

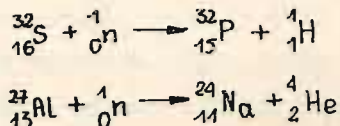
pobudzone i wysłać pozostałą resztę energii w postaci fotonu gamma.

7.4.1. Energia atomowa

Za pomocą neutronów można rozбивać jądra atomowe wszystkich pierwiastków i uzyskiwać w ten sposób olbrzymie ilości energii.

Najważniejsze z punktu widzenia technicznego są relacje, które służą do otrzymywania sztucznie wzbudzonych pierwiastków promieniotwórczych /traserów lub wskaźników/ i te które służą do otrzymywania energii atomowej.

Trasery otrzymuje się przy relacji



Obydwa pierwiastki /PNa/ otrzymane w tych relacjach są promieniotwórcze i odgrywają dużą rolę jako wskaźniki.

Nie wszystkie jądra mogą ulec rozszczepieniu, dotyczy to tylko jąder atomów cięższych od atomów o pewnych wartościach Z i A. O możliwości rozszczepienia decyduje stosunek energii elektrostatycznej jądra do jego energii napięcia powierzchniowego, przy czym z tego stosunku utrzymuje się, że miarą nietrwałości jądra atomowego jest liczba Z^2/A , która dla przypadku granicznego zupełniej nietrwałości jądra wynosi

$$\frac{Z^2}{A} = 50$$

a dla pierwiastków najcięższych waha się w granicach 35,5 do 38. Atomy tych pierwiastków znajdują się na granicy trwałości i przy niewielkich deformacjach ich jądra mogą ulec rozszczepieniu

Bardzo istotną rolę grają w tej relacji wyzwolone neutrony, których może powstać dwa, trzy lub więcej /średnio 2,56/. Stanowią one takie same pociski, jak ten, który wywołał pierwotną reakcję, przeto same mogą wywoływać nowe reakcje tego samego typu. Każda reakcja może dać nowe neutrony i liczba ich szybko może narastać. W ten sposób reakcja rozszczepienia może się stać podstawą reakcji łańcuchowej i lawinowej. Reakcje rozszczepienia mogą wywołać nie tylko neutrony, ale również protony, deuterony, cząstki α , fotony/o dużej energii/. W procesie lawinowym może wystarczyć 75 kolejnych reakcji rozszczepienia, żeby spowodować rozpad atomów mieszczących się w jednym molu substancji /tzn. odpowiadających liczbie Avogarda $6 \cdot 10^{23}$ /. W takim przypadku zjawisko ze skali atomowej przejdzie do skali praktycznej.

Z każdą reakcją rozszczepienia połączone jest wydzielanie pewnej ilości energii /około 200 MeV/. Jeżeli taką liczbę pomnoży się przez liczbę Avogarda to otrzymamy olbrzymie ilości energii. Źródłem energii atomowej jest zatem energia tkwiąca w masie spoczynkowej jąder atomów ciężkich, które przy rozszczepieniu tworzą nowe jądra lżejszych atomów i zmieniają część masy spoczynkowej na masę fotonów i na masę cząstek posiadających wielkie energie.

Żeby uniknąć szkodliwego działania absorbującego neutrony przez atomy uranu 238 stosuje się tzw. moderatory, tzn. substancje, które powodują spowolnienie neutronów przez zderzenie sprężyste z jądrami swoich atomów, nie powodują absorpcji neutronów. Do najlepszych moderatorów należą: ciężka woda i grafit /węgiel/.

Jeżeli przez N_0 oznaczmy liczbę neutronów, które początkowo występują w takim środowisku, a przez k oznaczmy

tw. współczynnik powielania neutronów w środowisku nieskończonym, to liczba neutronów będzie wzrastała w czasie reakcji w sposób następujący

$$N_0 + N_0 k + N_0 k^2 + \dots = N = \frac{N_0}{1-k}$$

Jeżeli $k \geq 1$ to proces łańcuchowo lawinowy rozwinie się jeżeli będzie $k < 1$ to reakcja lawinowa nie powstanie.

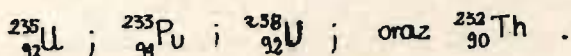
Praktyczne zrealizowanie takiego układu substancji uranu z substancją moderatora nosi nazwę reaktora atomowego.

Krytyczne rozmiary stosu atomowego określa następujący wzór

$$D = \frac{L}{\sqrt{k-1}}$$

D - krawędź stosu, L - średnia droga, którą przebywa swobodny neutron od chwili powstania do chwili jego pochłonięcia.

Sterowane reakcje jądrowe realizowane są w reaktorach jądrowych, przy czym w charakterze surowca i substancji dzielącej się wykorzystuje się

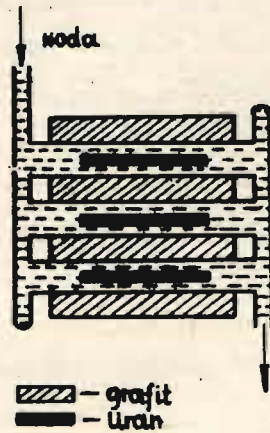


Warunkiem zapewniającym rozwój reakcji łańcuchowej w reaktorach jądrowych na powolne neutrony jest zastosowanie spowalnicza dla zmniejszenia pochłaniania neutronów przez jądra ${}_{92}^{238}\text{U}$.

Na rys. 3.7 podano schemat ideowy reaktora atomowego. Między bryłami grafitu umieszczone są pręty z uranu ${}_{92}^{235}\text{U}$ oraz rury z bieżącą wodą, której zadaniem jest ochładzanie rozgrzewającego się reaktora. Zamiast wody można używać do ochładzania reaktorów ciekłych metali np. mieszaniny sodu i potasu, samego sodu, bizmutu itp.

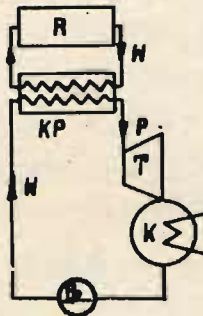
Reaktor atomowy jest źródłem promieniowania neutronowego i promieni gamma, źródłem energii cieplnej oraz urządzeniem

do wytwarzania radioizotopów i materiałów rozszczepialnych np. plutonu.



Rys. 3.7. Schemat reaktora atomowego

Reaktory o dużej mocy, rzędu kilkuset MW służą jako źródła energii w tzw. elektrowniach atomowych. Schemat takiej elektrowni pokazano na rys. 4.7. Składa się ona z reaktora atomowego R, oraz z obwodu chłodzącego reaktora W, wymiennika ciepła KP, turbiny T, kondensatora cieplnego K, układu pomp P₀.



Rys. 4.7. Schemat ideowy elektrowni atomowej

Szczególnym typem reaktora na szybkie neutrony, w którym odbywa się szybka niekontrolowana reakcja łańcuchowa o charakterze wybuchowym jest bomba atomowa. Reakcja wybuchowa powoduje wydzielanie się olbrzymiej energii, która wydzielą się w ciągu milionowych części sekundy. Dzięki temu wytwarza się w miejscu wybuchu temperatura rzędu 10^7 °K, duża różnica ciśnienia powietrza, wytwarza się podobnie jak w stosie atomowym wielka liczba neutronów, które dokonują przemiany pierwiastków i wytwarzają z atomów normalnych izotopy promieniotwórcze, bardzo szkodliwe dla żywych organizmów. Dla przykładu rozszczepienie 1 kg uranu daje energię $8,2 \cdot 10^{13}$ J /ponad 20 milionów kWh/, która wydzielą się w ciągu 1 mikro-sekundy.

Bomby jądrowe można podzielić na trzy zasadnicze klasy:

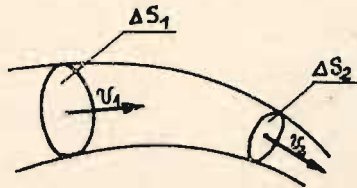
- 1/ bomby A - atomowe
- 2/ bomby H - wodorowe
- 3/ bomby U - termojądrowo-uranowe.

Bomba A oparta jest na rozszczepieniu głównie uranu. W bombie H energia jest wydzielana dzięki reakcji termojądrowej.

Bomba U zawiera zarówno rozszczepialne paliwo jądrowe jako zapalnik jak i paliwo przeznaczone do syntezy. Charakteryzuje się ona dodatkowym działaniem niszczycielskim wskutek pyłów radio-aktywnych, zawierających radioaktywne produkty rozszczepiania. Moc bomby jest mierzona w tonach, kilotomach i megatonach TNT /trójnitrotolenu/. Bomby A posiadają moc rzędu kilkudziesięciu kiloton TNT. Moc bomby H jest zwykle rzędu miliona ton TNT, a nawet dochodzić może do 100 megaton. Dla przykładu bomba zrzucona na Hiroszimę miała moc 20 kiloton TNT.

7.5. Równanie Bernoulliego

Przy rozważaniach ruchu cieczy można w większości przypadków z dostateczną dokładnością przyjąć ciecz za doskonale nieściśliwą i założyć, że przesunięcie się warstw cieczy jednych względem drugich nie jest związane z powstawaniem sił tarcia /lepkości/. Taka nieściśliwa i pozbawiona lepkości ciecz nosi nazwę cieczy doskonałej.



Rys. 5.7. Struga prądu cieczy

Część cieczy ograniczona liniami prądu nosi nazwę strugi prądu /rys. 5.7/. Weźmy pod uwagę strugę prądu i wybierzmy dowolne dwa prostopadłe do niej przekroje ΔS_1 i ΔS_2 . W jednostce czasu przez przekrój ΔS_1 przepłynie objętość cieczy równa $\Delta S_1 \cdot v_1$, gdzie v_1 jest prędkością przepływu cieczy w tym miejscu, gdzie przeprowadzono przekrój ΔS_1 . Przez przekrój ΔS_2 przepłynie w tej samej jednostce czasu objętość cieczy $\Delta S_2 \cdot v_2$, gdzie v_2 - prędkość przepływu cieczy w miejscu przekroju ΔS_2 . Dla cieczy nieściśliwej objętości te będą równe

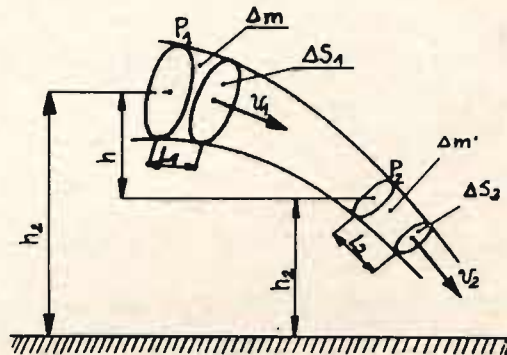
$$\Delta S_1 \cdot v_1 = \Delta S_2 \cdot v_2$$

Ponieważ zależność ta jest słuszna dla dowolnych dwóch przekrojów strugi prądu, dlatego możemy napisać ogólnie, że dla strugi prądu

$$\Delta S \cdot v = \text{const.}$$

tj. że iloczyn prędkości przepływu cieczy nieściśliwej i pola poprzecznego przekroju strugi prądu jest wielkością stałą dla danej strugi prądu. Zależność ta nazywa się twierdzeniem o ciągłości strugi.

Wydzielmy z płynącego strumienia cieczy pewną określoną jej masę Δm przepływającą najpierw przez przekrój ΔS_1 strugi prądu a następnie przez przekrój ΔS_2 /rys. 6.7./,



Rys. 6.7. Przepływ cieczy

Prędkość cieczy w miejscu przekroju ΔS_1 oznaczmy przez v_1 , ciśnienie przez p_1 zaś prędkość i ciśnienie w miejscu przekroju ΔS_2 — odpowiednio przez v_2 i p_2 . Oznaczmy wysokość na jakiej znajduje się przekrój ΔS_1 przez h_1 , a wysokość na której leży przekrój ΔS_2 przez h_2 . Przy przepływie masy cieczy Δm zostaje wykonana praca przez różnicę sił działających na ciecz w przekrojach ΔS_1 i ΔS_2 , wywołanych przez ciśnienie p_1 i p_2 . Na podstawie zasady zachowania energii $E_2 - E_1$ równa się pracy sił zewnętrznych przesuwających masę Δm z przekroju ΔS_1 do przekroju ΔS_2 ten.

$$E_2 - E_1 = L$$

gdzie energie E_1 i E_2 składają się z energii kinetycznych i potencjalnych masy cieczy Δm :

$$E_1 = \frac{\Delta m \cdot v_1^2}{2} + \Delta m g h_1 \quad ; \quad E_2 = \frac{\Delta m \cdot v_2^2}{2} + \Delta m g h_2$$

Siły działające na oba końce wydzielonej części cieczy są odpowiednio równe

$$F_1 = p_1 \cdot \Delta S_1$$

$$F_2 = p_2 \cdot \Delta S_2$$

Aby przenieść masę Δm przez pierwszy przekrój, ciecz musi się przesunąć o odcinek $\Delta L_1 = v_1 \cdot \Delta t$, zaś przez drugi przekrój o odcinek $\Delta L_2 = v_2 \cdot \Delta t$.

Przyrost energii jest równy pracy wykonanej przez różnicę sił działających na ciecz w przekrojach ΔS_1 i ΔS_2

zatem

$$\frac{\Delta m v_2^2}{2} + \Delta m g h_1 - \frac{\Delta m v_1^2}{2} - \Delta m g h_2 = F_1 \cdot \Delta L_1 - F_2 \cdot \Delta L_2$$

skąd otrzymamy

$$\frac{\Delta m v_1^2}{2} + \Delta m g h_1 + p_1 \cdot \Delta S \cdot v_1 \cdot \Delta t = \frac{\Delta m v_2^2}{2} + \Delta m g h_2 + p_2 \cdot \Delta S_2 v_2 \Delta t$$

z warunku ciągłości strugi

$$\Delta V = \Delta S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = \Delta S_2 v_2 \Delta t$$

oraz przyjmując gęstość cieczy

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

ostatecznie otrzymamy

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2$$

Równanie powyższe nosi nazwę równania Bernoulliego.

Dla strugi prądu położonej poziomo tzn. gdy $h_1 = h_2$ mamy

$$\frac{\rho V_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho V_2^2}{2} + p_2$$

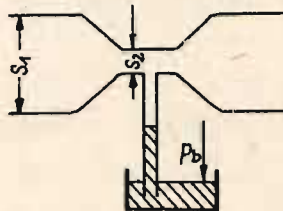
Przy przepływie cieczy w rurze pomiarowej o różnych przekrojach prędkość cieczy jest większa w miejscach węższych, zaś ciśnienie jest większe w miejscach szerszych /rys.7.7/.



7.7.

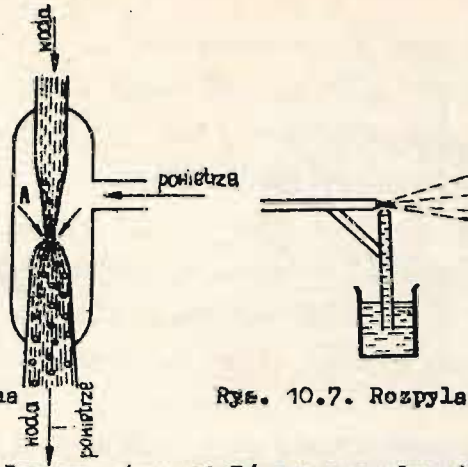
Rys. Zależność ciśnienia od szerokości rury

W wąskich częściach rurki przy dużych prędkościach przepływu ciśnienie p może stać się ujemne. Wówczas strumień będzie wykazywał działanie ssące /rys. 8.7/



Rys. 8.7. Ssące działanie cieczy płynącej przez przewężenie

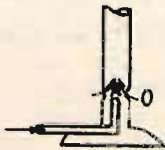
Na tym ssącym działaniu przewężonego strumienia cieczy opiera się praca całego szeregu przyrządów np. pompki wodnej /rys. 9.7/ oraz rozpylacza /rys.10.7/



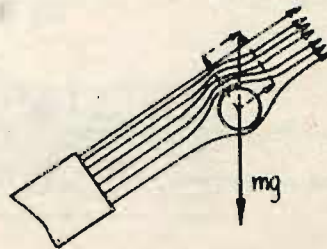
Rys.9.7. Pompa wodna

Rys. 10.7. Rozpylacz

Podobnie w palniku Bunsena /rys.11.7/ gaz przepływający przez przewężenie A wciąga powietrze przez boczne otwory O palnika, dzięki czemu gaz zostaje wymieszany z powietrzem i wypływając z paleniska spala się całkowicie. W podobny sposób jest mieszany gaz z powietrzem w palnikach kuchenek gazowych

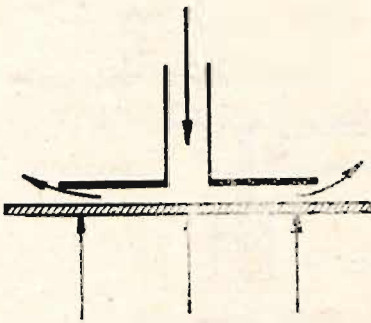


Rys. 11.7 Palnik Bunsena

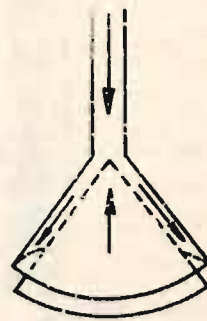


Rys.12.7. Unoszenie się piłki w strumieniu powietrza

Zmianę ciśnienia można wytłumaczyć unoszenie się piłeczki w strudze powietrza /rys. 11.8/ oraz unoszenie się płytki, gdy działa na nią struga powietrza /rys. 12.8/a/ rys. 13.8/b/



Rys. 13.7a Podnoszenie się płyty dolnej, gdy z góry działa strumień powietrza



Rys. 13.7b.

Skrzydło samolotu ma tak dobrany profil, aby mogła powstać siła nośna, tak jak pokazano na rys. 14.7.



Rys. 14.7. Siła nośna w skrzydle samolotu

7.6. Ruch burzliwej cieczy

Gdy prędkość przepływu jest mała, to linie prądu są równoległe do osi rurki i przebieg przepływu cieczy przez rurkę jest spokojniejszy. Jeżeli przy przepływie takim stosować będziemy coraz to większe ciśnienia, opór lepkości będzie stopniowo wzrastać, aż do pewnej granicy. Po jej przekroczeniu

wartość oporu lepkości wzrośnie nagle bardzo znacznie. Jednocześnie linie prądu tracą swój przebieg prawidłowy, w cieczy zaczną tworzyć się wiry a przepływ stanie się burzliwy. Tworzenie się wirów występuje również w przypadku, gdy ciecz płynąca doznaje nagłych zmian kierunku przepływu. Linie prądu zmieniają nagle swój kierunek i wskutek tego w cieczy mogą powstać w różnych punktach duże spadki prędkości. W punktach takich opór lepkości będzie posiadał dużą wartość, wystąpią więc znaczne siły styczne do warstw cieczy, dzięki którym powstaną ruchy obrotowe /wiry/. Jeśli przepływ cieczy przez rurkę odbywa się ze znaczną prędkością, to wskutek powstawania silnych spadków prędkości wytworzą się wiry. Tworzenie się wirów powoduje zmniejszenie się przepływu cieczy, gdyż dzięki lepkości cieczy, w wirach zużywa się znaczna ilość energii, która zostaje zamieniona na ciepło. Wartość krytyczną prędkości v , przy której następuje przejście od przepływu laminarnego /gdy poszczególne cząstki cieczy poruszają się po liniach prostych równoległych do osi rurki/ do burzliwego /linie prądu przybierają kształt skomplikowany, zmieniając się w czasie w sposób nieregularny/ określa wzór

$$Re = \frac{\rho v \cdot d}{\eta}$$

gdzie d - średnica rury, Re - tzw. liczba Reynoldsa,

ρ - gęstość cieczy, η - współczynnik lepkości.

Liczba Reynoldsa została określona doświadczalnie dla różnych cieczy i dla różnych średnic rurek. Wynosi ona około 2000

dla krytycznej prędkości ruchu laminarnego,

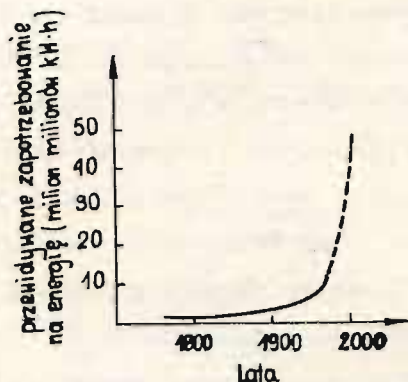
a około 13000 dla minimalnej prędkości ruchu burzliwego.

Przy niezbyt dużych prędkościach, dla których liczba Reynoldsa nie przekracza 2000 przepływ jest laminarny, przy dużych

prędkościach takich że $Re > 13000$ - przepływ jest burzliwy. W obszarze pośrednim mogą występować oba rodzaje przepływu.

7.7. Zapotrzebowanie na energię

W przeszłości wielkość zużycia energii przez człowieka zmieniła się proporcjonalnie do wzrostu populacji. Mniej więcej do XVI w. ciepło otrzymywano poprzez spalanie drewna. W związku z uprzemysłowieniem zapotrzebowanie na energię znacznie wzrosło. Zaczęto wydobywać węgiel i ropę naftową. Całkowite zapotrzebowanie na energię w latach przyszłych przedstawiono na rys. 15.7.



Rys. 15.7. Zapotrzebowanie na energię

Warto zwrócić uwagę na fakt, że krzywa zapotrzebowania na energię wznosi się gwałtowniej niż krzywa populacji ludzkiej. Średnie zapotrzebowanie na energię przypadająca na jednego mieszkańca Ziemi już obecnie przekroczyło 3000 kWh rocznie, z tym że w USA wynosi ono około 18000 kWh rocznie, a w Indiach jedynie kilkaset kWh rocznie.

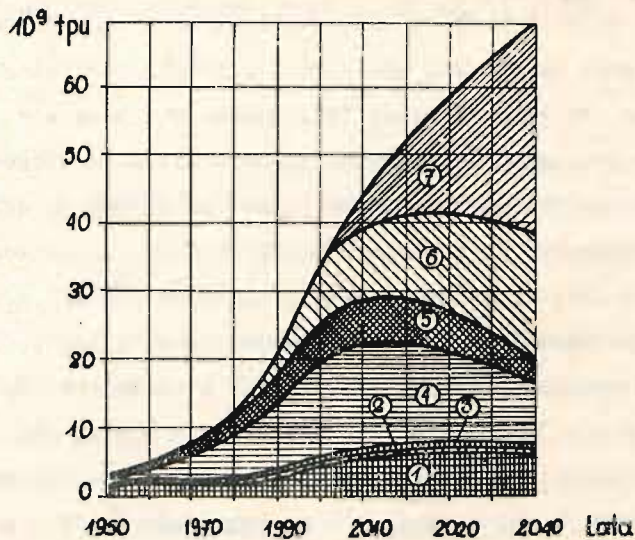
Wszystkie prognozy energetyczne są zgodne, że za kilkadziesiąt lat ludzkość wejdzie w okres ostrych trudności energetycznych. Zasoby gazu szybko się zmniejszają, zasoby ropy ulegną wyczerpaniu za kilkadziesiąt lat, węgiel nie będzie w stanie pokryć powstałej luki energetycznej. Sytuację złagodzi rozwój energetyki jądrowej, ale tylko na określony czas, gdyż zasoby surowców rozszczepialnych są również ograniczone. Prawdopodobnie lukę energetyczną /od pierwszych lat XXI w./ pokryje energia termojądrowa. Zapotrzebowanie na różny rodzaj energii przedstawiono na rys. 16.7. w tonach paliwa umownego /1t.p.u. = $29 \cdot 10^6 \text{ kJ} \approx 7 \cdot 10^6 \text{ kcal}$ /: 1 - węgiel kamienny, 2 - węgiel brunatny, 3 - energia hydrauliczna i geotermiczna, 4 - ropa naftowa, 5 gaz ziemny, 6 - energia jądrowa, 7 - energia termojądrowa i słoneczna.

Z porównania energii cieplnej otrzymanej z różnych paliw w odniesieniu do jednostki paliwa:

1 kg węgla	-	8 kWh
1 kg uranu	-	160 000 kWh/reaktory termiczne/
1 kg uranu	-	10000000 kWh/reaktora powielające/
1 kg deuteru	-	24000000 kWh /reakcja D - D/

wynika, że największe możliwości energetyczne są w termojądrowej reakcji deuteru /D - D/.

Podstawowym źródłem energii na Ziemi jest Słońce. Bezpośrednie wykorzystanie energii słonecznej w skali przemysłowej natrafia na duże trudności. Istnieje jednak energia słoneczna magazynowana w wyniku fotosyntezy, w postaci energii potencjalnej wód czy też przejawiająca się w ruchach atmosfery. W tabeli nr 1.7. podano różne zasoby niektórych rodzajów energii słonecznej, energii pływów i geoenergii.



Rys. 16.7. Zapotrzebowanie na energię

Tabela nr 1.7. Roczne zasoby niektórych rodzajów energii
Słońca i Ziemi w jednostkach $Q = 10^{21} \text{J}$
= 300000 miliardów kWh.

źródło energii	roczne zasoby energii w jednostkach Q
Fotosynteza	1,26
Wiatry	95
Energia wodna	95
Przypływy	0,095
Gejzery i wulkany	0,0095
związane z temperaturą wnętrza Ziemi	0,9

8. Siły powszechnego ciążenia

8.1. Pole grawitacyjne

Każde ciało posiadające masę wytwarza dookoła siebie pole grawitacyjne. Na dowolne ciało o masie m umieszczone w polu grawitacyjnym działa siła grawitacji.

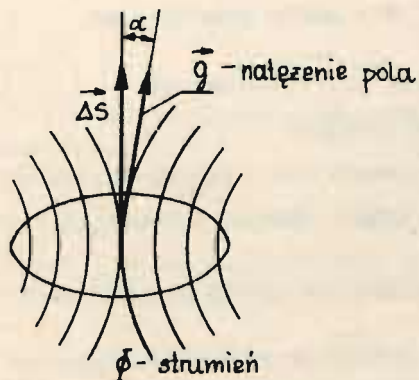
$$\vec{F} = m\vec{g}$$

Wielkość

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$

nosi nazwę natężenia pola. Natężenie pola grawitacyjnego jest równoważne z przyspieszeniem ciała pod wpływem siły grawitacji. Wektor natężenia pola \vec{g} jest skierowany do masy wytwarzającej pole.

Iloczyn wartości wektora natężenia pola przez pole powierzchni, przez którą przechodzi oraz przez cosinus kąta α pomiędzy kierunkiem natężenia pola a normalną do powierzchni nazywamy strumieniem natężenia pola albo krótko strumieniem /rys. 1.8/.



Rys. 1.8. Strumień natężenia pola

Jeżeli natężenie pola jest różne w różnych miejscach, powierzchnię dzielimy na elementy wektorowe $\vec{\Delta S}$, mnożymy je skalarnie przez lokalne wektory \vec{g}_i i następnie sumujemy otrzymując całkowity strumień

$$\phi = \sum_{i=1}^n \vec{g}_i \cdot \vec{\Delta S}_i = \sum_{i=1}^n g_i \Delta S_i \cos(\vec{g}_i, \vec{\Delta S}_i)$$

Za kierunek wektora $\vec{\Delta S}$ przyjmujemy kierunek zewnętrznej normalnej do powierzchni ΔS . W granicy suma przejdzie w całkę

$$\phi = \int_S \vec{g} \cdot d\vec{S}$$

8.2. Twierdzenie Gaussa

Strumień grawitacyjny przechodzący przez powierzchnię zamkniętą jest wprost proporcjonalny do masy M zamkniętej wewnątrz tej powierzchni.

$$\phi = K \cdot M$$

gdzie $K = 4\pi G$, G - stała grawitacyjna,

Twierdzenie Gaussa przybiera postać

$$\phi = 4\pi G M$$

Twierdzenie to pozwala nam w prosty sposób obliczać natężenie pola przez ciało o różnych kształtach.

8.2.1. Pole grawitacyjne punktu materialnego

Aby znaleźć natężenie pola grawitacyjnego wytworzonego przez punkt materialny o masie M otaczamy go w myśli powierzchnią kulistą o promieniu r . /rys.2.8/ Wartość natężenia pola grawitacyjnego na powierzchni kuli będzie wszędzie