz nauczyciela szkolnymi źródłami informacji są źródła pozalekcyjne – koła zainteresowań oraz inne przedmioty nauczania, jak matematyka czy chemia. Źródłami informacji dla ucznia mogą być również inni uczniowie.

Wszystkie inne źródła informacji, tj. telewizja, radio, czasopisma, książki, programy komputerowe, internet itp., są pozaszkolnymi źródłami informacji. Wg. Sawickiego, w umyśle ucznia informacja podlega transformacji. Jest to proces uczenia się, w którym występują kolejne fazy:

— ocena informacji,
— wybór informacji,
— zapamiętanie informacji,
— transformowanie informacji,
— generowanie nowych informacji na podstawie dostarczonych.

W pierwszych czterech fazach istnieją straty informacji. Nowe informacje pojawiają się dopiero w fazie ostatniej, podczas ich generowania.

Model probabilistyczny uczenia się zaproponowany przez autora jest modelem szerszym dotyczącym nie tylko uczenia się szkolnego, ale każdego procesu poznania, który pociąga za sobą zmiany w zachowaniu człowieka.

Pierwszym, bardzo ważnym elementem w procesie uczenia się jest wybór źródła informacji przez uczącego się. Optymalną formą przekazu informacji jest poznanie bezpośrednie, oparte na kontakcie z rzeczywistością, gdyż zgodnie z jakościową teorią informacji, zbiór oryginałów jest tu jednocześnie zbiorem obrazów, tj. zachodzi transinformowanie tożsamościowe [42].

Wybór źródła informacji wymaga również posiadania informacji o tych źrodłach. W chwili obecnej, przy coraz szerszym dostępie do sieci Internetu, człowiek znający język angielski ma nieograniczone możliwości docierania do najrozmaitszych źródeł informacji. Człowiek odbiera informację jako zbiór sygnałów, w postaci których wiadomość została przekazana ze źródła. Może się zdarzyć, że sygnały te zostaną zakłócone lub zniekształcone na skutek szumów informacyjnych, np. uwaga człowieka zostanie odwrócona podczas oglądania i słuchania audycji telewizyjnej, gdy odbiór zostanie zakłócony przez odkurzacz pracujący w sąsiednim pokoju. Niekiedy również nadmiar informacji w tekstach drukowanych odgrywa rolę szumu informacyjnego.

Kolejnym elementem procesu poznania jest przetworzenie odebranych sygnałów (zdekodowanie), za pomocą których źródło informacji przesłało informację do uczącego się (kodowanie). Proces ten ma zdecydowanie charakter probabilistyczny, gdyż, jak już wspomniano wcześniej, istnieje skończone prawdopodobieństwo ≤ 1, że źródło użyło poprawnych sygnałów do zakodowania wiadomości, że sygnały zostaną odebrane pra-

widłowo oraz że odebrane sygnały zostaną prawidłowo zdekodowane. W efekcie istnieje skończone prawdopodobieństwo 1, że wiadomość wysłana przez źródło zostanie odebrana w takiej postaci, jak życzyłoby sobie źródło informacji, czyli że nastąpiło transinformowanie. Jest to bardzo ważne, gdyż wykorzystanie każdego źródła informacji niesie ze sobą niepewność, czy informacje zostaną odebrane prawidłowo.

Następnym elementem procesu uczenia się jest ocena i wybór informacji uzyskanych z danego źródła. Ocena i wybór informacji dokonuje się według własnych kryteriów człowieka uczącego się. Kryteria te mogą mieć różne podłoża, od racjonalnych poprzez estetyczne do emocjonalnych. Podstawową rolę odgrywają tutaj zainteresowanie i potrzeby człowieka. Ważny jest również problem oceny i wyboru informacji z punktu widzenia jego cech osobowości [23].

Elementem procesu uczenia się, podsumowującym zresztą cały ten proces, jest wykorzystanie uzyskanych informacji do wyjaśniania sytuacji zachodzących w otoczeniu człowieka. Wykorzystywane są w tym przypadku informacje uzyskane w teraźniejszości i w przeszłości. Człowiek na podstawie owych informacji tworzy nowe informacje, których użyje w przyszłości. Dlatego w procesie poznawania świata w trakcie uczenia się, bardzo ważną rolę odgrywa pamięć. Przy okazji następuje kształcenie umiejętności poznawczych człowieka jako jednego z podstawowych celów procesu uczenia się.

Ostatnim elementem procesu uczenia się jest zapamiętanie uzyskanych i przetworzonych informacji. Procesami zapamiętywania rządzą inne prawa, prawa psychologii. Podsumowując, w przedstawianym modelu można wyróżnić sześć faz procesu uczenia się:

1. wybór źródła informacji,
2. odbiór sygnałów, przy pomocy których źródło informacji przekazało wiadomość do odbiornika informacji, którym jest człowiek uczący się (kodowanie),
3. przetworzenie przez umysł człowieka odebranych sygnałów w określoną wiadomość, którą przekazało źródło informacji (zdekodowanie),
4. ocena i wybór informacji pochodzących z wybranego źródła,
5. utworzenie przez umysł człowieka uczącego się związków przyczynowo-skutkowych, dotyczących poznawanych zjawisk, w oparciu o informacje uzyskane w przeszłości i teraźniejszości.
6. zapamiętanie przetworzonych informacji.

Ostatnią fazą w omawianym procesie jest zapamiętanie dostarczonych i przetworzonych na konkretny użytek informacji. Faza ta rządzi się jednak zupełnie innymi prawami, prawami psychologii. Zapamiętanie każdej informacji łączy się z jej właściwym zakodowaniem, takim, aby przypominana wiadomość zakodowana w postaci określonych sygnałów była odtworzeniem tej informacji, która w przeszłości bliższej lub dalszej była przekazana odbiorcy informacji. Procesami zapamiętywania rządzą – jak wspomniano wyżej – inne prawa, prawa psychologii.

10. Przetwarzanie informacji. Informatyka

Często mylone są pojęcia teorii informacji i informatyki lub te dwa pojęcia są uważane za synonimy. W innych przypadkach informatyka kojarzy się tylko z komputerami. Tymczasem pojęciem łączącym obie te dziedziny wiedzy jest informacja. Należałoby więc wyraźnie określić obszary zainteresowań obu tych dziedzin zajmujących się informacją.

Najogólniej rzecz biorąc, teoria informacji, czy to ilościowa – wywodząca się od Shannona [61], czy jakościowa – związana z cybernetyką autorstwa Mazura [41], zajmuje się optymalizacją przekazu informacji, czyli poszukiwaniem takich rozwiązań, które pozwoliłyby na uzyskanie optymalnego prawdopodobieństwa przekazu wiadomości, czyli takiego, w którym wiadomość odebrana przez obiekt przeznaczenia tej wiadomości była identyczna z wiadomością przekazaną przez źródło informacji. Prawa rządzące przekazem informacji zostały przedstawione w rozdziałach 3, 6 i 7 niniejszej książki.

Teoria informacji nie zajmuje się przetwarzaniem informacji, które docierają do obiektu ich przeznaczenia. Tą dziedziną właśnie zajmuje się informatyka. Informatyka nie może kojarzyć się tylko z komputerami. Jej znaczenie i możliwości są znacznie szersze, a sprzęt jest tylko środkiem do osiągnięcia podstawowego celu informatyki, jakim jest przetwarzanie informacji.

Można powiedzieć, że informatyka jest to dziedzina wiedzy i działalności człowieka, która zajmuje się przetwarzaniem informacji za pomocą komputerów i odpowiedniego oprogramowania. Obecnie stosuje się również termin „mikrokomputer", dając tym do zrozumienia, że jest to urządzenie zminiaturyzowane dzięki zastosowaniu współczesnych technologii elektronowych.

Oprogramowaniem jest zestaw programów, które pozwalają na wykonanie przez komputer określonych zadań. Podstawą opracowania programu jest podanie „algorytmu", tzn. przepisu rozwiązania postawionego zadania.

Informacja z punktu widzenia informatyki jest zbiorem danych zebranych w celu ich przetwarzania i otrzymania wyników (nowych infor-

macji) [46]. Główne obszary zainteresowań informatyki to zastosowanie komputera oraz oprogramowanie ze specjalnym zwróceniem uwagi na języki oprogramowania.

10.1. Zastosowanie komputera

Jak wspomniano wyżej, jednym z głównych obszarów zainteresowań informatyki jest zastosowanie komputera przez wykorzystanie jego oprogramowania. Oprogramowanie to może być wykorzystywane do różnych celów. Mogą to być [46]:

a) edytory tekstu służące do redagowania na ekranie monitora tekstu, przeznaczonego do druku. Ten tryb wykorzystania komputera służy w zasadzie tylko do przekazu informacji w formie tekstu słownego oraz wiadomości zakodowanych we wzory matematyczne w rożnej postaci. Oprogramowanie edytora testów daje możliwość wiernego odwzorowania myśli użytkownika komputera;
b) edytory graficzne służące do tworzenia obrazów, rysunków, prezentacji graficznej danych pozwalają na opracowanie tekstu różnego rodzaju wydawnictw (np. Paintbrush, CorelDraw). Programem graficznym przeznaczonym do przygotowania profesjonalnej prezentacji jest PowerPoint. Daje on możliwość wykorzystania grafiki pod każdą postacią (rysunki, tabele, wykresy, efekty wizualne nakładane na tekst). Podobnie jak edytory tekstu służą w zasadzie do przekazu informacji uzupełniającej tekst oraz podającej wiadomości w sposób zakodowany w postaci wykresów, tabel, schematów itp. Należy jednak uważać, zwłaszcza przy prezentacji na ekranie, aby nie przeładowywać dodatkowych efektów graficznych, które mogą stać się szumem informacyjnym;
c) bazy danych, które są programami przeznaczonymi do gromadzenia powiązanych ze sobą w odpowiedni sposób danych, w celu ich selektywnego wykorzystania. Przykładem bazy danych może być ewidencja studentów na wydziale stworzona za pomocą odpowiedniego systemu zarządzania danymi. W tym przypadku mamy już do czynienia z porządkowaniem w odpowiedni sposób informacji, co jest jedną z form przetwarzania informacji;
d) programy kalkulacyjne, które są przeznaczone do obliczeń na tablicach liczbowych oraz do tworzenia diagramów i wykresów. Programem takim jest Excel o bardzo wszechstronnym zastosowaniu. W programach kalkulacyjnych przetwarzanie informacji jest już bardzo zaawansowane;

e) programy komunikacyjne, które są przeznaczone do połączenia dwóch lub więcej komputerów w tzw. sieci lokalne w celu korzystania ze wspólnych zasobów informacji. Zagadnienia komunikacji dotyczą również połączenia ze sobą setek tysięcy komputerów za pomocą sieci telefonicznej. W tym celu komputer musi być wyposażony w specjalny układ elektroniczny zwany modemem, który umożliwia realizację indywidualnego połączenia dwóch użytkowników znajdujących się nawet na różnych kontynentach. Najbardziej powszechnym sposobem komunikowania się i korzystania ze wspólnych zasobów informacji jest ogólnoświatowa sieć Internet. Bardzo popularną formą komunikowania się jest również poczta elektroniczna (e-mail), której idea jest zbliżona do pracy tradycyjnej poczty. Każdy użytkownik ma własną skrzynkę kontaktową z adresem. Trafiają tam wszystkie kierowane do niego informacje. Programy komunikacyjne nie przetwarzają informacji, lecz pozwalają ja przekazywać. Niestety, w sieciach pojawia się coraz więcej tzw. wirusów, które mogą rozprzestrzeniać się za pośrednictwem poczty elektronicznej oraz Internetu. Wirusy, czyli programy powodujące zaburzenia w pracy komputera, a niekiedy wręcz uniemożliwiające ją, są obecnie zmorą użytkowników komputerów wykorzystywanych do wzajemnego komunikowania się. Odgrywają rolę szumów informacyjnych niekiedy nie pozwalających na przekazanie informacji;
f) pakiety zintegrowane, łączące wszystkie wymienione wyżej funkcje. Zaletą takiego rozwiązania jest łatwość wymiany informacji między różnymi częściami tego programu. Jednym z najbardziej popularnych pakietów zintegrowanym jest program Microsoft Works, który integruje pięć podstawowych funkcji popularnych programów użytkowych: edytora tekstów, arkusza kalkulacyjnego, bazy danych, programu komunikacyjnego oraz programu grafiki wektorowej.

Zastosowania komputera obejmują również:
g) projektowanie wspomagane komputerem (Computer Aided Design). Funkcja ta obejmuje wykorzystanie komputera do projektowania np. obiektów architektonicznych, układów elektronicznych, części maszyn i inne. Technika komputerowa stwarza szanse zaprojektowania nowego obiektu czy urządzenia spełniającego wymagania jakości, niezawodności, bezpieczeństwa i estetyki. Istotą procesu projektowania wspomaganego komputerem jest dobór cech konstrukcyjnych, określenie jego części składowych, materiałów i sporządzenie dokumentacji opisującej wyrób i sposób jego wykonania;

h) zarządzanie wspomagane komputerem (Computer Aided Managment). W tym przypadku komputer jest wykorzystywany do planowania produkcji i nadzoru nad jej realizacją. Związek między projektowaniem a zarządzaniem jest tak ścisły, że często mówi się o metodzie CAD/CAM;
i) konstruowanie wspomagane komputerem (CAE – Computer Aided Engineerig). W tym przypadku komputer wykorzystuje się zarówno do tworzenia projektów (CAD), jak i analizy kosztów, planowania produkcji, specyfikacji materiałów, projektowania narzędzi. Wdrożenie metod CAD/CAM/CAE do praktyki produkcyjnej jest podstawowym warunkiem automatyzacji procesów wytwórczych;
j) systemy ekspertowe, które obejmują wykorzystanie komputera do wspomagania podejmowania decyzji, które są efektem współpracy ekspertów z danej dziedziny. Ich działanie opiera się na następujących zasadach:
   — komputer wyposaża się w bogatą bazę informacji w postaci wiedzy przyczynowo-skutkowej (prawa, twierdzenia, wzory, heurystyki, algorytmy itp.),
   — wprowadza się bazę danych, która zawiera wszystkie fakty związane z konkretną sytuacją decyzyjną,
   — wykorzystuje się układ wnioskujący, wyszukujący w bazie wiedzy niezbędne reguły, konfrontuje z konkretną sytuacją zawartą w bazie danych, eliminuje sprzeczności i w konsekwencji zgłasza strategię działania.
k) programy edukacyjne znajdujące zastosowanie w nauczaniu, a także, poprzez wprowadzenia elementu zabawy i rywalizacji, uatrakcyjniające proces nauczania i uczenia się. Bardzo popularna w zastosowaniach szkolnych jest technika prezentacji multimedialnej, która polega na połączeniu tekstu, grafiki, animacji, fragmentów filmów, zapisanej cyfrowo mowy oraz wysokiej jakości dźwięku.

10.2. System komputerowy, kodowanie informacji, programowanie

Naturalnym sposobem liczenia dla człowieka jest korzystanie z systemu dziesiętnego. Dla komputera natomiast tym naturalnym sposobem liczenia jest korzystanie z zapisu dwójkowego. Zapis ten wykorzystuje jednostkę informacji, czyli poznany wcześniej 1 bit, który w zapisie

dwójkowym reprezentuje pojedynczą cyfrę: 0 lub 1. W urządzeniach komputerowych, które są oparte na zastosowaniu układów elektronicznych, ten sposób kodowania danych jest najprostszy. Polega bowiem na pojawianiu się w kolejnych odstępach czasu impulsów elektrycznych (1) lub ich braku (0). Mogą one reprezentować liczbę, znak, rozkaz lub adres komórki pamięci. Ponieważ 1 bit jest małą jednostką, w informatyce wprowadzono 1 bajt, równy 8 bitom. Stanowi on podstawową jednostkę informacji we współczesnych komputerach. Wielokrotnościami są jednostki większe:

— 1 KB (kilobajt) = 2^{10} bajtów,
— 1 MB (megabajt) = 2^{10} KB = 1024 KB = 1 048 576 bajtów.

Komputerowy system przetwarzania danych działa podobnie jak człowiek rozwiązujący problem, to znaczy [46]:

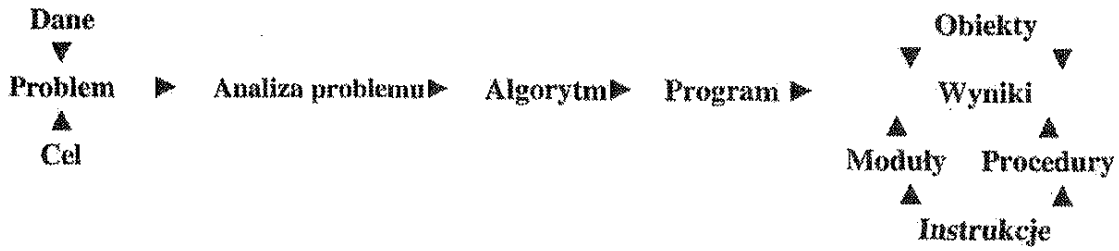
— pobiera dane oraz program za pomocą urządzeń wejściowych (klawiatura, pamięci dyskowe, mysz, skaner) i zapisuje je w pamięci, podobnie jak człowiek, który pobiera dane za pomocą zmysłów, poznaje metodę działania i zapisuje je w pamięci,
— korzystając z układu sterującego wszystkimi działaniami (mikroprocesora), wykonuje program, otrzymując wynik. Człowiek wykonuje działanie na danych, wykorzystując mózg,
— za pomocą urządzeń wyjściowych (ekran monitora, drukarka, ploter) podaje wynik. Człowiek wykorzystuje w tym celu narząd mowy lub zapisuje na kartce.

Aby utworzyć te bardzo złożone programy, o których mowa powyżej, należy określić dla nich szczegółowe założenia, a następnie zapisać to w wybranym języku programowania [46]. Trzeba więc połączyć dwa elementy:

— umiejętność przedstawienia zadania w postaci kolejnych kroków prowadzących do jego rozwiązania (tworzenie algorytmów) oraz
— umiejętność zapisania tych kroków w odpowiednim języku.

Opracowywanie algorytmów oraz pisanie programów w wybranym języku musi być poprzedzone precyzyjnym zdefiniowaniem problemu, który ma być rozwiązany. Opis problemu polega na podaniu jego specyfikacji, na którą składają się dane wejściowe, oraz celu, jaki jest stawiany do osiągnięcia.

Schemat tworzenia programu przedstawiono na Rys. 10.1.



Rys. 10.1. Schemat tworzenia programu

Następnym krokiem po zdefiniowaniu problemu, jest przeprowadzenie analizy, która prowadzi do wyboru metody rozwiązania problemu, czyli algorytmu, który określa sposób otrzymania wyników na podstawie danych wejściowych. Kolejnym etapem jest opisanie stworzonego algorytmu postępowania w konkretnym języku programowania. Każdy algorytm można podzielić na moduły, które stanowią opis wyróżnionego, dobrze określonego działania na równie dobrze określonych obiektach. Wybrany język programowania pozwala dzielić problem na podproblemy zwane procedurami lub podprogramami. Moduły i procedury wynikają z odpowiednich instrukcji.

Stworzone programy pozwalają na przetworzenie dostarczonych informacji (danych). Jako przykład może posłużyć prosty problem: oblicz sumę dwóch liczb a i b. Wynik oznacz przez S. W tym prostym problemie danymi wejściowymi są dwie liczby naturalne a i b, celem – obliczenie sumy S(a,b). Po podaniu konkretnych liczb (obiektów) program przetworzy podane informacje i obliczy sumę liczb. Program ten w umownym języku programowania (pseudojęzyku) wygląda następująco [46]:

```
Podaj (a)
Podaj (b)
S := a + b
Pisz (S)
```

11. Związki energii i informacji

Podsumowując dotychczasowe rozważania dotyczące związków energii i informacji, nasuwają się prawidłowości.

Uzyskiwanie informacji o przyrodzie wymaga energii, dotyczy to zwłaszcza pomiaru fizycznego. Jak wynika z rozważań przedstawionych w rozdziale 5, zwiększanie dokładności pomiaru wymaga zwiększenia energii potrzebnej do przeprowadzenia pomiaru. Ze wzoru (5.15) można ocenić, że zwiększenie energii pociąga za sobą wzrost częstotliwości promieniowania użytego do obserwacji, np. dla pomiaru z niepewnością pomiarową 0,001 m wystarczy częstotliwość użytego do obserwacji promieniowania, rzędu 10^{11} Hz, co odpowiada światłu widzialnemu, a dla pomiaru z niepewnością pomiarową 10^{-10} m jest już potrzebne promieniowanie o częstotliwości rzędu 10^{18} Hz, co odpowiada promieniowaniu rentgenowskiemu. W pierwszym przypadku do przeprowadzenia pomiaru wystarczy oświetlenie linijki zwykłą żarówką zasilaną napięciem 220 V. Jeśli pomiar trwałby 3 sekundy, ilość energii potrzebnej do przeprowadzenia tego pomiaru wyniosłaby 300 J. W przypadku promieniowania rentgenowskiego charakterystycznego K, do uzyskania takiego promieniowania potrzebna jest napięcie w lampie rentgenowskiej o katodzie molibdenowej, równe około 20000 V [16]. Można powiedzieć w oparciu o powyższe rozważania, że im dokładniejszy pomiar, tym wymaga większej energii.

Każde zdarzenie zachodzące we wszechświecie wymaga dostarczenia informacji i energii, przy czym przekaz energii i informacji mogą dotyczyć następujących układów:

— człowiek – człowiek,
— człowiek – maszyna,
— maszyna – człowiek,
— maszyna – maszyna,
— ciało fizyczne – ciało fizyczne.

Im więcej informacji uzyska człowiek w celu wykonania jakiegoś zamierzenia, tym mniej energii zużywa na wykonanie tego zamierzenia

i odwrotnie. To stwierdzenie jest podstawą do zrozumienia oczywistej prawdy, że w obecnym czasie konieczne są poszukiwania nowych źródeł energii, w związku z wyczerpywaniem się paliw kopalnych. Celem powinno być również zmniejszenie energochłonności działań, przez dostarczenie odpowiedniej ilości informacji o warunkach, w których te działania są wykonywane, z możliwie najmniejszą ilością szumów informacyjnych. Należy tutaj zwrócić uwagę na fakt, że przekaz informacji wymaga stosunkowo niewielkich ilości energii.

Obecnie coraz więcej ludzi rozumie, że podstawą rozwoju w każdej dziedzinie jest uzyskanie odpowiedniej informacji. Stąd na coraz szerszą skalę szerzy się różnego rodzaju szpiegostwo, którym zajmuje się wywiad, a przeciwdziała kontrwywiad. Wywiad wojskowy w czasie pokoju poszukuje informacji na temat nowych technologii w dziedzinie uzbrojenia i łączności, a w czasie wojny – na temat planowanych działań operacyjnych nieprzyjaciela. Wywiad przemysłowy stara się zdobyć informacje na temat ulepszeń w różnych dziedzinach produkcji, od nowych technologii po wykorzystanie nowych materiałów.

Wszystkie publikatory są nasycone informacjami reklamowymi, które pomagają przeciętnemu człowiekowi w wyborze produktu oraz w jego zakupie. Każdy przynajmniej kilka razy w życiu spotkał się z sytuacją, w której chciał zakupić określony produkt. Mógł wtedy docenić rolę informacji. Jeśli na przykład wychodził z domu, aby zakupić buty, i nie miał informacji, gdzie są sklepy z butami, które go interesowały, musiał stracić olbrzymią ilość energii na poszukiwanie takich sklepów. Jeszcze większy problem stanowi zakup artykułu przemysłowego, na przykład radia samochodowego. Wybór jest tak olbrzymi, że tylko właściwa informacja pomoże dokonać zakupu.

Informacja jest przekazywana nie tylko między ludźmi, ale i między człowiekiem a maszyną. Dotyczy to głównie relacji: człowiek – komputer i komputer – człowiek. O tym rodzaju przekazu informacji była mowa w rozdziale 12. Komputer obecnie jest dla człowieka podstawowym źródłem informacji. Informacja ta jest użyteczna, jeśli jest rzetelna.

Nasza cywilizacja współczesna jest „erą elektryczności", gdyż podstawowym rodzajem energii wykorzystywanej we wszelkich zakresach działalności człowieka jest energia elektryczna. To ona jest końcowym efektem wykorzystania wszelkich źródeł energii. Ta energia jest również wykorzystywana przy uzyskiwaniu i przekazie informacji. Wszelkie formy współczesnego przekazu informacji, to jest: Inernet, telefonia prze-

wodowa i komórkowa, telegraf, radio, telewizja, wykorzystują energię elektryczną. Była o tym mowa w rozdziałach 2 i 3.

Osobnym problemem jest przekaz informacji i energii w przyrodzie nieożywionej między elementami tej przyrody, jakimi są ciała fizyczne. W rozdziale 2 rozważano przekaz energii i informacji za pomocą fal elektromagnetycznych. Przekaz ten dotyczy nie tylko informacji przekazywanych przez ludzi za pośrednictwem różnych środków przekazu, ale również informacji między ciałami fizycznymi obdarzonymi ładunkiem. W ten sposób elektron wylatujący z katody działa elektronowego w kineskopie otrzymuje informację o dodatnim ładunku ekranu i energię, dzięki której dotrze do tego ekranu. Podobnie w cyklotronach naładowane cząstki są przyspieszane przez pole elektryczne dzięki informacji uzyskanej za pośrednictwem tego pola i energii tego pola.

W kosmosie gwiazdy i planety przekazują między sobą informację i energię za pośrednictwem pola grawitacyjnego. Ziemia otrzymuje w ten sposób informację i energię od Słońca, a Księżyc od Ziemi.

Podsumowując rozważania przedstawione w niniejszym opracowaniu, można stwierdzić, że jedną z podstawowych prawidłowości obowiązujących we wszechświecie, jest związek energii i informacji. Żadne zdarzenie nie może zajść bez dostarczenia energii i informacji.

Literatura

1. L. von Bertalanffy, *Historia rozwoju i status ogólnej teorii systemów*, [w:] G.L. Kliv (red.), *Ogólna teoria systemów*, WNT, Warszawa, 1976.
2. P. Berg, M. Singer, *Język genów. Poznawanie zasad dziedziczenia*, Prószyński i S-ka, Warszawa, 1997.
3. G. Białkowski, *Wszyscy jesteśmy nauczycielami języka polskiego*, „Fizyka w Szkole", **3**, 170 (1984).
4. Z.A. Błasiak, M. Koszowy, www.kul.lublin.pl/efk/hasła/i/informacja.html.
5. D. Bohm, *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New York, 1951.
6. W. Bolton, *Zarys fizyki*, PWN, Warszawa, 1982.
7. Z. Bokszański, A. Piotrkowski, M. Ziółkowska, *Socjologia języka*, Wiedza Powszechna, Warszawa, 1977.
8. L. Brillouin, *Nauka a teoria informacji*, PWN, Warszawa, 1969.
9. L. Brillouin, „J.Appl.Phys.", **24**, 1152 (1953).
10. L.N. Bronsztain, K.A. Siemiendiajew, *Matematyka. Poradnik encyklopedyczny*, PWN, Warszawa, 1986.
11. F. Capra, *Punkt zwrotny. Nauka, społeczeństwo, nowa kultura*, PIW, Warszawa, 1987.
12. N. Chomsky, *Aspiekty teorii syntaksisa*, Nauka, Moskwa, 1972.
13. J. Chrostowski, *Telekomunikacja optyczna*, „Postępy Fizyki", **26**, 407 (1975).
14. H. Cramer, *Metody matematyczne w statystyce*, PWN, Warszawa, 1958.
15. B. Crosignani, *Światłowody w telekomunikacji*, WKiŁ, Warszawa, 1987.
16. B.D. Cullity, *Podstawy dyfrakcji promieni rentgenowskich*, PWN, Warszawa, 1964.
17. L. Dobrzyński, *Wnioskowanie bayesowskie i metoda maksymalnej entropii w naukach przyrodniczych*, „Postępy Fizyki", **47**, 215 (1996).
18. *Encyklopedia fizyki współczesnej*, PWN, Warszawa, 1983.

19. *Encyklopedia odkryć i wynalazków*, Wiedza Powszechna, Warszawa, 1979.
20. R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, t. I, cz. 2, PWN, Warszawa, 1974.
21. M. Głowacki, *Język matematyczny w nauczaniu fizyki*, Wydawnictwo WSP, Częstochowa, 1994.
22. M. Głowacki, *Informacyjny model języka a nauczanie i uczenie się fizyki*, [w:] *Doskonalenie systemu komunikacji dydaktycznej*, cz. III i IV, Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 1991, str. 343.
23. M. Głowacki, *Przekaz informacji w nauczaniu fizyki*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Pedagogicznej, Częstochowa, 2000.
24. H.F. Harmuth, *Information Theory Applied to Space-Time Physics*, (tłumaczenie rosyjskie N.S. Pozdniakowa), Moskwa, Mir, 1989.
25. R.V.L. Hartley, *Transmission of Information*, „Bell System Tech. J.", **7**, 535 (1928).
26. F. Herman, P. Schmälzle, G.B. Schmitd, *Information and his Carriers*, „Phys. Educ.", **20**, 206 (1985).
27. E.W. Hutten, *The Ideas of Physics*, Edinburg – London, 1967.
28. E.W. Hutten, *The Language of Modern Physica*, N.Y. London, 1967.
29. B. Jaworski, A. Dietłaf, L. Miłkowska, G. Siergiejew, *Kurs fizyki*. T. 1. *Mechanika, podstawy fizyki cząsteczkowej i termodynamiki*, PWN, Warszawa, 1976.
30. B. Jaworski, A. Dietłaf, L. Miłkowska, G. Siergiejew, *Kurs fizyki*. T. 2. *Elektryczność i magnetyzm*, PWN, Warszawa, 1976.
31. M. Jeżewski, *O sprawie interpretacji symboli w równaniach fizycznych*, „Postępy Fizyki", **6**, 667 (1986).
32. J. Johnson, *Thermal Agitation of Electricity in Conductors*, „Phys. Rev.", **32**, 97 (1928)]
33. K.C. Kao, G.A. Hockman, *Dielectric Fibre Surface Wavequides for Optical Frequences*, Proc. IEEE, vol. 1134, 1966.
34. D. Kind, *Quo vadis metrologio?*, „Postępy Fizyki", **50**, 140 (1999).
35. C. Kittel, W.D. Knight, M.A. Ruderman, *Mechanika*, PWN, Warszawa, 1973.
36. A. Kolacny (tłumaczył i streścił L. Ratajski), *Informacja kartograficzna – podstawowe pojęcie i termin w nowoczesnej kartografii*, [w:] Z. Kozieł (red.), *Koncepcja mapy... Wybór tekstów*, Wydawnictwo Uniwersytetu M. Kopernika, Toruń, 1998, str. 59–63.

37. T. Kotarbiński, *Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk*, PWN, Warszawa, 1976.
38. C. Laird, *Thinking about Language*, N. Y., London, 1961.
39. *Mała encyklopedia powszechna*, PWN, Warszawa, 1959.
40. C. Maxwell, *Theory of Heat*, 1871, p. 328.
41. M. Mazur, *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych*, PWN, Warszawa, 1966.
42. M. Mazur, *Jakościowa teoria informacji*, WNT, Warszawa, 1970.
43. J.R. Meyer-Arendt, *Wstęp do optyki*, PWN, Warszawa, 1977.
44. W.W. Mitiugow, *Fiziczeskije osnowy teorii informacji*, Moskwa, Sowietskoje Radio, 1976.
45. W. Nalimow, *Probabilistyczny model języka*, PWN, Warszawa, 1980.
46. Z. Nowakowski, W. Sikorski, *Informatyka bez tajemnic*, cz. I–III, MIKOM, Warszawa, 2001.
47. J. Nowakowski, W. Sobczak, *Teoria informacji*, WNT, Warszawa, 1971.
48. H. Nyquist, *Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors*, „Phys. Rev.", **32**, 110 (1928).
49. J. Orear, *Fizyka 1*, WNT, Warszawa, 1990.
50. J. Orear, *Fizyka 2*, WNT, Warszawa, 1990.
51. A. Piekara, *Mechanika ogólna*, PWN, Warszawa, 1964.
52. R. Pietrzak, *Trudności interpretacyjne mechaniki kwantowej*, [w:] *Nauki w poszukiwaniu prawdy*, Redakcja Wydawnictw Wydziału Teologicznego Uniwersytetu Opolskiego, Opole, 2004, s. 57–74.
53. J.R. Pierce, *Symbols, Signals and Noise*, Hutchison of London, 1962.
54. L. Ratajski, *Straty i zyski informacji w przekazie kartograficznym*, [w:] Z. Kozieł (red.), *Koncepcja mapy. Wybór tekstów*, Wydawnictwo Uniwersytetu M. Kopernika, Toruń, 1988, str. 73–81.
55. R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*. T. I, PWN, Warszawa, 1966.
56. A.H. Robinson, (tłum. S. Pietkiewicz), *Koncepcja mapy*, [w:] Z. Kozieł (red.), *Koncepcja mapy. Wybór tekstów*, Wydawnictwo Uniwersytetu M. Kopernika, Toruń, 1988, str. 9–22.
57. E.M. Rogers, *Fizyka dla dociekliwych. Cząsteczki i energia*, PWN, Warszawa, 1967.
58. S. Rutkowski, *Mała encyklopedia zdrowia*, PWN, Warszawa, 1967.
59. E. Rybka, *Astronomia ogólna*, PWN, Warszawa, 1975.
60. M. Sawicki, *Modele informacyjne w dydaktyce na przykładzie fizyki*, „Przegląd Pedagogiczny", **3**, 123 (1973).

61. C.E. Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, „Bell System Tech. J.", **27**, 379 (1948).
62. C.E. Shannon, W.W. Weaver, *The Mathematical Theory of Information*, Urbana III, Univ. Of Illinois Press, 1949.
63. *Słownik fizyczny*, Wiedza Powszechna, Warszawa, 1984.
64. *Słownik naukowo-techniczny Hutchisona*, Wydawnictwo EM, Warszawa, 1997.
65. W. Sobczak, *Podstawy probabilistyczne teorii systemów informacyjnych*, WNT, Warszawa, 1981.
66. B. Stanosz, *Język w świetle nauki*, Czytelnik, Warszawa, 1980.
67. H. Stonert, *Język i nauka*, WP, Warszawa,1964.
68. S. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. Cz. I, *Mechanika i akustyka*, PWN, Warszawa,1972.
69. S. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. Cz. II, *Ciepło i fizyka drobinowa*, PWN, Warszawa, 1964.
70. S. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. Cz. III, *Elektryczność i magnetyzm*, PWN, Warszawa, 1966.
71. L. Szilard, „Z. Physik", **53**, 840 (1929).
72. M. Tempczyk, *Fizyka najnowsza*, Wydawnictwo Znak, Kraków, 1998.
73. W.A. Tuzow, *Matiematiczeskaja model jazyka*, Wydawnictwo ŁGU, Leningrad, 1984.
74. H.G. Unger, *Telekomunikacja optyczna*, WKiŁ, Warszawa, 1977.
75. J. Wallot, „Elektrotech Z.", **43**, 1381 (1922).
76. P. Węgleński (red.), *Genetyka molekularna*, PWN, Warszawa, 2000.
77. I. Wilk, *Uwagi o terminologii fizycznej, jej stanie obecnym i propozycjach rozwiązań*, „Postępy Fizyki", **33**, 51 (1982).
78. J. Wilsz, *Znaczenie niekształtowalnych cech osobowości człowieka w procesie kształcenia przedzawodowego*, Wydawnictwo WSP, Częstochowa, 1996.
79. K. Zalewski, *Wykłady z termodynamiki fenomenologicznej i statystycznej*, PWN, Warszawa, 1978.
80. Z. Ziembiński, *Logika praktyczna*, PWN, Warszawa, 1974.

www.autonom.edu.pl